



Universidad de Burgos



GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO EN LA GENERACIÓN DE MODELOS AMBIENTALES

Directora de Tesis: Dra. Dña. Lourdes Cecilia Sáiz Bárcena

Autor: Jorge Gustavo Horacio Perera Blasig, Ing., M. Sc.

Universidad de Burgos

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y RELACIONES INTERNACIONALES

Hospital del Rey, s/n - 09001, Burgos, España - <http://www.ubu.es/>

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR

Departamento de Ingeniería Civil

Área de Conocimiento: Organización de Empresas

Doctorado en Gestión de la Empresa Industrial

Avenida Cantabria s/n - 09006, Burgos, España

*The important thing in science is not so much to obtain new facts
as to discover new ways of thinking about them¹.*

Sir William Bragg (1862-1942).

Agradecimiento: al Rector Magnífico de la Universidad de Burgos, D. José María Leal Villalba y a la Vicerrectora de Investigación y Relaciones Internacionales, Dra. Dña. Maria Julia Arcos Martínez, artífices del acuerdo inter-universitario que posibilitó la enriquecedora experiencia que procura reflejar el presente trabajo de Tesis. Asimismo, a los Catedráticos de la Universidad de Burgos, Dra. Dña. Lourdes Cecilia Sáiz Bárcena, Dr. D. Miguel Ángel Manzanedo del Campo, Dr. D. Luis Alberto Núñez Recio y Dr. D. Ignacio Fontaneda González, quienes con dedicación e inteligencia colmaron las expectativas de la Comunidad Académica Tucumana. A todos, mi sincero reconocimiento y de manera particular a quién fuera inspirada formadora en Gestión del Conocimiento y segura guía en la elaboración de este documento, la Dra. Dña. Lourdes Cecilia Sáiz Bárcena.

Dedicatoria: a la compañera de mi vida, María Elina Castilla, Pupi, armonía de entereza y dulzura, equilibrio y remanso de diálogo.

J. G. H. P. B.

¹ Lo importante en Ciencia, no es tanto descubrir nuevos hechos como hallar nuevos modos de pensar sobre ellos.

SUMMARY - KNOWLEDGE MANAGEMENT AND ENVIRONMENTAL MODELS GENERATION

The generation of environmental models is presented as a Knowledge Management process, which can be visualized and represented by means of interpretative structural modeling or employing semantic or conceptual networks of attributes inheritance. Both methodologies applied to the systematic organization of transformations were developed considering their logic and mathematical principles.

The knowledge generation process, formalized by means of interpretative structural modeling, applies oriented graphs based on the interaction between elements linked by contextual causality relationships. Each step of the modeling procedure is a transformation of one form into another, interpretable as an isomorphism (a form change preserving the information contents). The directed graph is expressed by means of a binary matrix where the lines inferred by transitivity are deleted, and a digraph with a minimum number of edges is obtained. The iterative application of the computer procedure of sets partition conducts to a list of ordered elements. On the reachability matrix or transitive closure of the adjacency matrix, the following partitions were done, namely the relation one, the level one, the one in separated digraphs, the one in disjoint and strong subsets and the one in strongly connected subsets. These partitions are needed in order to obtain the canonical form, and ultimately, the interpretative structural model.

The dialectic procedure of the functional structural link among knowledge processes takes the generator cell as the fundamental concept that organizes the system. The First Order Logic or First Order Predicate Calculus with Equality represents reality in terms of objects or entities with individual identity and predicates on objects utilizing connectives and quantifiers. The formalization of knowledge based on frames is founded on cognitive nodes or entities of information accumulation related to knowledge that can be retrieved to be applied or modified by enrichment or transformation, or to establish new connections between nodes.

Knowledge, whose effective creation depends on the existence of a facilitating context or knowledge enablers, extracts an order or cosmos from chaos. This knowledge is an apparently justified true belief; it is tacit or explicit. In connection with this, there is an alternation that may be symbolically expressed by a Möbius ribbon as a unilateral topological object.

The generation of the environmental models discussed in the present document, is the result of a Knowledge Management process. In this process, the tacit knowledge is shared [(1) sharing tacit knowledge], and justified concepts or abstract entities are being created [(2) creating concepts and (3) justifying concepts]. These entities can be then related by functions or equations, and linked by means of calibrated formal structures [(4) building a prototype] that are finally verified and validated [(5) cross leveling knowledge]. Case studies and empirical applications (system dynamics, hydrology systems in reduced scale, electro-analogical models in steady state conditions, taxonomic applications, etc.) are also included.

ÍNDICE GENERAL

PORTADAS	1
AGRADECIMIENTO Y DEDICATORIA	5
SUMMARY	7
ÍNDICE GENERAL	9
ÍNDICE DE FIGURAS	13
ÍNDICE DE TABLAS	16
1. - PRÓLOGO	21
2. - INTRODUCCIÓN	23
2. 1. - CAMPO SEMÁNTICO	23
2. 2. - FUNDAMENTO DE LA POSIBILIDAD DEL CONOCIMIENTO	24
2. 3. - RAZÓN VITAL DEL CONOCIMIENTO	26
2. 4. - MODELIZACIÓN MATEMÁTICA SISTÉMICA	27
2. 5. - CONVERSIÓN DE CONOCIMIENTO TÁCITO A EXPLÍCITO Y RECÍPROCAMENTE	28
2. 6. - DINÁMICA DE LA INNOVACIÓN	28
2. 7. - APORTES DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y DE LA COMUNICACIÓN	29
2. 8. - FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS	30
3. - ANTECEDENTES Y MARCO CONCEPTUAL	31
3. 1. - ASPECTOS GNOSEOLÓGICOS	31
3. 1. 1. - DUALIDAD ENTRE APARIENCIA Y REALIDAD	32
3. 1. 2. - RELEVANCIA DEL LENGUAJE	32
3. 1. 3. - CONTEXTO FACILITADOR DEL CONOCIMIENTO	33
3. 1. 4. - EXPRESIÓN DE LAS FUERZAS CREATIVAS	34
3. 1. 5. - MODELOS MENTALES	35
3. 2. - ASPECTOS ECOLÓGICOS	36
3. 2. 1. - AUTOCATÁLISIS Y HOMEOSTASIS	36
3. 3. - ASPECTOS FORMALES Y METODOLÓGICOS	37
3. 3. 1. - CICLOS DE ADQUISICIÓN DE DATOS Y VERIFICACIÓN DEL MODELO	38
3. 3. 2. - INVESTIGACIÓN DE ESCENARIOS O SITUACIONES DE OCURRENCIA PROBABLE	39
3. 3. 3. - PROCESO DE CALIBRACIÓN-VERIFICACIÓN DE MODELOS	40
3. 3. 4. - MODELIZACIÓN FORMAL	41
3. 3. 5. - EMPLEO DE MÉTODOS CUALITATIVOS O PARTICIPATIVOS	42
3. 3. 6. - CREDIBILIDAD PRÁCTICA	43
3. 4. - ASPECTOS OPERATIVOS	43
3. 4. 1. - SISTEMAS DINÁMICOS NO-LINEALES Y COMPLEJIDAD	44
3. 4. 2. - SISTEMAS EXPERTOS	45
3. 5. - NOTAS SOBRE ECOLOGÍA HUMANA	46
3. 5. 1. - CAPACIDAD DE MÁXIMA REALIZACIÓN (<i>CARRYING-CAPACITY</i>)	46
3. 5. 2. - SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA	46
3. 5. 3. - CICLO RECURSIVO INHERENTE AL MÉTODO CIENTÍFICO	49

4. - MATERIALES Y MÉTODOS	51
4.1. - COMPLEJIDAD COGNITIVA Y ORDENAMIENTO JERÁRQUICO; INTELIGENCIA COMPUTACIONAL Y ARTIFICIAL Y DECISIONES DE ELECCIÓN	51
4.1.1. - ALGORITMOS GENÉTICOS	52
4.1.2. - SISTEMAS EXPERTOS	52
4.1.3. - DINÁMICA NO-LINEAL EN CONDICIONES APARTADAS DEL EQUILIBRIO	52
4.2. - ANÁLISIS DE SISTEMAS	54
4.2.1. - IDENTIFICACIÓN COMPLETA DE LOS NIVELES JERÁRQUICOS DE ORGANIZACIÓN	58
4.3. - CLASIFICACIÓN DE LAS CIENCIAS	58
4.3.1. - APROXIMACIÓN PRAGMÁTICA AL ORDENAMIENTO DE LAS CIENCIAS	61
4.4. - REPRESENTACIÓN Y ORGANIZACIÓN DEL CONOCIMIENTO	63
4.4.1. - MODELIZACIÓN ESTRUCTURAL INTERPRETATIVA	65
4.4.1.1. - MATRIZ DE ADYACENCIA	65
4.4.1.2. - MATRIZ DE ALCANZABILIDAD	66
4.4.1.3. - MODELIZACIÓN ESTRUCTURAL EN UN CONTEXTO DE RELACIONES TRANSITIVAS	66
4.4.1.4. - PARTICIÓN DE LA RELACIÓN	69
4.4.1.5. - PARTICIÓN DE NIVEL	69
4.4.1.6. - PARTICIÓN EN DIGRAFOS SEPARADOS	70
4.4.1.7. - PARTICIÓN DE L_k EN SUBCONJUNTOS DISJUNTOS Y FUERTES	70
4.4.1.8. - PARTICIÓN DE LOS SUBCONJUNTOS FUERTEMENTE CONEXOS EN S	71
4.4.2. - REDES SEMÁNTICAS	72
4.4.2.1. - LÓGICA DE PRIMER ORDEN O CÁLCULO DE PREDICADOS DE PRIMER ORDEN CON IGUALDAD	73
4.4.2.2. - LENGUAJES DE REPRESENTACIÓN	76
5. - RESULTADOS	79
5.1. - SISTEMA INFORMÁTICO	79
5.1.1. - DESCRIPCIÓN DE LOS PROGRAMAS	80
5.1.2. - ELEMENTOS U OBJETOS DEL PROCESO DE MODELIZACIÓN	82
5.1.3. - MODELO ESTRUCTURAL INTERPRETATIVO	83
5.1.4. - MODELIZACIÓN ESTRUCTURAL INTERPRETATIVA DE LAS RELACIONES ENTRE ENTIDADES (OBJETOS Y PROCESOS) ASOCIADAS A LA GENERACIÓN DE MODELOS AMBIENTALES	86
5.2. - REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO MEDIANTE REDES SEMÁNTICAS	88
5.2.1. - CIANOBACTERIAS (<i>CYANOPHYTA</i>)	88
5.2.2. - REDES SEMÁNTICAS DEL TIPO <i>BOTTOM-UP</i>	92
5.3. - VALOR INSTRUMENTAL Y DE RESPALDO DE LOS APÉNDICES	96
5.3.1. - ASPECTOS GNOSEOLÓGICOS	96
5.3.2. - ASPECTOS HUMANÍSTICOS	96
5.3.3. - ASPECTOS FORMALES	96
5.3.4. - ASPECTOS BIOLÓGICOS	96
6. - ESTUDIO DE CASOS Y APLICACIONES EMPÍRICAS	97
6.1. - ANÁLISIS NUMÉRICO DEL PROCESO DE COLMATACIÓN DEL EMBALSE DE TERMAS DE RÍO HONDO, BASADO EN UN MODELO HIDRÁULICO REDUCIDO - INTRODUCCIÓN ...	97
6.2. - OBJETIVOS DEL MODELO AMBIENTAL	98
6.3. - MODELOS A PARTIR DE MODELOS	98

6. 4. -	CORRESPONDENCIA ENTRE LOS PASOS SEGUIDOS EN LA MODELIZACIÓN Y EL PROCESO SISTEMÁTICO DE GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO	99
6. 4. 1. -	COMPARTICIÓN DEL CONOCIMIENTO TÁCITO (CCT)	99
6. 4. 2. -	CREACIÓN DE CONCEPTOS (CDC)	99
6. 4. 3. -	JUSTIFICACIÓN DE CONCEPTOS (JDC)	100
6. 4. 4. -	CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO (CDP)	100
6. 4. 5. -	NIVELACIÓN CRUZADA DE CONCEPTOS (NCC)	100
6. 5. -	MODELIZACIÓN ANALÓGICO-DIGITAL DE LA DIFUSIÓN DE CONTAMINANTES Y NUTRIENTES, EN CONDICIONES DE RÉGIMEN ESTACIONARIO, EN EL EMBALSE FRONTAL DE TERMAS DE RÍO HONDO, REPÚBLICA ARGENTINA - NOTA INTRODUCTORIA	101
6. 6. -	CORRESPONDENCIA ENTRE LOS PASOS SEGUIDOS EN LA MODELIZACIÓN ELECTRO-ANALÓGICA Y EL PROCESO SISTEMÁTICO DE GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO	101
6. 6. 1. -	COMPARTICIÓN DEL CONOCIMIENTO TÁCITO (CCT)	102
6. 6. 2. -	CREACIÓN DE CONCEPTOS (CDC)	102
6. 6. 3. -	JUSTIFICACIÓN DE CONCEPTOS (JDC)	102
6. 6. 4. -	CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO (CDP)	102
6. 6. 5. -	NIVELACIÓN CRUZADA DE CONCEPTOS (NCC)	102
6. 7. -	IDENTIFICACIÓN DE LOS SUJETOS DEL CONOCIMIENTO (SDC) EN LOS CASOS ESTUDIADOS	103
6. 8. -	ACCIONES ORIENTADAS A FACILITAR EL CONOCIMIENTO	103
6. 9. -	UN CAMBIO DE ESCALA; DEL ΟΙΧΟΣ AL ΧΟΣΜΟΣ	104
6. 9. 1. -	INTRODUCCIÓN Y APROXIMACIÓN HISTÓRICO-CONCEPTUAL A ALGUNOS TEMAS DE INTERÉS DE LA COSMOLOGÍA	106
6. 9. 2. -	ACÚSTICA CÓSMICA	108
6. 9. 3. -	ORDENES DE MAGNITUD DEL UNIVERSO	109
6. 9. 4. -	DESPLAZAMIENTO AL ROJO O <i>DOPPLER RED SHIFT</i>	110
6. 9. 5. -	ETAPAS COGNITIVAS E INCERTIDUMBRE	113
6. 9. 6. -	AFIRMACIONES Y FORMULACIONES CIENTÍFICAS	114
6. 9. 7. -	FORMALIZACIÓN Y FORMALISMO	116
6. 9. 8. -	EL LENGUAJE DE LA MATEMÁTICA	117
7. -	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	119
7. 1. -	MODELIZACIÓN ESTRUCTURAL INTERPRETATIVA	119
7. 2. -	REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO MEDIANTE REDES SEMÁNTICAS	124
8. -	CONCLUSIONES Y RESUMEN	129
9. -	BIBLIOGRAFÍA	131
10. -	APÉNDICES	141
10. 1. -	ASPECTOS GNOSEOLÓGICOS	143
10. 1. 1. -	EL CONOCIMIENTO COMO INSTRUMENTO DE CREACIÓN DE VALOR	145
10. 1. 1. 1. -	INTRODUCCIÓN	145
10. 1. 1. 2. -	PROPIETARIOS E INVERSORES DE CAPITAL HUMANO	146
10. 1. 1. 3. -	EL VALOR DEL CONOCIMIENTO	156
10. 1. 1. 4. -	MODOS DE FACILITAR LA CREACIÓN DE CONOCIMIENTO	159
10. 1. 1. 5. -	CONOCIMIENTO EN ACCIÓN	162
10. 1. 2. -	CONOCIMIENTO COTIDIANO Y CONOCIMIENTO CIENTÍFICO	167
10. 1. 2. 1. -	PASO DEL CONOCIMIENTO COTIDIANO AL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO	167
10. 1. 2. 2. -	HIPÓTESIS DE LA COMPATIBILIDAD O DE LA ACUMULACIÓN DE SABERES	168
10. 1. 2. 3. -	HIPÓTESIS DE LA INCOMPATIBILIDAD O DEL CAMBIO CONCEPTUAL	168
10. 1. 2. 4. -	HIPÓTESIS DE LA INDEPENDENCIA O DEL USO DEL CONOCIMIENTO SEGÚN EL CONTEXTO	168

10. 1. 2. 5. - HIPÓTESIS DE LA INTEGRACIÓN JERÁRQUICA O DE LOS DIFERENTES NIVELES DE REPRESENTACIÓN Y CONOCIMIENTO	168
10. 1. 2. 6. - TEXTOS PERTENECIENTES A "LA ESTRUCTURA DE LAS REVOLUCIONES CIENTÍFICAS" DE THOMAS SAMUEL KUHN	169
10. 1. 3. - REPRESENTACIÓN Y ORGANIZACIÓN DEL CONOCIMIENTO	173
10. 2. - OTROS ASPECTOS HUMANÍSTICOS	177
10. 2. 1. - EL HOMBRE Y LA NATURALEZA	179
10. 2. 2. - PROBLEMAS AMBIENTALES, ENFOQUE CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO ...	185
10. 2. 2. 1. - CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DEL AMBIENTE EXISTENTES	188
10. 2. 2. 2. - ACCIONES CAUSANTES DE IMPACTO AMBIENTAL	189
10. 2. 3. - MARCO NORMATIVO LEGAL	191
10. 2. 4. - EL NACIMIENTO DEL TIEMPO Y EL FIN DE LAS CERTIDUMBRES. TIEMPO, CAOS Y LAS LEYES DE LA NATURALEZA	199
10. 3. - ASPECTOS FORMALES	205
10. 3. 1. - COMPLEJIDAD Y RESTAURACIÓN AMBIENTAL. PROPUESTA CONCEPTUAL Y METODOLÓGICA PARA EL ESTUDIO FORMAL DE ECOSISTEMAS DOMINADOS POR EL HOMBRE	207
10. 3. 1. 1. - INTRODUCCIÓN	207
10. 3. 1. 2. - TERMODINÁMICA Y TEORÍA GENERAL DE SISTEMAS	210
10. 3. 1. 3. - ECOLOGÍA Y COMPLEJIDAD	219
10. 3. 1. 4. - ESTADO DE LOS SISTEMAS TERRESTRES DE SOPORTE DE LA VIDA	235
10. 3. 1. 4. 1. - ESCENARIOS DE EXPLORACIÓN DE FUTUROS VEROSÍMILES PARA LOS ECOSISTEMAS Y EL BIENESTAR HUMANO	236
10. 3. 1. 4. 2. - DEGRADACIÓN DE LOS SERVICIOS DE LOS ECOSISTEMAS COMO BARRERA PARA EL LOGRO DE LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO DEL MILENIO Y DE LAS METAS PARA EL 2015	238
10. 3. 1. 4. 3. - EJEMPLOS DE RESPUESTAS PROMETEDORAS Y EFECTIVAS PARA DETERMINADOS SECTORES	239
10. 3. 2. - ALGORITMOS GENÉTICOS	241
10. 3. 2. 01. - INTRODUCCIÓN	241
10. 3. 2. 02. - OPERADORES EMPLEADOS EN LOS ALGORITMOS GENÉTICOS	243
10. 3. 2. 03. - FUNDAMENTOS MATEMÁTICOS DE LOS ALGORITMOS GENÉTICOS	247
10. 3. 2. 04. - OPERADORES AVANZADOS	252
10. 3. 2. 05. - DIPLOIDÍA Y DOMINANCIA EN ALGORITMOS GENÉTICOS SIMPLES; PERSPECTIVA HISTÓRICA	252
10. 3. 2. 06. - OPERADORES DE INVERSIÓN Y RE-ORDEN	256
10. 3. 2. 07. - OPERADORES DE RE-ORDEN EN ALGORITMOS GENÉTICOS SIMPLES; PERSPECTIVA HISTÓRICA	256
10. 3. 2. 08. - MICRO-OPERADORES; SEGREGACIÓN; TRANSPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE CROMOSOMAS MÚLTIPLES	257
10. 3. 2. 09. - OPTIMIZACIÓN MULTIOBJETIVO	258
10. 3. 2. 10. - ALGORITMOS GENÉTICOS Y PROCESOS PARALELOS	259
10. 3. 2. 11. - APLICACIONES DE LOS ALGORITMOS GENÉTICOS	260
10. 3. 3. - LÓGICA DIFUSA O BORROSA	265
10. 3. 3. 1. - CONCEPTOS BÁSICOS	265
10. 3. 3. 2. - OPERACIONES CON NÚMEROS BORROSOS	267
10. 3. 4. - ANALOGÍAS FÍSICAS	277
10. 3. 5. - CAMPOS ESCALARES Y VECTORIALES	285
10. 3. 5. 1. - EJEMPLO DE CÁLCULO DE LA DERIVADA DIRECCIONAL	286
10. 3. 5. 2. - EJEMPLO DE CÁLCULO DE LA DIVERGENCIA DEL CAMPO VECTORIAL	288
10. 3. 5. 3. - EJEMPLO DE CÁLCULO DEL ROTACIONAL DEL CAMPO VECTORIAL	289
10. 3. 5. 4. - EJEMPLO DE CÁLCULO DEL LAPLACIANO DEL CAMPO VECTORIAL	290

10. 3. 6. - FUNCIONES SIGMOIDEA Y LOGÍSTICA; NO-LINEALIDAD; BIFURCACIONES Y CAOS	291
10. 3. 6. 1. - PROGRAMA PARA SIMULACIÓN DEL PROCESO DE VERHULST	294
10. 3. 6. 2. - OTRAS CONSIDERACIONES EN RELACIÓN CON EL MODELO DE SIMULACIÓN	298
10. 3. 7. - MODELO DE INTERACCIONES TRÓFICAS EN UNA CADENA ALIMENTARIA LACUSTRE	301
10. 3. 7. 1. - MODELO MATEMÁTICO	301
10. 3. 7. 2. - BIOTA DEL EMBALSE FRONTAL DE TERMAS DE RÍO HONDO	307
10. 3. 8. - QUASI-LINEALIZACIÓN	309
10. 3. 8. 1. - FORMA CANÓNICA	310
10. 3. 8. 2. - SOLUCIÓN APROXIMADA INICIAL	311
10. 3. 8. 3. - LINEALIZACIÓN	311
10. 3. 8. 4. - SOLUCIÓN DE LAS ECUACIONES DIFERENCIALES LINEALES	314
10. 3. 8. 5. - FUNCIÓN DE IDENTIFICACIÓN DE ERROR	316
10. 3. 8. 6. - MINIMIZACIÓN DE LA FUNCIÓN DE IDENTIFICACIÓN DE ERROR	316
10. 3. 8. 7. - SOLUCIÓN DEL SISTEMAS DE ECUACIONES ALGEBRAICAS	317
10. 3. 8. 8. - PRUEBA O TEST DE CONVERGENCIA	317
10. 3. 9. - ANÁLISIS NUMÉRICO DEL PROCESO DE COLMATACIÓN DEL EMBALSE DE TERMAS DE RÍO HONDO, BASADO EN UN MODELO HIDRÁULICO REDUCIDO ..	319
10. 3. 9. 1. - INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES	319
10. 3. 9. 2. - OBJETIVOS	320
10. 3. 9. 3. - MATERIALES Y MÉTODOS	321
10. 3. 9. 4. - RESULTADOS	325
10. 3. 9. 5. - DISCUSIÓN DE RESULTADOS	329
10. 3. 9. 6. - CONCLUSIONES	329
10. 3. 9. 7. - RESUMEN	329
10. 3. 9. 8. - NOTAS SOBRE ANÁLISIS DIMENSIONAL	330
10. 3. 10. - MODELIZACIÓN ANALÓGICO-DIGITAL DE LA DIFUSIÓN DE CONTAMINANTES Y NUTRIENTES, EN CONDICIONES DE RÉGIMEN ESTACIONARIO, EN EL EMBALSE FRONTAL DE TERMAS DE RÍO HONDO, REPÚBLICA ARGENTINA	333
10. 3. 10. 1. - INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES	333
10. 3. 10. 2. - MATERIALES Y MÉTODOS	334
10. 3. 10. 3. - RESULTADOS	339
10. 3. 10. 4. - DISCUSIÓN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES	343
10. 3. 10. 5. - RESUMEN	343
10. 3. 11. - BASES CONCEPTUALES Y METODOLÓGICAS PARA UN BALANCE COSTO-BENEFICIO AMBIENTAL Y SOCIAL	345
10. 3. 11. 1. PRIMERA PARTE	345
10. 3. 11. 1. 1. - RESUMEN	345
10. 3. 11. 1. 2. - ABSTRACT	345
10. 3. 11. 1. 3. - DESARROLLO	345
10. 3. 11. 1. 4. - CONCLUSIONES	347
10. 3. 11. 2. - SEGUNDA PARTE	347
10. 3. 11. 2. 1. - RESUMEN	347
10. 3. 11. 2. 2. - ABSTRACT	347
10. 3. 11. 2. 3. - DESARROLLO	347
10. 3. 11. 2. 4. - CONCLUSIONES	350

10. 3. 12. - CÓDIGOS FUENTE EN LENGUAJE C DEL SISTEMA INFORMÁTICO DE CLASIFICACIÓN Y ORDENAMIENTO DE LOS ELEMENTOS OBJETO DE MODELIZACIÓN ESTRUCTURAL INTERPRETATIVA Y MENSAJES DE ERROR PARA EL USUARIO	351
10. 3. 12. 1. - CÓDIGOS FUENTE EN LENGUAJE C	351
10. 3. 12. 1. 1. - INGRESO DE ELEMENTOS	351
10. 3. 12. 1. 2. - CONSULTA DE ELEMENTOS	352
10. 3. 12. 1. 3. - PARTICIÓN DE CONJUNTOS	354
10. 3. 12. 1. 4. - BÚSQUEDA DE CONJUNTOS SIN PARTICIONAR	357
10. 3. 12. 1. 5. - CONSULTA DE CONJUNTOS ORDENADOS	359
10. 3. 12. 1. 6. - LISTADO DE LOS ELEMENTOS ORDENADOS	362
10. 3. 12. 1. 7. - DEPURACIÓN DE CONJUNTOS	363
10. 3. 12. 1. 8. - RETORNA EL TIPO DE CONJUNTO Y BUSCA UN CONJUNTO DENTRO DE UNA UBICACIÓN	364
10. 3. 12. 1. 9. - FORMATEO DE UBICACIÓN DE ELEMENTOS Y COMPARACIÓN Y COPIA DE DOS UBICACIONES	365
10. 3. 12. 1. 10 - DEFINICIÓN DE CONSTANTES GENERALES	366
10. 3. 12. 2. - MENSAJES DE ERROR PARA EL USUARIO	366
10. 3. 13. - NOTAS SOBRE ALGUNOS ASPECTOS DE LA TEORÍA DE SUPERCUERDAS Y DEL MODELO ESTÁNDAR DE LA MATERIA	369
10. 3. 13. 1. - PRESENTACIÓN	369
10. 3. 13. 2. - BURBUJAS DE REALIDAD	372
10. 3. 13. 3. - EL ACTUAL MODELO ESTÁNDAR DE LA MATERIA	372
10. 4. - ASPECTOS BIOLÓGICOS	375
10. 4. 2. - CLAVE TENTATIVA DE ESPECIES DE MICROALGAS	377

ÍNDICE DE FIGURAS

FIG. P - 01 -	FOTO DE ALTA RESOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE DEL SOL. LA REGIÓN CENTRAL ES OSCURA DEBIDO A LOS CAMPOS MAGNÉTICOS QUE DETIENEN LA CORRIENTE ASCENDENTE DE GAS CALIENTE PROVENIENTE DEL INTERIOR, CAUSANDO UN FENÓMENO LLAMADO PENUMBRA. ALGUNOS FILAMENTOS PENETRAN EN ÉSTA ZONA	21
FIG. P - 02 -	FOTO DE ALTA RESOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE DEL SOL. LA REGIÓN CENTRAL ES OSCURA DEBIDO A LOS CAMPOS MAGNÉTICOS QUE DETIENEN LA CORRIENTE ASCENDENTE DE GAS CALIENTE PROVENIENTE DEL INTERIOR, CAUSANDO UN FENÓMENO LLAMADO PENUMBRA. ALGUNOS FILAMENTOS PENETRAN EN ÉSTA ZONA	21
Fig. AMC - 01 -	CICLO RECURSIVO, COMPUESTO POR UN CONJUNTO DE ETAPAS O FASES, PROPIAS DEL MÉTODO CIENTÍFICO, EN RELACIÓN CON LA GENERACIÓN DE MODELOS AMBIENTALES	49
Fig. MM - 01 -	LAZO DE REALIMENTACIÓN DE LAS RETRIBUCIONES COMO FUNCIÓN DE LAS ELECCIONES ..	53
Fig. MM - 02 -	EMPLEO DEL ANÁLISIS DE SISTEMAS EN LA ARTICULACIÓN ENTRE INVESTIGACIÓN APLICADA Y DESARROLLO FORMALIZADO DE ESTRATEGIAS Y TÁCTICAS DE GESTIÓN	55
Fig. MM - 03 -	DIAGRAMA DE FLUJO ILUSTRATIVO DE LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE SISTEMAS A LA INVESTIGACIÓN PRÁCTICA Y A LA MODELIZACIÓN MATEMÁTICA	55
Fig. MM - 04 -	SECUENCIA DE PASOS Y RETROALIMENTACIONES EN LA ELABORACIÓN DE UN MODELO	56
Fig. MM - 05 -	VINCULACIONES ENTRE TEORÍA; EXPERIENCIA; DATOS Y SIMULACIÓN PROBABILÍSTICO-ESTADÍSTICA	57
Fig. MM - 06 -	DIAGRAMA DE BLOQUES ILUSTRATIVO DEL ISOMORFISMO IMPLÍCITO EN LAS SUCESIVAS TRANSFORMACIONES DESDE EL MODELO MENTAL AL ESTRUCTURAL INTERPRETATIVO	64
Fig. MM - 07 -	PARTICIONES ALREDEDOR DE p_i , SIN (a) Y CON (b) CICLOS DE RETROALIMENTACIÓN	67
Fig. MM - 08 -	DETERMINACIÓN DE CONJUNTOS CRÍTICOS POR PARTICIONAMIENTO	68
Fig. MM - 09 -	ELEMENTOS DE LA MATRIZ DE ALCANZABILIDAD QUE PUEDEN SER INFERIDOS	69
Fig. MM - 10 -	REORDENAMIENTO DE LA MATRIZ DE ALCANZABILIDAD, COMPLETADAS LAS PARTICIONES ..	71
Fig. MM - 11 -	MATRIZ DE SUBMATRICES, DONDE SE AGRUPAN LOS ELEMENTOS DE UN MISMO NIVEL	72
Fig. MM - 12 -	CONEXIÓN ENTRE ORACIONES Y HECHOS, MERCED A LA SEMÁNTICA DEL LENGUAJE	72
Fig. MM - 13 -	ESTRUCTURA JERÁRQUICA, BASADA EN MARCOS PARA REPRESENTAR EL CONOCIMIENTO ..	77
Fig. MM - 14 -	ESTRUCTURA JERÁRQUICA BASADA EN MARCOS, PARA UN CASO DE HERENCIA MÚLTIPLE ..	77
Fig. MM - 15 -	SITUACIÓN DE CONFLICTO QUE SE PLANTEA CUANDO UN MARCO TIENE MÁS DE UN PROGENITOR EN EL NIVEL INMEDIATO SUPERIOR; OCURRE VINCULACIÓN HORIZONTAL	78

Fig. R - 01 - SECUENCIA DE PASOS VINCULADOS POR TRANSFORMACIONES ISOMÓRFICAS PARA PASAR DEL MODELO MENTAL AL MODELO ESTRUCTURAL INTERPRETATIVO (MEI)	83
Fig. R - 02 - MODELIZACIÓN ESTRUCTURAL INTERPRETATIVA DE LAS RELACIONES ENTRE ENTIDADES (OBJETOS Y PROCESOS) ASOCIADOS A LA GENERACIÓN DE MODELOS AMBIENTALES	86
Fig. R - 03 - LAZO DE RETROALIMENTACIÓN ABARCATIVO O INCLUSIVO DE LOS PASOS O ETAPAS INHERENTES AL PROCESO DE GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO	87
Fig. R - 04 - EL HOMBRE DE VITRUBIO Y LAS ACCIONES QUE FACILITAN EL CONOCIMIENTO	87
Fig. R - 05 - MODELO GRÁFICO DE LA ESTRUCTURA CELULAR DE UNA CIANOBACTERIA	90
Fig. R - 06 - EJEMPLARES PERTENECIENTES A LA CLASE CYANOPHYCEAE: (a) MERISMOPEDIA SP.; (b) MICROCYSTIS AERUGINOSA; (c) OSCILLATORIA SP. Y (d) ANABAENA FLOS-AQUAE. FUENTES: CULTURE COLLECTION OF ALGAE (UTEX) - THE UNIVERSITY OF TEXAS AT AUSTIN, TEXAS, USA Y DIRECTORY OF ALGAL IMAGES - OHIO UNIVERSITY, ATHENS, OHIO, USA	92
Fig. R - 07 - REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO, BASADA EN UNA RED SEMÁNTICA <i>BOTTOM-UP</i> , EN RELACIÓN CON EL PROCESO EVOLUTIVO ASOCIADO A LOS CINCO REINOS DE LA NATURALEZA (<i>MONERA</i> ; <i>PROTISTA</i> ; <i>PLANTAE</i> ; <i>FUNGI</i> Y <i>ANIMALIA</i>). SE CONSIDERAN TRES NIVELES DE ORGANIZACIÓN (PROCARIOTAS; EUCARIOTAS UNICELULARES Y EUCARIOTAS MULTICELULARES Y MULTINUCLEADOS). EN CADA NIVEL SE PRESENTAN DIVERGENCIAS CON RESPECTO A TRES MODOS DE NUTRICIÓN (FOTOSINTÉTICO; ABSORTIVO E INGESTIVO). LAS FLECHAS INDICAN LA TENDENCIA O VÍA EVOLUTIVA	93
Fig. R - 08 - REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO, BASADA EN UNA RED SEMÁNTICA DE DISEÑO <i>TOP-DOWN</i> , EN RELACIÓN CON EL ORDENAMIENTO TAXONÓMICO O JERÁRQUICO DEL REINO <i>MONERA</i> , SEGÚN R. H. WHITTAKER. LAS FLECHAS SE DIRIGEN DESDE EL MARCO HIJO, HACIA EL MARCO PROGENITOR E. KONING Y LAS FLECHAS SE DIRIGEN DESDE EL MARCO HIJO, HACIA EL MARCO PROGENITOR	94
Fig. R - 09 - REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO, BASADA EN UNA RED SEMÁNTICA DE DISEÑO <i>TOP-DOWN</i> , EN RELACIÓN CON EL ORDENAMIENTO TAXONÓMICO O JERÁRQUICO DEL REINO <i>ANIMALIA</i> , SEGÚN R. H. WHITTAKER. LAS FLECHAS SE DIRIGEN DESDE EL MARCO HIJO, HACIA EL MARCO PROGENITOR. SE HAN GRISADO LAS CATEGORÍAS TAXONÓMICAS INHERENTES AL HOMBRE	95
Fig. ECAE - 01 - PROCESO CÍCLICO DE INFERENCIA DE UN MODELO MATEMÁTICO A PARTIR DE LA OPERACIÓN Y EXPERIMENTACIÓN CON UN MODELO FÍSICO DE LA REALIDAD	97
Fig. ECAE - 02 - CONGLOMERADO DE ESTRELLAS	105
FIG. ECAE - 03 - RP GEORGES LEMÂÎTRE PHD Y PROFESOR ALBERT EINSTEIN	106
FIG. ECAE - 04 - LUEGO DE ALGUNOS CIENTOS DE MILES DE AÑOS A PARTIR DEL BIG BANG, CONFORME LA MATERIA FUE DISPERSÁNDOSE; ENFRIÁNDOSE Y PERDIENDO DENSIDAD, LOS ELECTRONES SE UNIERON CON LOS NÚCLEOS, FORMANDO ÁTOMOS DE HIDRÓGENO Y HELIO. EL GAS RESULTANTE, SE AGRUPÓ BAJO LA INFLUENCIA DE LA GRAVEDAD; CONDENSÓ FORMANDO GALAXIAS Y LAS ACTUALES ESTRELLAS. ÉSTAS COMENZARON SU EXISTENCIA, A PARTIR DE LOS CONSTITUYENTES FORMADOS EN LOS TRES PRIMEROS MINUTOS	106
FIG. ECAE - 05 - LA TIERRA FOTOGRAFIADA DESDE LA SUPERFICIE DE LA LUNA	107
FIG. ECAE - 06 - VISTA DE UN RINCÓN DEL UNIVERSO, RESULTANTE DEL PROCESAMIENTO DE IMÁGENES CAPTADAS POR EL TELESCOPIO ESPACIAL HUBBLE	107
FIG. ECAE - 07 - CORONA SOLAR, CUYA TEMPERATURA ALCANZA $1,3 \cdot 10^6 \text{ }^\circ \text{K}$. SE OBSERVAN MANCHAS SOLARES Y EYECCIONES DE MASA DE LA CORONA	110
FIG. ECAE - 08 - CAMPOS MAGNÉTICOS DEL SOL, DONDE SE ACUMULA ENERGÍA PARA SER LUEGO LIBERADA. LAS LÍNEAS MAGNÉTICAS SE UNEN Y CANCELAN EN UN PROCESO DE RECONEXIÓN, FORZANDO LA SALIDA DE PLASMA	110
FIG. ECAE - 09 - EXPANSIÓN DEL UNIVERSO	111

Fig. DR - 01 -	MODELIZACIÓN ESTRUCTURAL INTERPRETATIVA SIMPLIFICADA DE LAS RELACIONES ENTRE ENTIDADES (OBJETOS Y PROCESOS) ASOCIADAS A LA GENERACIÓN DE MODELOS AMBIENTALES ..	121
Fig. DR - 02 -	CINTA DE MÖBIUS, SUPERFICIE UNILÁTERA, NO-ORIENTABLE, DE NÚMERO CROMÁTICO 6 ...	123
Fig. DR - 03 -	OBJETO TOPOLÓGICO QUE ILUSTRAS LAS VINCULACIONES E INTERACCIONES QUE OCURREN ENTRE EL CONOCIMIENTO TÁCITO Y EL CONOCIMIENTO EXPLÍCITO, DURANTE EL PROCESO CÍCLICO Y RECURSIVO DE GENERACIÓN DE MODELOS AMBIENTALES. PARA FACILITAR LA VISUALIZACIÓN, SE HAN SUBSTITUIDO LOS RÓTULOS DE LOS BLOQUES ORIGINALES, EMPLEADOS EN LA FIG. DR - 01, POR SUS CORRESPONDIENTES DESIGNACIONES BREVES	123
Fig. DR - 04 -	REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO, MEDIANTE UNA RED SEMÁNTICA SIMPLE DE DISEÑO <i>TOP-DOWN</i> , EN RELACIÓN CON UN ORDENAMIENTO TAXONÓMICO DESDE EL REINO <i>ANIMALIA</i> , HASTA EL GÉNERO <i>HOMO</i> , SEGÚN EL NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION ..	125:127
Fig. ACCV - 01 -	LOS RENDIMIENTOS DE LA INVERSIÓN SE AGRUPAN EN CUATRO CATEGORÍAS	147
Fig. ACCV - 02 -	CLASIFICACIÓN DE LA IMPORTANCIA POR PARTE DEL ASALARIADO	148
Fig. ACCV - 03 -	ROI _w , NEGOCIABLE Y RELACIONAL	148
Fig. ACCV - 04 -	EL RENDIMIENTO CONDUCE A UN BENEFICIO SOBRE LA INVERSIÓN DE CAPITAL HUMANO Y ASÍ REFUERZA EL COMPROMISO Y SUSCITA DEDICACIÓN	149
Fig. ACCV - 05 -	DESARROLLO DE FORMULACIÓN Y APLICACIÓN DE UNA ESTRATEGIA	149
Fig. ACCV - 06 -	EL FACTOR KNOVA COMO CUANTIFICADOR DEL CONOCIMIENTO INTENSIVO	156
Fig. ACCV - 07 -	EJEMPLO DE MAPA DEL CONOCIMIENTO, DONDE SE INDICAN LAS TRANSFORMACIONES	164
Fig. AROC - 01 -	DIAGRAMA DE BLOQUES ILUSTRATIVO DE LOS PASOS A SEGUIR EN LA MODELIZACIÓN ESTRUCTURAL INTERPRETATIVA	176
Fig. AC - 01 -	MODELO CONCEPTUAL QUE ILUSTRAS SOBRE LOS EFECTOS DIRECTOS E INDIRECTOS DEL HOMBRE SOBRE LA ECÓSFERA	208
Fig. AC - 02 -	ENLACES VINCULANDO COMPOSICIÓN Y DIVERSIDAD ESPECÍFICA Y PROCESOS ECOSISTÉMICOS, LOS QUE INCLUYEN PRODUCTIVIDAD Y CICLOS DE NUTRIENTES. LOS PROCESOS REGIONALES COMPRENDEN LOS FLUJOS DE GASES HACIA LA ATMÓSFERA Y EL TRANSPORTE DE NUTRIENTES DESDE LOS SISTEMAS TERRESTRES HACIA LOS ACUÁTICOS. LOS PROCESOS COMUNITARIOS, INVOLUCRAN LA COMPETENCIA Y LA DEPREDACIÓN. LOS SERVICIOS DEL ECOSISTEMA AL HOMBRE, SON LOS BENEFICIOS QUE LA ESPECIE HUMANA DERIVA DE LOS PROCESOS ECOLÓGICOS ..	209
Fig. AC - 03 -	CÁLCULO DE LA DIMENSIÓN FRACTAL, COMO PENDIENTE DE UNA RECTA DE REGRESIÓN ...	228
Fig. AC - 04 -	RESPUESTA 1 A LA VARIACIÓN CON LA ESCALA, DEL GRADO DE COMPLEJIDAD DEL CONTORNO	229
Fig. AC - 05 -	RESPUESTA 2 A LA VARIACIÓN CON LA ESCALA, DEL GRADO DE COMPLEJIDAD DEL CONTORNO	229
Fig. ALC - 01 -	VARIACIÓN TEMPORAL DE BIOMASA	291
Fig. ALC - 02 -	DECRECIMIENTO SIGMÓIDEO	292
Fig. ALC - 03 -	ESCENARIO DE DUPLICACIÓN DEL PERÍODO, PARA EL PROCESO DE VERHULST: $2,9 < a < 4,0$ Y $0,0 < x < 1,33$. SE CALCULARON 600 GENERACIONES PARA CADA VALOR DE a Y SE GRAFICARON LAS ÚLTIMAS 150 . LA REGIÓN ENMARCADA SE PRESENTA EN LA Fig. ALC - 04	296
Fig. ALC - 04 -	ESCENARIO DE DUPLICACIÓN DEL PERÍODO, PARA EL PROCESO DE VERHULST: $3,5352 < a < 3,5817$ Y $1,1079 < x < 1,1828$. SE CALCULARON 2200 GENERACIONES PARA CADA VALOR DE a Y SE GRAFICARON LAS ÚLTIMAS 500 . LA REGIÓN ENMARCADA SE PRESENTA EN LA Fig. ALC - 05	297
Fig. ALC - 05 -	ESCENARIO DE DUPLICACIÓN DEL PERÍODO, PARA EL PROCESO DE VERHULST: $3,5684 < a < 3,5703$ Y $1,1224 < x < 1,1267$. SE CALCULARON 9500 GENERACIONES PARA CADA VALOR DE a Y SE GRAFICARON LAS ÚLTIMAS 2500	297

Fig. AIT - 01 -	MODELO GRÁFICO DE LAS INTERACCIONES TRÓFICAS Y FÍSICAS ESTABLECIDAS ENTRE LOS GRUPOS FUNCIONALES, BIOTA, FÓSFORO REACTIVO SOLUBLE Y MATERIA ORGÁNICA COMO DETRITOS ..	304
Fig. AMM I - 01 -	CURVA DE COTA-VOLUMEN PARA EL EMBALSE FRONTAL DE TERMAS DE RÍO HONDO EN 1997 .	320
Fig. AMM I - 02 -	UBICACIÓN DE PERFILES BATIMÉTRICOS SOBRE UN ESQUEMA DEL EMBALSE DE TERMAS DE RÍO HONDO, EN ESCALA: 1 : 200000	322
Fig. AMM I - 03 -	PERSPECTIVA CABALLERA NORMAL DEL RETICULADO ESPACIAL GENERADO POR UN CONJUNTO DE NODOS VECINOS	323
Fig. AMM I - 04 -	PERSPECTIVA CABALLERA NORMAL DEL RESULTADO GEOMÉTRICO, DE APLICAR EL ALGORITMO DE INTEGRACIÓN	324
Fig. AMM I - 05 -	EJEMPLOS DE NODOS CON COEFICIENTES DE PONDERACIÓN: $w = \frac{1}{4}, \frac{1}{2}, \frac{3}{4}, 1$, PRÓXIMOS A LA COSTA NORTE DEL EMBALSE (COTA DE 274 m snm), REPRESENTADA EN ESCALA: 1: 50000 ..	325
Fig. AMM I - 06 -	EN LÍNEA AZUL SE INDICAN LAS VARIACIONES DE ESPESOR DEL SEDIMENTO EN EL PUNTO NÚMERO DOS DEL PERFIL BATIMÉTRICO SEIS (06:02) Y EN ROJO LA GRÁFICA DE LA FUNCIÓN DE AJUSTE	326
Fig. AMM I - 07 -	ISOLÍNEAS DEL MÓDULO DEL TÉRMINO INDEPENDIENTE DE LA FUNCIÓN DE REGRESIÓN EMPLEADA PARA CALCULAR LA VARIACIÓN DE ESPESOR DE SEDIMENTOS	327
Fig. AMM I - 08 -	ISOLÍNEAS DEL COEFICIENTE DEL TÉRMINO LOGARÍTMICO DE LA FUNCIÓN DE REGRESIÓN EMPLEADA PARA CALCULAR LA VARIACIÓN DE ESPESOR DE SEDIMENTOS	327
Fig. AMM I - 09 -	VARIACIONES EN PORCENTAJE DE LA CAPACIDAD (LÍNEA AZUL) Y DE LA COLMATACIÓN (LÍNEA ROJA) PARA EL EMBALSE FRONTAL DE TERMAS DE RÍO HONDO	328
Fig. AMM II - 01 -	ESQUEMA DEL MODELO ELECTRO-ANALÓGICO DEL EMBALSE DE TERMAS DE RÍO HONDO ...	337
Fig. AMM II - 02 -	CIRCUITO ELÉCTRICO EQUIVALENTE DEL MODELO ANALÓGICO	338
Fig. AMM II - 03 -	PLANO DEL PANTÓGRAFO	338
Fig. AMM II - 04 -	ESQUEMA ELÉCTRICO DEL PANTÓGRAFO	339
Fig. AMM II - 05 -	CONEXIONADO GENERAL	340
Fig. AMM II - 06 -	CURVAS DE IGUAL CONCENTRACIÓN DE ORTOFOSFATO SOLUBLE, EN EL EMBALSE FRONTAL DE TERMAS DE RÍO HONDO, CORRESPONDIENTES AL MES DE FEBRERO	341
Fig. AMM II - 07 -	SUPERFICIE RETICULADA ESPACIAL DE LA VARIACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ORTOFOSFATO SOLUBLE, EN EL EMBALSE FRONTAL DE TERMAS DE RÍO HONDO, CORRESP. AL MES DE FEBRERO	341
Fig. AMM II - 08 -	CURVAS DE IGUAL CONCENTRACIÓN DE ORTOFOSFATO SOLUBLE, EN EL EMBALSE FRONTAL DE TERMAS DE RÍO HONDO, CORRESPONDIENTES AL MES DE SEPTIEMBRE	342
Fig. AMM II - 09 -	SUPERFICIE RETICULADA ESPACIAL DE LA VARIACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ORTOFOSFATO SOLUBLE, EN EL EMBALSE FRONTAL DE TERMAS DE RÍO HONDO, CORRESP. AL MES DE SEPTIEMBRE	342
Fig. ATSCMSM-01 -	ENERGÍA CUÁNTICA DEL ESPACIO VACÍO	371
Fig. ATSCMSM-02 -	COMPLEJO DE ACELERADORES DEL CERN	373
Fig. ATSCMSM-03 -	ESQUEMA DE UN DETECTOR DE PARTÍCULAS	374

ÍNDICE DE TABLAS

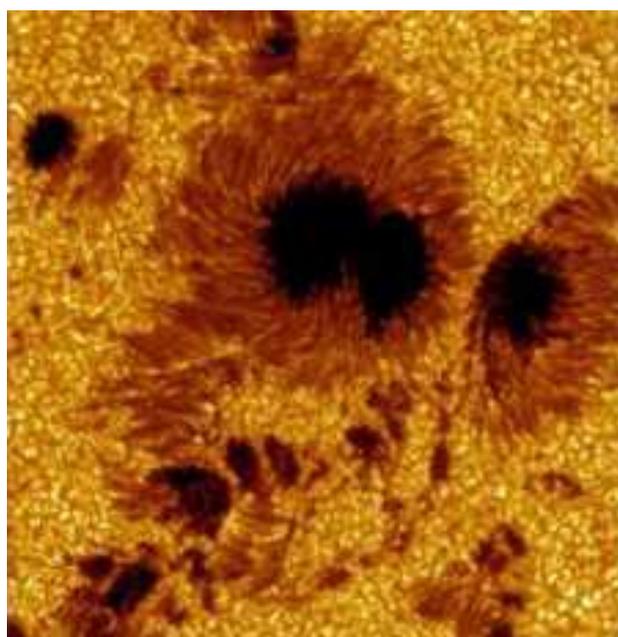
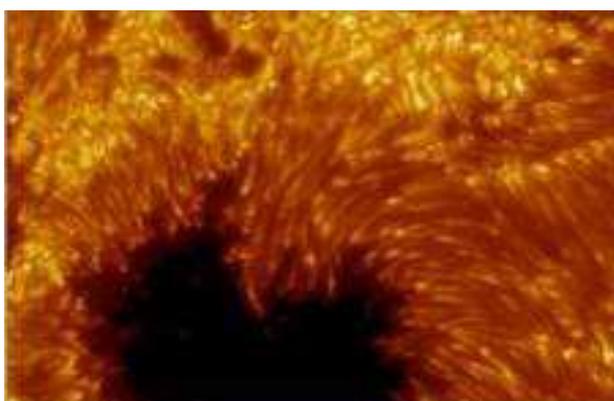
Tabla MM - 01 - CLASIFICACIÓN DE LAS CIENCIAS SEGÚN AMPÈRE	59
Tabla MM - 02 - CIENCIAS DE LA VIDA (AAAS)	62
Tabla MM - 03 - CIENCIAS FÍSICAS (AAAS)	62
Tabla MM - 04 - OTRAS DISCIPLINAS (AAAS)	62
Tabla MM - 05 - DISCIPLINAS DEL PROGRAMA DE POSGRADO 2003-2004 DE LA AAAS	62
Tabla MM - 06 - DISCIPLINAS CIENTÍFICAS CONSIGNADAS EN EL BUSCADOR POR TEMAS DE NETWATCH ...	63
Tabla MM - 07 - TABLA DE VERDAD PARA LOS CINCO CONECTORES LÓGICOS: \neg , \wedge , \vee , \Rightarrow , \Leftrightarrow	74
Tabla MM - 08 - TABLA DE VERDAD DONDE SE ANALIZA LA ORACIÓN COMPLEJA $((P \vee H) \wedge \neg H) \Rightarrow P$	74
Tabla MM - 09 - TIPOS DE VÍNCULOS EMPLEADOS EN LAS REDES SEMÁNTICAS Y SUS SIGNIFICADOS	76
Tabla R - 01 - ELEMENTOS; ENTIDADES U OBJETOS DEL PROCESO DE MODELIZACIÓN	82
Tabla R - 02 - CIENCIAS DE LA VIDA; CIENCIAS FÍSICAS Y OTRAS DISCIPLINAS QUE INTERVIENEN DIRECTAMENTE EN LA GENERACIÓN DE MODELOS AMBIENTALES	84
Tabla ECAE - 01 - MATRIZ 5 X 5 PARA EL MAPEO DE LA CREACIÓN DE CONOCIMIENTOS ASOCIADA A LA GENERACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS A PARTIR DE MODELOS FÍSICOS	104
Tabla DR - 01 - CONDENSACIÓN DE LAS ETIQUETAS O RÓTULOS DE BLOQUES CORRESPONDIENTES A LA MODELIZACIÓN ESTRUCTURAL INTERPRETATIVA DE LAS RELACIONES ENTRE ENTIDADES (OBJETOS Y PROCESOS) ASOCIADAS A LA GENERACIÓN DE MODELOS AMBIENTALES	120
Tabla DR - 02 - LISTADO ORDENADO DE ELEMENTOS, OBJETO DE MODELIZACIÓN ESTRUCTURAL INTERPRETATIVA, IDENTIFICADOS POR SUS CÓDIGOS O DESIGNACIONES BREVES	120
Tabla ACCV - 01 - EJEMPLOS DE COMPORTAMIENTOS EMPRESARIALES	150
Tabla ACCV - 02 - CARACTERÍSTICAS DEL APRENDIZAJE NO-FORMAL Y DEL APRENDIZAJE FORMAL	151
Tabla ACCV - 03 - CONTEXTO DE LA GESTIÓN DEL CAPITAL HUMANO. LISTA DE COMPROBACIÓN PARA LA ESTIMACIÓN DEL EQUILIBRIO	152
Tabla ACCV - 04 - MEDIDAS DE SEGURIDAD DEL CAPITAL HUMANO	154
Tabla ACCV - 05 - LO DESEABLE Y LO NO DESEABLE EN LA EMPRESA BASADA EN CONOCIMIENTO	158
Tabla CCC - 01 - PRINCIPIOS EPISTEMOLÓGICOS	167
Tabla CCC - 02 - PRINCIPIOS ONTOLÓGICOS	167
Tabla CCC - 03 - PRINCIPIOS CONCEPTUALES	167
Tabla AROC - 01 - MODELOS DE GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO	176
Tabla AROC - 02 - MODELOS DE GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO DESDE LOS PROCESOS	176
Tabla APA - 01 - CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DEL AMBIENTE EXISTENTES	188
Tabla APA - 02 - ACCIONES CAUSANTES DE IMPACTO AMBIENTAL	189

Tabla AMNL - 01 - PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS GENERALES A LOS QUE DEBEN AJUSTARSE LOS LÍQUIDOS RESIDUALES	194
Tabla AMNL - 02 - OTROS REQUERIMIENTOS, SI LAS AGUAS DEL CUERPO RECEPTOR SE DESTINAN AL RIEGO DE HORTALIZAS	194
Tabla AMNL - 03 - OTROS REQUERIMIENTOS, SI CON LAS AGUAS DEL CUERPO RECEPTOR SE RIEGAN CULTIVOS NO-HORTÍCOLAS	194
Tabla AC - 01 - COMPARACIONES ENTRE EL ENFOQUE CLÁSICO Y EL DE LA TEORÍA GENERAL DE SISTEMAS	211
Tabla AC - 02 - COMPARACIONES ENTRE EL ENFOQUE CLÁSICO Y EL DE LA TEORÍA GENERAL DE SISTEMAS	211
Tabla AC - 03 - CARACTERÍSTICAS DEL ENFOQUE SOCIO-ECONÓMICO TRADICIONAL Y DEL DE LA COMPLEJIDAD	220
Tabla AAG - 01 - CADENAS; VALORES DE LA FUNCIÓN DE EVALUACIÓN Y PORCENTAJES, CORRESPONDIENTES A LA POBLACIÓN DE TAMAÑO 4 DEL EJEMPLO	244
Tabla AAG - 02 - POBLACIÓN INICIAL; VALOR DE x ; $f_i(x)$; PROBABILIDAD DE QUE LA CADENA SEA SELECCIONADA, P_{SELEC} . COMO COCIENTE ENTRE $f_i(x)$ Y $\sum f_i(x)$; RECuento ESPERADO: $f_i(x) / f(x)$, DONDE $f(x)$ ES EL VALOR PROMEDIO DE LA FUNCIÓN DE EVALUACIÓN Y NÚMERO DE EJEMPLARES DE CADA CADENA EN LA LISTA DE APAREAMIENTO	245
Tabla AAG - 03 - LISTA DE APAREAMIENTO LUEGO DE LA REPRODUCCIÓN; SELECCIÓN ALEATORIA DE PAREJAS DE CADENAS; UBICACIÓN DEL ENTRECRUZAMIENTO; NUEVA POBLACIÓN; VALOR DE x Y $f_i(x)$ PARA LA NUEVA POBLACIÓN	246
Tabla AAG - 04 - CORRESPONDENCIA ENTRE EL LENGUAJE EMPLEADO EN LOS SISTEMAS GENÉTICOS NATURALES Y LOS ARTIFICIALES	247
Tabla AAG - 05 - ILUSTRACIÓN NUMÉRICA DEL TEOREMA FUNDAMENTAL DE LOS ALGORITMOS GENÉTICOS .	250
Tabla AAF - 01 - VARIABLES ACROSS Y THROUGH Y PARÁMETROS BÁSICOS PARA SISTEMAS FÍSICOS ESPECÍFICOS	279
Tabla ALC - 01 - RESUMEN DE RESULTADOS EXPERIMENTALES PARA UN FACTOR MALTHUSIANO ≥ 3	293
Tabla AIT - 01 - UNIDADES EN QUE SE EXPRESAN EN EL MODELO, LAS VARIABLES DE ESTADO; LAS RELACIONES FUNCIONALES Y LAS CONSTANTES BATIMÉTRICAS	301
Tabla AIT - 02 - PARÁMETROS DEL MODELO; UNIDADES Y DOMINIOS MUESTREADOS (VALORES MÁS BAJOS Y MÁS ALTOS) EN UN LAGO DE REGIÓN TEMPLADO CÁLIDA	302
Tabla AIT - 03 - PROCESOS ECOSISTÉMICOS Y PARÁMETROS DEL MODELO RELACIONADOS	303
Tabla AMM I - 01 - VALORES DE COTA-VOLUMEN DEL EMBALSE FRONTAL DE TERMAS DE RÍO HONDO EN 1997 .	320
Tabla AMM I - 02 - COMPARACIÓN ENTRE PARÁMETROS TOPOGRÁFICO-GEOMÉTRICOS E HIDROLÓGICOS DEL SISTEMA REAL Y DEL MODELO, RESULTANTES DEL ANÁLISIS DIMENSIONAL	321
Tabla AMM I - 03 - EJEMPLO DE REGISTROS DE LAS VARIACIONES POR COLMATACIÓN DE LAS COTAS DE PUNTOS BATIMÉTRICOS, EN FUNCIÓN DEL TIEMPO, OBTENIDAS DEL MODELO REDUCIDO	326
Tabla AMM I - 04 - VARIACIÓN DEL VOLUMEN DE LA CUBETA; DE LA CAPACIDAD ÚTIL DEL EMBALSE Y DEL VOLUMEN DE SEDIMENTOS, EN FUNCIÓN DEL TIEMPO	328
Tabla AMM II - 01 - CAUDALES HÍDRICOS; CONCENTRACIONES Y CAUDALES MÁSCOS DE FÓSFORO SOLUBLE, APORTADO POR LOS TRIBUTARIOS DEL EMBALSE FRONTAL DE TERMAS DE RÍO HONDO	336
Tabla ACB - 01 - COMPARACIONES ENTRE COSTOS DE IMPACTOS Y DE INGENIERÍA Y DECISIONES A TOMAR	346

1. - PRÓLOGO

El verdadero conocimiento, basado en la observación y la experiencia como vivencias intensas y sostenidas, tiene una decisiva componente emocional. Cada guijarro y cada flor silvestre tienen una historia que contar, está en nosotros saber oírla. Indagar el nombre de seres y objetos, convierte la búsqueda en una fuente inagotable, pues nombrar es apropiarse, es establecer un vínculo misterioso y mágico. El camino ha de reconocerse con paso reverente, en la certeza de que se nos es dado, atisbar apenas, la deslumbrante complejidad del mundo que moramos (Raymo, C., 2003).

El camino que recorreremos, es más que un aprendizaje; es más aún que la propia vida, es una hebra que enlaza nuestra existencia con el Universo. El oxígeno que respiramos, se formó en estrellas que murieron mucho antes que la Tierra naciera; un minuto vivido intensamente, puede equivaler a un milenio y el paso correcto puede expandir el espacio. Todo camino puede ser de superación, si es recorrido con cuidado y sin preconceptos, si es modelado por el conocimiento y si está abierto a la sorpresa, la admiración y la alabanza. Cuando los núcleos atómicos se fusionan en el centro de una estrella, parte de la masa se transforma relativísticamente en energía electromagnética. Cada segundo, en el centro del Sol, 660 millones de toneladas de hidrógeno se fusionan en 655 millones de toneladas de helio y 5 millones de toneladas de materia se convierten en energía radiante en la corteza solar (ver **Figs. P - 01 y 02**). En un día transcurren ochenta y seis mil cuatrocientos segundos; en un año 31536000 segundos; ¿cuántos a lo largo de cuatro mil seiscientos millones de años? y ¿qué cantidad de masa ha perdido el Sol desde entonces?, una estrella en cientos de miles de millones en la Vía Láctea, que es una galaxia, en un Universo de decenas de miles de millones de galaxias...



FIGS. P - 01 Y 02 - FOTOS DE ALTA RESOLUCIÓN DE LA SUPERFICIE DEL SOL. LA REGIÓN CENTRAL ES OSCURA DEBIDO A LOS CAMPOS MAGNÉTICOS QUE DETIENEN LA CORRIENTE ASCENDENTE DE GAS CALIENTE PROVENIENTE DEL INTERIOR, CAUSANDO UN FENÓMENO LLAMADO PENUMBRA. ALGUNOS FILAMENTOS PENETRAN EN ÉSTA ZONA.

FUENTE: SWEDISH SOLAR TELESCOPE, ROYAL SWEDISH ACADEMY TEAM - ISLAS CANARIAS, ESPAÑA.

Las realidades concretas asociadas a la experiencia del mundo, del relámpago y el trueno, del Sol y la Luna, de la masa y la fuerza, del borde afilado de la piedra usada para desollar, del fuego y la comida, de la sangre y el hueso, alimentan la noción de materia. La idea del espíritu, se nutre de la propia conciencia, de los sueños, de la luz y las tinieblas, del misterio del nacimiento y la muerte, de la difusa pero incontrovertible intuición de que existe más que lo que la vista percibe. Sin embargo la naturaleza material, asombrosa y sutilmente inmaterial, vibratoria y resonante, sirve a la manifestación de lo misterioso y trascendente. Un aspecto de la naturaleza material, asociado a la gestión del conocimiento inspira y anima esta Tesis.

La propia experiencia ontológica, contribuye a la noción subjetiva de la flecha del tiempo. En “Cosmic Evolution: The Rise of Complexity in Nature”, el físico Eric Chaisson, presenta la noción de la flecha del tiempo como una curva de complejidad cósmica creciente, que arranca en el Big Bang y llega, al menos conforme a lo que sabemos, al cerebro y mente humanos, donde se verifican los procesos cognitivos cuya vinculación con la generación de modelos ambientales, intentaremos explorar (Chaisson, E. J., 2002). La complejidad, puede explicarse o al menos describirse, mediante las leyes de la termodinámica de los sistemas apartados del equilibrio. En un Universo en expansión, surgen regiones locales de orden, a pesar del desorden o entropía creciente (ver apéndice sobre **COMPLEJIDAD Y RESTAURACIÓN AMBIENTAL. PROPUESTA CONCEPTUAL Y METODOLÓGICA PARA EL ESTUDIO FORMAL DE ECOSISTEMAS DOMINADOS POR EL HOMBRE**). La complejidad asociada al curso de la evolución cósmica, puede medirse merced a la tasa o variación de la densidad de la energía libre, definida como la cantidad de energía útil contenida en una cantidad de masa e intervalo de tiempo.

Mucha más energía fluye de una estrella que la que interviene en el metabolismo de una oruga, pero la concentración o densidad de energía es del orden de 10000 ergios por segundo y gramo de oruga, versus 2 ergios por segundo y por gramo de estrella. Consiguientemente según Eric J. Chaisson, la oruga es más compleja que la estrella y nuestra sociedad, lo es más que las comunidades cazadoras-recolectoras. El microchip actual, probablemente en el tope de la curva evolutiva, según el precedente criterio, tiene una tasa de densidad de energía libre superior a los diez mil millones de ergios por segundo y por gramo. Subsiste la pregunta de sí en la vastedad del Universo, ¿hay otras formas de complejidad con tasas de densidad de energía libre superiores en varios órdenes a los productos del ingenio humano?

Como se expresa más adelante, el plantearse interrogantes responde al propósito de promover una revisión crítica del conocimiento, que fundamente acciones mejoradoras de los procedimientos de trabajo en general y de las interacciones sociales. Se considera que las preguntas son más importantes que las respuestas para cultivar la inteligencia individual y colectiva, siendo la cognición humana, una actividad de creación de valor (ver apéndice sobre **EL CONOCIMIENTO COMO INSTRUMENTO DE CREACIÓN DE VALOR**).

Retomando la noción de que el camino que intentamos recorrer con paso reverente, nos permite atisbar apenas, la deslumbrante complejidad del mundo, cabe una reflexión personal. Normalmente, una tesis¹ se ubica cronológicamente en el comienzo de la vida profesional; ésta en cambio, se sitúa hacia el final. Tiene por ello, un notorio acento retrospectivo.

¹ Se interpreta como tal, al argumento que se intenta prevalezca en razón de su validez; a la doctrina o proposición intelectual que se considera idónea; a la certidumbre comprobable y a la prueba de verdad (Álvarez Chávez, V. H., 1993; Lagmanovich, D., 1997).

Scientia potentia est

Sir Francis Bacon (1561–1626)

2. - INTRODUCCIÓN

2. 1. - Campo Semántico: según el diccionario de la lengua de la Real Academia Española, la palabra gestión, proviene del latín (*gestio, -onis*); acción y efecto de gestionar, que define como hacer diligencias conducentes al logro de un negocio o de un deseo cualquiera. También, acción y efecto de administrar (del latín, *administrare*); ésto es, gobernar, ejercer la autoridad o el mando sobre un territorio y sobre las personas que lo habitan; dirigir una institución; ordenar, disponer, organizar en especial la hacienda o los bienes; desempeñar o ejercer un cargo, oficio o dignidad; suministrar, proporcionar o distribuir alguna cosa y graduar o dosificar el uso de alguna cosa, para obtener mayor rendimiento de ella o para que produzca mejor efecto (Real Academia Española, 1992).

La misma fuente expresa que conocimiento debe interpretarse como la acción y efecto de conocer. Es sinónimo de entendimiento, inteligencia, razón natural, noción, ciencia y sabiduría, estando referido a cada una de las facultades sensoriales activas del hombre. El conocimiento es poder, tal como expresa el epígrafe.

Es plausible sostener que en la época moderna, con varios autores renacentistas interesados por el método y con René Descartes (1596-1650), Nicolás de Malebranche (1638-1715), Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716), John Locke (1632-1704), George Berkeley (1685-1753), David Hume (1711-1776) y otros, el problema del conocimiento se convierte en una cuestión central del pensamiento filosófico (Ferrater Mora, J., 1999). La constante preocupación de los autores aludidos y citados por el método y por la estructura del conocimiento, es en este respecto muy reveladora, siendo objeto de la teoría del conocimiento o epistemología o gnoseología, a partir de Emmanuel Kant (1724-1804), quién establece un plano trascendental y además sostiene que la ley moral presupone la libertad, la inmortalidad y la existencia de Dios, si bien la razón no puede justificar estas nociones primordiales.

En el sentido de la descripción de lo que aparece o de lo que es inmediatamente dado, la fenomenología del conocimiento, se propone poner de manifiesto el fenómeno o el proceso del conocer; el significado de ser objeto de conocimiento; ser sujeto cognoscente; aprehender el objeto de conocimiento; etc. Conocer es fenomenológicamente hablando, aprehender o representar un objeto gnoseológicamente trascendente al sujeto. Subsiste el interrogante de la posibilidad del conocimiento, el que tiene respuestas antagónicas; la del escepticismo, según el cual el conocimiento no es posible y la del dogmatismo, según el cual el conocimiento es posible. En general se adoptan variantes del escepticismo o del dogmatismo, tales como un escepticismo moderado, enfocado al origen del conocimiento o un dogmatismo moderado, interesado en la validez del conocimiento. Estas variantes suelen afirmar que el conocimiento es posible, no de un modo absoluto, sino relativo y limitado dentro de ciertos supuestos a los que se accede mediante una previa reflexión crítica.

2. 2. - Fundamento de la Posibilidad del Conocimiento: éste radica en la realidad sensible (impresiones; percepciones sensibles; etc.) o en las verdades de hecho (conocimiento inmediato) y en la realidad inteligible (ideas en sentido más o menos platónico) o en las verdades de la razón (conocimiento mediato), identificándose diversas posiciones, tales como las del empirismo; del racionalismo; del realismo y del idealismo. La doctrina de José Ortega y Gasset, examina el conocimiento como un saber, el saber a qué atenerse, negando que el conocimiento sea connatural y consubstancial al hombre. Por el interés que su pensamiento reviste en relación con los objetivos del presente trabajo, será tratado en detalle, reseñándose su artículo ¿Qué es el conocimiento?, publicado en Humanitas, Revista de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad Nacional de Tucumán.

Dice Ortega y Gasset que todo hacer humano es hecho por algo y para algo, sin que sea posible vacío de motivación y que todas las preguntas son emanaciones, diferentes por su calidad e intensidad, de una fundamental condición humana, la curiosidad. El sentido propio del vocablo curiosidad brota de su raíz en la palabra latina cura o el cuidado, la preocupación (Ortega y Gasset, J., 1964). No se buscan las cosas, sino su ser. Para llegar a él, se necesita negar lo que se tiene delante y patente y esforzarse por encontrar el ser tras las cosas. Se necesita pues, quitar de la mente lo que se ve para descubrir lo latente; por eso los griegos al hallazgo del ser, llamaban *a-letheuein*, ésto es, descubrimiento, des-ocultación, y *eletheia* ha sido traducido por la palabra verdad. A esta cuasi-cosa en que consiste lo que una cosa es, se la llama su esencia. Con esto resulta que se ha duplicado el mundo. Al conjunto de todas esas cosas que son entidades inmediatas, presentes por sí, se lo llama circunstancia o mundo; resulta que cada una de ellas tiene un ser, una esencia, lo cual implica una duplicación del mundo. Tras el mundo de las cosas está el mundo de las esencias. Tras los entes, el orden constituido por el ser de esos entes.

El mundo de las esencias, del ser, no es nunca inmediato; está siempre detrás de las cosas, mediado por éstas. El ser, la esencia, es algo que no se da por sí, sino que tiene que ser buscado por el hombre, que si se encuentra, es al cabo de un esfuerzo a veces penosísimo. El hallazgo del ser supone al hombre un gran esfuerzo, el hallazgo de las cosas no sólo supone ningún esfuerzo, sino que, al revés, todo esfuerzo por no hallarlas, fracasa irremisiblemente. La existencia del hombre es un existir entre las cosas y con las cosas, es hallarse en el mundo. Si el existir del hombre es necesariamente existir entre las cosas, quiere decirse que el hombre necesita absolutamente de las cosas. En cambio, el ser, las esencias, necesitan del hombre, por lo menos y por lo pronto en el sentido de que necesitan ser buscados por él. Cosas o entes son lo que se halla, y ser o esencia lo que se busca. El mundo inmediato es el que se halla sin buscarlo, lo que se encuentra tan primordialmente, que encontrarlo no supone un acto mental especializado, sino que encontrarlo es una y misma cosa de nuestra existencia. Vivir es, en efecto, hallarse entre las cosas y frente a ellas.

Al esfuerzo para llegar hasta el ser, que la pregunta inicia, suele llamarse conocimiento. El hombre se afana en conocer por su naturaleza misma. Puede traducirse así la respuesta aristotélica: el hombre se pregunta por el ser, gracias a que él es constitutivamente un ente que se pregunta por el ser. Cuando se pregunta por qué el hombre se ocupa en conocer, se responde mostrando los mecanismos intelectuales que el hombre hace funcionar para conocer y se identifica a aquellos con éste. Ahora bien; es evidente que conocer una cosa no es verla, ni recordarla, ni ejercitar con motivo de ella, las operaciones *sensu stricto* intelectuales, tales como abstraer, comparar, inferir. Todas éstas son facultades o aparatos con que el hombre se encuentra dotado y de los que hace uso para conocer; pero no son el conocer mismo.

En escala macroscópica, el mundo no tiene poros o agujeros, como una decoración vieja, que permite entrever el fondo del escenario. El mundo es un área toda patente y sin intersticios. En el mundo no hay nada del ser, presente como un dato. El ser, en cuanto tal, no se manifiesta, no aparece. Por el contrario, formalmente es lo que no se manifiesta, lo que no aparece, lo que ni en todo ni en la más mínima de sus porciúnculas se hace presente, aquello de lo que no se tiene la menor noticia. El ser es, en suma, lo ausente por excelencia. ¿Cómo se le va a ver y cómo se podrá sentir la curiosidad de verlo, en el sentido del vocablo curiosidad si el ser no brilla o si se prefiere, si el ser brilla por su ausencia?

Originariamente, el ser no es una cosa que está ahí, más o menos a la mano, entre las cosas, como una perla en el granero de trigo; el ser está originariamente solo en la pregunta que por él se hace el hombre. Cuando Homero describe a Aquiles furioso, quién retraído en su tienda bélica premedita solitario, venganzas, dice que Aquiles se quedó hablando consigo. ¿Quiere esto decir que el hombre manifiesta a sí mismo sus pensamientos, es decir, que primero piensa y luego se formula y se dice eso que ha pensado? No; no hay pensamiento plenario que no sea habla. El pensamiento es ya por sí fórmula, locuela, enunciación. Al hablar no sólo se dice a alguien, sino que se dice algo, y este decir algo, sea a otro, sea a sí mismo, es el pensar. Pensar y conversar son, pues, dos especies del hablar, y aquel, la primaria o radical. Se dice que no habría lenguaje si el hombre no fuese una criatura social, si en torno al individuo no existiesen los prójimos. Pero ¿es que existiría pensamiento si el hombre fuese un ente solitario? Seguramente no; pensamiento y lenguaje son funciones inseparables y ni más ni menos oriundas de la sociabilidad la una que la otra. En este aspecto, no hay diferencia esencial alguna. Pero en el individuo antecede el habla íntima, el decirse a sí mismo algo, a la operación de comunicarlo.

Acertadamente los griegos hicieron equívoco el vocablo *logos*, encargándole significar indistintamente, decir y pensar. Hablar es siempre manifestar, pero al conversar con otro se comunica lo que es ya manifiesto para el individuo. En cambio, al hablar consigo mismo o pensar, es cuando se ejecuta originariamente la operación de manifestar. Se manifiesta a sí mismo algo que antes estaba oculto y arcano. Si no, ¿para qué se fatiga el hombre en pensar? Cuando piensa, es decir, cuando se habla a sí mismo, intenta evidentemente aclararse algo, y toda su labor en ese hacer intelectual es desnudar las cosas de su cobertura confusa para traerlas a la luz del día, para ponerlas en la superficie o de manifiesto. Siempre se olvida este punto decisivo; se desconoce que la realidad misma se comporta con esencial doblez. Si ella por sí fuese desde luego auténtica, todo contacto humano con las cosas sería ya posesión de la verdad y sobrarían los apuros y esfuerzos del pensar, del conocer. Ante una realidad que fuese unívoca, que fuese tal y como aparece, ¿cómo podría errar el hombre? El error del pensar consiste en tomar como verdadera realidad lo que es realidad pero no verdadera, no auténtica. Y es preciso en este punto, corregir los usos que plantean el problema del error, exclusivamente en el sujeto que conoce y no advierten que en el error colabora la realidad; por tanto, que urge plantearlo antes de iniciar la teoría del conocimiento en el umbral mismo del sistema filosófico, en la pura ontología.

Importa sólo pensar que el pensamiento o habla es el lugar donde las cosas manifiestan su verdad; por tanto, que éstas no están ahí por sí mismas en su verdad, sino que requieren el esfuerzo de un sujeto cognoscente para ser descubiertas y nudificadas de modo que transparezca su auténtica naturaleza. Por eso, se habla sólo de lo oculto y arcano, de lo que no es patente y todo hablar, todo decir, es revelar un secreto no humano, sino de las cosas. Evidentemente, antes de que se descubra un secreto, de que se traiga a claridad algo oculto, de que se resuelva un enigma, tuvo que haber un estado mental en que simplemente se reconocía la existencia de un secreto, un enigma, una ocultación. Sin ese estado mental no se dispararía el proceso del pensar, no se haría el esfuerzo de conocer y hablar. Por tanto, el estado mental en que se advierte un problema o enigma es por sí la postulación, el requerimiento, la demanda de pensar o hablar.

2. 3. - Razón Vital del Conocimiento: José Ortega y Gasset expresa su desacuerdo cuando se plantea el problema del conocimiento, analizándose los mecanismos intelectuales, psicológicos o lógicos que el hombre emplea para conocer; dice que la psicología entera, o entera la lógica, o juntas ambas, no bastan para dar la definición más elemental del conocimiento. Se dice que al conocer se busca la verdad y que conocimiento en su plenitud sería la posesión integral de ésta. Ahora bien; ni la psicología ni la lógica iluminan lo más mínimo para averiguar que cosa sea ese ser de las cosas, en cuya captura por lo visto, consiste el conocimiento. Una gran mayoría de los hombres de ciencia, y no se refiere a los falsos hombres de ciencia, se encuentran empeñados en la actividad de investigar, sin que jamás hayan sentido necesidad alguna, original, que los mueva a ello. Trabajan en física o filología porque al salir a la vida hallaron constituidos estos oficios de físico o de filólogo, y los adoptaron como podrían haber adoptado otro. Se quiera o no, en la vida hay que hacer algo; no tolera el vacío de todo hacer. Cuando se eluden los demás quehaceres, se presenta uno de los más angustiosos: el aburrimiento, que es la terrible tarea de hacer tiempo, de sostener a pulso una vida hueca, la más pesada de todas, la que se desploma sobre cada minuto de su propio transcurso. Muchos hombres hacen ciencia, dice, por hacer algo. Pero es evidente que no habrían inventado ese tipo de ocupación humana que hoy se ha materializado en institutos, cátedras y puestos sociales regulados y retribuidos. El primero que hizo física, no lo hizo por hacer algo, sino por una interna y concretísima necesidad. Esta necesidad, que es la raíz del conocimiento, tiene que ser puesta a la intemperie en una definición de aquél que pretenda tener sentido. El esfuerzo con que se busca el ser brota y se nutre de una dimensión radical de la vida, que es la ignorancia. Ésta es el más auténtico supuesto del conocimiento. Sólo un ente que es por naturaleza ignorante, es capaz de movilizarse en la operación de conocer. Pero no ignora quienquiera; ni la piedra ni Dios ignoran y por eso, hablando rigurosamente, ni una ni otro conocen. Se trata, dice Ortega y Gasset, de un privilegio humano, glorioso y tremebundo.

La ignorancia real, constitutiva, es algo más que un simple no saber, es no saber algo que hace falta saber. Por consiguiente, sólo puede ser de verdad ignorante un ente que por la naturaleza es menesteroso, quiere decir que constitutivamente sufre la falta de algo. La posesión de un saber tiene que estar justificada; sólo puede saber quien lo necesita, y sólo lo necesita quien con el saber llena algún hueco, manquedad o defecto que padece. El saber es propiamente saber lo que una cosa es; su objeto propio es el ser. Decir, pues, ignorancia es decir que alguien necesita violentamente, quiera o no, averiguar el ser de las cosas. Ésta es precisamente la condición del hombre.

Continúa Ortega y Gasset sosteniendo que Descartes creyó al afirmar *cogito, ergo sum*, que se vive o existe porque se piensa y en tanto que se piensa; no advirtiendo que el pensar se presenta como un esfuerzo reactivo al que obliga la propia existencia preintelectual. La verdad es que no se existe porque se piensa, sino al contrario, se piensa porque se existe, pues la vida plantea crudos problemas inexorables. El hombre es su vida, y la vida consiste en que se halla obligado a sostenerse en medio de las cosas, del ancho y complicado contorno. Se tiene en cada instante que decidir lo que se va a hacer; ésto es, lo que se va a ser en el instante inmediato. Si el hombre fuese eterno, ésto no lo angustiaría; lo mismo es tomar una u otra decisión. Aún erradas, siempre queda tiempo para rectificarlas. Pero lo malo es que los instantes del hombre son contados, y por tanto, cada uno irremplazable. No se puede impunemente errar; va en ello ... la vida o un trozo insustituible de ella. El hombre tiene que acertar en su vida y en cada momento de ella. Ésta le hace caer en la cuenta de lo que significa originariamente el ser, la esencia de una cosa; es simplemente aquella imagen de ella, que brinda seguridad vital con respecto a ella. Véase en qué sentido es la ignorancia un atributo radical del hombre. Consiste en la inseguridad de que está hecha, como de una materia amarga, nuestra vida; es el no saber a qué atenerse. El conocimiento no tiene un origen frívolo; no es un simple ejercicio de los mecanismos intelectuales, ni es movido por la curiosidad o prurito de mirar, según Aristóteles parece suponer.

Es de toda evidencia no haber ningún problema que no lo sea del hombre. Por tanto, han de brotar todos en una u otra dimensión de la vida humana. La vida no es dada ya hecha, sino que tiene que hacérsela cada uno, y el espíritu del hombre no es primariamente espectador de su existencia, sino autor de ésta; tiene que ir la decidiendo de momento a momento. De esta suerte, construye el hombre tras las cosas efectivas de cada instante la cosa permanente, inmutable, en suma, el ser de las cosas. La vida es primariamente encontrarse sumergido entre las cosas, y mientras es sólo eso consiste en sentirse absolutamente perdido. La vida es perdición. Más por lo mismo obliga, se quiera o no, a un esfuerzo para orientarse en el caos, para salvarse de esa perdición. Este esfuerzo es el conocimiento que extrae del caos un esquema de orden, un cosmos. Este esquema del universo es el sistema de las ideas o convicciones vigentes. Se quiera o no, se vive con convicciones y de convicciones. El más escéptico teóricamente existe apoyándose en un soporte de creencias sobre lo que las cosas son. La vida es absoluta convicción. La duda intelectual más extrema es vitalmente una absoluta convicción de que todo es dudoso. El ser dudoso algo o todo no es menos creencia en un ser que cualquier otra de aspecto más positivo.

El ser de una cosa no es, pues, una cosa ni una hipercosa; es un esquema intelectual y su contenido expresa o descubre lo que una cosa es y lo que una cosa es, está constituido siempre por el papel que la cosa representa en la vida, por su significación intravital. Es superficial plantear, según es sólito, el problema del conocimiento reduciéndolo a la cuestión de cómo el sujeto intelectual, la conciencia puede capturar el ser, como si la conciencia y el ser preexistiesen separados uno del otro y se tratase sólo, como en los juegos de manos, de hacer pasar el ser a la conciencia o la conciencia al ser. Uno y otro, la aprehensión cognoscitiva y el ser que ella aprehende surgen, como aristas radicales en algo previo, la vida. Todos los problemas metafísicos tienen sus raíces en el estudio de la vida, en la razón vital.

2.4. - Modelización Matemática Sistémica: la gestión del conocimiento comprende los diversos modos de utilización de todos los recursos cognitivos. Ésto implica la creación de nuevas estructuras a partir de la repetición de nuevos descubrimientos, además del registro y combinación de saberes. El enfoque metodológico sistémico, valora y enfatiza el aprendizaje adaptativo; la intuición y la creatividad, en el desarrollo de estrategias de pensamiento y decisión, asistidas por las tecnologías de la información y la comunicación. De este modo, los instrumentos de apoyo a la decisión, contemplan los aspectos sociales y las relaciones humanas (Nakamori, Y., 2003).

El sistema como un todo, es inseparable si se lo percibe holísticamente; si en cambio, se lo estudia analíticamente, no se advierte la inseparabilidad del todo. Es por ello que habitualmente se eliminan los vínculos débiles y las no-linealidades que articulan elementos con subsistemas diversos y se consideran en cambio, los subsistemas lineales, fácilmente concebibles. El conocimiento de las personas es subjetivo; ambiguo y vago, además de circunstancial o contextualmente dependiente. Para manejar estos atributos se ensayan técnicas de modelización que toman en cuenta las tendencias de opinión y su diversidad, basadas en la extensión del análisis multivariado, al ámbito de la modelización borrosa (Zadeh, L. A., 1965, 1973, 1975; Tanaka, H., 1987). Se pretende así, cuantificar globalmente las percepciones y sentimientos de las personas, para apoyar la toma de decisiones (Nakamori, Y. and M. Ryoike, 2001). Se ha definido el conocimiento, afirmando que:

- Es información organizada, aplicable a la resolución de problemas (Woolf, H., 1990);
- Es información que ha sido organizada y analizada para hacerla comprensible y aplicable a la resolución de problemas y a la toma de decisiones (Turban, E., 1992);
- Es todo razonamiento en relación con los datos y la información, para ser aplicado a la resolución de problemas; a la toma de decisiones; al aprendizaje y a la enseñanza (Beckman, T., 1997).

2. 5. - Conversión de Conocimiento Tácito a Explícito y Recíprocamente: ambas son cruciales para el proceso de creación del conocimiento (Nonaka, I. and H. Takeuchi, 1995). En síntesis:

- La información es (A) conocimiento transmitido mediante caracteres; signos; voz; etc. o bien (B) estructuras de datos útiles para la toma de decisiones;
- El conocimiento es (C) reconocimiento memorizado personalmente o socialmente, o bien (D) juicios o sistemas de juicio con validez objetiva;
- La inteligencia es la (E) habilidad para comprender y aprender o bien (F) la habilidad para pensar y comprender instintiva o automáticamente (por ejemplo, en el caso de la inteligencia computacional).

Nonaka y Takeuchi proponen cuatro modos para la conversión de conocimiento tácito a explícito y recíprocamente:

- La socialización como proceso de compartición de experiencias y consiguientemente, de creación de conocimiento tácito, tal como cuando se comparten modelos mentales o habilidades técnicas;
- La externalización como proceso de articulación de conocimiento tácito en entidades explícitas que toman la forma de metáforas; analogías; conceptos; hipótesis; modelos; etc.;
- La combinación como proceso de sistematización de conceptos, conducente a la integración de un cuerpo orgánico de conocimientos. Este modo de conversión de conocimiento implica la estructuración de diferentes formas de conocimiento explícito;
- La internalización como proceso de aprehensión del conocimiento explícito, el que se asimila y registra o retiene como conocimiento tácito. Este mecanismo está estrechamente relacionado con la noción de aprender-haciendo.

2. 6. - Dinámica de la Innovación: para lograrla se requieren las siguientes condiciones:

- Un espacio organizativo definido por las interacciones entre agentes. Es el ámbito donde las personas comparten sus experiencias; enfoques; intereses y modelos mentales;
- Un espacio de diálogo, como de interacciones individuales y colectivas. Es donde se comparten los modelos mentales y las habilidades; donde se unifica el lenguaje;
- Un espacio de sistematización de las interacciones grupales y virtuales, el que permite la combinación de los conocimientos explícitos disponibles, transmisibles mediante documentos;
- Un espacio de ejercitación, definido merced a interacciones individuales y virtuales. Ofrece un contexto para la internalización, por aprehensión del conocimiento explícito comunicado por medios virtuales, tales como manuales escritos o programas de simulación.

En correspondencia con los cuatro modos del proceso de creación del conocimiento y las cuatro formas de espacios, es posible categorizar también en cuatro tipos, los activos cognitivos (Nonaka, I. *et al.*, 2000):

- Los activos cognitivos experimentales que consisten en el conocimiento tácito compartido a través de la experiencia práctica entre los miembros de la organización y entre éstos y los agentes externos con quienes se relacionan;
- Los activos cognitivos conceptuales, consistentes en conocimiento explícito articulado mediante imágenes; símbolos y lenguajes;

- Los activos cognitivos sistémicos, conformados por conocimiento explícito sistematizado y agrupado, tal el caso de los llamados paquetes tecnológicos; de la información documentada; etc.;
- Los activos cognitivos rutinarios, como conocimiento tácito incorporado a las acciones y prácticas de la organización; tal el caso del saber-hacer (*know-how*); de la cultura organizacional; de las rutinas del día-a-día; etc.

2. 7. - Aportes de las Tecnologías de la Información y de la Comunicación (TIC): la llamada Ciencia del Conocimiento, incorpora de las TIC los siguientes recursos:

- Las metodologías de la creación del conocimiento; ésto es, modelización conceptual jerárquica para la resolución de problemas y la creación de conocimiento conceptual;
- Los sistemas basados en conocimiento, donde cobran importancia las investigaciones sobre sistemas cognitivos evolutivos, tales como los de redes de información; los de redes neuronales; etc.;
- La estructura del conocimiento, en términos de la construcción de conceptos, basada en la jerarquización; la abstracción y la instanciación de éstos. También de la adquisición; formalización; representación y utilización del conocimiento;
- Los sistemas de soporte o apoyo de la creatividad, con sus componentes de estímulo a los entornos de innovación y de aplicación de principios al tratamiento de problemas intelectuales del mundo real.

Las nociones precedentes, deben ser integradas con criterio pluralista y de complementariedad, reconociendo que la fuente más fiable de conocimiento, reside en la investigación científica, origen de saberes únicos, al menos transitoriamente; objetivos; generales y repetibles. El conocimiento proveniente del contexto social, incorpora los significados que confieren las circunstancias y las experiencias de vida; es por tanto, subjetivo; vago y ambiguo. Consiguientemente, una metodología integrativa, debe manejar los diferentes tipos de conocimiento, en el intento de generar creencias ciertas justificadas o conocimiento sistémico. Debe integrar datos e información estadística con conocimientos personales fragmentarios, para producir un resultado original, inicialmente como conocimiento tácito que ha de ser convertido en explícito, mediante los recursos e instancias siguientes:

- 1) Inteligencia: implica actuar en una situación en la que no se estuvo involucrado previamente, considerando la clase de conocimiento necesario para resolver el problema que se enfrenta y recurriendo a los subsistemas de adquisición de éste. En este caso, el conocimiento es el problema;
- 2) Imaginación: como mejora de la propia capacidad de comprensión y aprendizaje; asimismo en la recolección de datos e información pertinente; en el análisis de éstos y en la elaboración de modelos de simulación y optimización. En este caso, el conocimiento es un modelo;
- 3) Participación: como actitud de involucrarse en la construcción de ideas sobre realidades nuevas o existentes. Se simulan fenómenos complejos basándose en conocimiento parcial. En este caso, el conocimiento es un escenario;
- 4) Integración: se aúnan el propio interés y entusiasmo con el de otras personas. Se receptan diferentes opiniones, a través de reuniones o encuestas. En este caso, el conocimiento asume la forma de opiniones;
- 5) Intervención: se combinan diferentes conocimientos, estrechamente vinculados, evaluando la confiabilidad y justificación de los resultados. El conocimiento toma la forma de soluciones.

El mecanismo precedente de creación del conocimiento, puede ser evaluado considerando la propiedad con que se hayan definido el sistema; los actores y los contenidos. También, su utilidad y la suficiencia de su potencia y alcances. La estructura jerárquica; las características emergentes y las funciones de comunicación; de control y de realimentación, hacen a la naturaleza sistémica del abordaje descripto.

2. 8. - Formulación de la Hipótesis: la presente tesis tiene, además del propósito de ilustrar y formalizar la estrecha correspondencia entre la gestión del conocimiento y la generación de modelos ambientales, el de representar este conocimiento, empleando redes semánticas o conceptuales y modelización estructural interpretativa, vinculando los elementos u objetos cognitivos mediante relaciones contextuales de herencia de atributos y de causalidad.

El conocimiento que extrae del caos un esquema de orden, un cosmos, es tal como se expresará más adelante, creencia o parecer verdadero, justificado; es tácito y explícito. La creación efectiva del conocimiento depende de la existencia de un contexto facilitador y la generación de conocimiento sistematizado, involucra cinco etapas o pasos principales, que son: (1) compartición del conocimiento tácito; (2) creación de conceptos; (3) justificación de conceptos; (4) construcción de un prototipo y (5) nivelación cruzada de conceptos.

En el proceso de facilitación de la creación de conocimiento, se identifican cinco acciones facilitadoras del conocimiento: (1) inculcar o infundir una visión del conocimiento; (2) manejar las conversaciones; (3) movilizar a los promotores del conocimiento; (4) generar el contexto adecuado y (5) globalizar el conocimiento local (Von Krogh, G.; I. Kazuo and N. Ikujiro, 2000).

Lo precedentemente expresado, permite sostener la siguiente hipótesis:

La generación de modelos ambientales, es el resultado de un proceso de gestión del conocimiento, donde el conocimiento tácito es compartido [(1) compartición del conocimiento tácito], creándose y justificándose conceptos o entidades abstractas [(2) creación de conceptos y (3) justificación de conceptos], las que se relacionan y vinculan funcional o ecuacionalmente, mediante estructuras formales calibradas [(4) construcción de un prototipo], para ser luego verificadas y validadas [(5) nivelación cruzada de conceptos]. El proceso de formalización del conocimiento asociado a la generación de modelos ambientales, puede ser representado empleando redes semánticas o conceptuales y modelización estructural interpretativa, vinculando los elementos u objetos cognitivos mediante relaciones contextuales de herencia de atributos y de causalidad.

3. - ANTECEDENTES Y MARCO CONCEPTUAL

« Il n'est pas facile de s'orienter dans un ensemble dont les organes relèvent de dimensions différentes. [...] L'instrument manque qui permettrait de discuter synthétiquement une simultanéité à plusieurs dimensions. Malgré ce grave défaut, nous procéderons à un examen détaillé des parties de cet ensemble. Mais autant que possible en gardant devant chaque partie la conscience qu'il s'agit d'une approche partielle, afin de ne pas s'alarmer lorsqu'une nouvelle partie révèle d'autres dimensions, propose une tout autre direction menant dans une région écartée où le souvenir pâlisant des dimensions déjà parcourues risque de faire défaut. »¹

Paul Klee, 1924, « De l'art moderne », conférence prononcée à la Iéna.

3. 1. - Aspectos Gnoseológicos: comprender lo que ocurre a nuestro alrededor, es equivalente a construir modelos y confrontarlos con las observaciones. En cada momento nuestro sistema sensorial releva el entorno; la mente registra y compara las observaciones con imágenes previamente formadas y eventualmente arriba a una conclusión preliminar; hace uso de analogías y arquetipos. Por ello, los sistemas físico-químico-biológicos asociados a fenómenos de transición, de orden elevado, apartados del equilibrio y por ende con ruptura de la simetría propia de la reversibilidad, pueden servir de arquetipos en la comprensión de los procesos que interesan en gestión del conocimiento, de naturaleza inherentemente compleja (Nicolis, G. and I. Prigogine, 1998).

El análisis procede en dos etapas; en la primera se establecen analogías entre las observaciones y el comportamiento del sistema físico-químico-biológico de referencia. Ésto define el tipo de modelo que es probablemente el más adecuado para representar el sistema de interés. En la segunda etapa, se procura reconocer dentro del marco del modelo adoptado, las especificidades del problema e incorporarlas a la descripción. Los resultados del análisis se confrontan con la experiencia, en la búsqueda de concordancias cuali-cuantitativas para luego hacer predicciones (ver el apéndice sobre **ANALOGÍAS FÍSICAS**). La modelización, importa una tarea multiforme, adecuada para aprehender los problemas complejos vinculados con la toma de decisiones en relación con la gestión sustentable de los ecosistemas. Ésta implica entre otros aspectos, la comunicación entre actores y agentes encargados de decidir, necesitados de metodologías generadoras de representaciones objetivas y subjetivas del conocimiento y de códigos o lenguajes comunes. La modelización ambiental y la toma de decisiones emplean herramientas formales y procedimientos algorítmicos y heurísticos, para vincular una amplia variedad de saberes científicos en el tratamiento de cuestiones vinculadas con las contaminaciones hídrica, atmosférica y edáfica; con el cambio climático global; con los desechos nucleares; etc. (Roberts, N. *et al.*, 1983; Malézieux, E.; G. Trébuil et M. Jaeger, 2001).

¹ No es fácil orientarse en un conjunto cuyos componentes relevantes tienen dimensiones diferentes [...]. No se dispone del instrumento que permita tratar de manera sintética, una simultaneidad multi-dimensional. A pesar de este grave defecto, procederemos a un examen detallado de las partes de este conjunto, teniendo conciencia, en la medida de lo posible, que se trata de un enfoque parcial, de modo de no alarmarse cuando una nueva parte revele otras dimensiones o plantee cualquier otra dirección que lleve en una región apartada, donde el recuerdo desvanecido de las dimensiones ya recorridas, corre el riesgo de fallar.

3. 1. 1. - Dualidad entre Apariencia y Realidad: en relación con esta dualidad, cabe la pregunta de si existe en el mundo, algún conocimiento que sea tan cierto que ningún hombre razonable pueda dudar de él. Este interrogante, que a primera vista no parece difícil, es realmente uno de los más inextricables que puedan ser formulados. Una vez detectados los obstáculos que conspiran contra una respuesta directa y convincente, el individuo ha sido lanzado al estudio de la Filosofía, que es meramente el intento de responder las preguntas esenciales, no descuidadamente, o dogmáticamente, como se acostumbra en la vida diaria e incluso en las ciencias, sino críticamente, luego de explorar todo lo que hace enigmáticas a estas preguntas esenciales y advertir la vaguedad y confusión que subyace en nuestras ideas cotidianas (Russell, B. A., 1998).

En la vida diaria se asumen como ciertas, afirmaciones que sometidas a un examen sistemático, adolecen de manifiesta contradicción y solamente el ejercicio de la duda metódica, arroja luz sobre aquello que justifica ser tenido como creíble. En la búsqueda de la certidumbre, resulta natural comenzar con las experiencias inmediatas, a partir de las cuales, será derivado el conocimiento, aun a riesgo de que las afirmaciones que se infieran tengan apenas un valor aproximado y provisorio, pues la distinción entre apariencia y realidad, es fuente de controversia filosófica; se vincula con lo que las entidades parecen ser y lo que efectivamente son. Desde el punto de vista de la Ciencia, es deseable no adherir a una doctrina particular ni confinar la metodología a una determinada concepción filosófica. Quién trabaja en Gestión del Conocimiento, debe estar preparado para el cambio promovido por nuevas experiencias. Sin embargo, esta afirmación constituye una simplificación, pues la estructura del pensamiento individual se conforma durante la juventud, merced a la aprehensión de ideas o como resultado de la influencia intelectual de personalidades descolantes (Heisenberg, W., 1999). Estas estructuras constituyen un componente presente en todo el trabajo individual posterior, dificultando la adaptación a experiencias e ideas enteramente diferentes. Otra razón, se asocia a la circunstancia de pertenecer la persona, a una comunidad o sociedad, la que se mantiene cohesionada merced a una axiología, a ideas o bien a un lenguaje común. Este contexto constituye el ámbito dentro del cual, las personas comparten sus experiencias vitales. Las ideas comunes pueden ser sostenidas por alguna forma de autoridad social; aún si éste no es el caso, puede resultar difícil apartarse de ellas, sin entrar en conflicto con la comunidad. Los resultados del pensamiento científico o filosófico pueden contradecir algunas de las ideas comunes, por lo tanto, puede resultar inconveniente privar a alguno de la satisfacción que se deriva del sentimiento de pertenencia, argumentando falta de lealtad comunitaria.

3. 1. 2. - Relevancia del Lenguaje: el lenguaje común que las personas emplean para comunicarse los problemas generales de la vida, plantea otro problema debido a la incertidumbre intrínseca ligada al significado de las palabras. Este aspecto, fue reconocido tempranamente e indujo el empleo de definiciones o el establecimiento de límites en relación con el uso apropiado de las palabras. Merece destacarse que las definiciones se formulan mediante otros conceptos, tomados como tales, no definidos ni analizados. Esta es la razón de la insistencia socrática en las definiciones y en la discusión acerca del contenido de los conceptos en el lenguaje; también de la recursividad platónica en la precisión de los conceptos. El pequeño tratado sobre definiciones de Aristóteles, muestra como su lógica se nutre de esta fuente. De modo de obtener una base sólida para el pensamiento filosófico y científico, comienza analizando las formas del lenguaje y la estructura formal de las conclusiones y de las deducciones, independientemente de sus contenidos. De esta forma se alcanzan grados de abstracción y de precisión que contribuyen a la clarificación y al establecimiento del orden en los modos de pensamiento.

“Si desea conversar conmigo, defina sus palabras” afirma Voltaire, en el ánimo de quitar a la comunicación, la ambigüedad causada por falta de un código compartido. Ésto constituye el prólogo y el epílogo de toda Lógica; su alma y corazón. Todo término significativo, debe ser sometido a estricto análisis y definición, con anterioridad a su introducción en el discurso (Durant, W., 1953). Por otra parte, el análisis lógico del lenguaje implica el riesgo de simplificar en exceso, al centrarse en la Lógica; en la atención de estructuras especiales; en la conexión no ambigua entre premisas y deducciones; en patrones de razonamiento; etc., desestimando otras alternativas inherentes a la comunicación. Éstas pueden resultar de asociaciones entre significados de las palabras; de connotaciones provocadas por acepciones secundarias, las que pueden contribuir esencialmente a la interpretación de expresiones que representan partes de la realidad. “La metáfora es probablemente el recurso más fértil que posee el hombre”, expresa el filósofo y humanista José Ortega y Gasset, pues el lenguaje cuenta. Algunos sociólogos sostienen que la esencia de la administración de recursos, en sentido amplio, reside en el uso con destreza del lenguaje para crear significado. Interrogado Confucio sobre su primer acto de gobierno, en caso de regir una nación, respondió que sería fijar el lenguaje. Es pertinente observar como escribe Mark Twain que “la diferencia entre la palabra casi justa y la correcta, es un asunto mayor; es la diferencia entre una luciérnaga y un relámpago”² (Davenport, T. H., 1999).

La Ciencia debe basarse en el lenguaje y en códigos formales o lógico-matemáticos, como medios de comunicación y éstos, en la medida de lo posible, deben estar libres de ambigüedades para expresar mediante conceptos básicos, las leyes generales. A partir de los conceptos, se deriva una amplia variedad de fenómenos posibles, no sólo cualitativamente, sino con precisión en los detalles. Cuando una secuencia de conclusiones se infiere a partir de determinadas premisas, el número de enlaces o vínculos en la secuencia depende de la precisión con que se formulan las premisas y esto puede lograrse mediante la abstracción matemática (Heisenberg, W., 1999). De lo expresado, se deduce la importancia cultural del aprendizaje y consecuentemente del conocimiento; es entonces conveniente pasar del significado al dominio del conocimiento. A este respecto Robert Reich afirma que en una economía basada en el conocimiento, la nueva moneda del estado es el aprendizaje; particularmente el aprender a aprender. Anota en “The Company of the Future” (“La Empresa del Futuro”) que si alguien aspira a que un negocio sobreviva a la buena idea inicial, debe crear una cultura que valore el aprendizaje y si el propósito es el de crecer en la atención de nuevas responsabilidades, debe mantenerse un intenso interés en aprender, adhiriendo a algún sistema socio-económico-cultural que ofrezca la posibilidad del aprendizaje continuo (Von Krogh, G.; K. Ichijo and I. Nonaka, 2000).

3. 1. 3. - Contexto Facilitador del Conocimiento: siguiendo los atributos identificados por Georg Von Krogh; Kazuo Ichijo y Ikujiro Nonaka en su destacado libro “Enabling Knowledge Creation: How to Unlock the Mystery of Tacit Knowledge and Release the Power of Innovation” (“Facilitando la Creación de Conocimiento: Como Revelar el Misterio del Conocimiento Tácito y Liberar el Poder de la Innovación”), el conocimiento es creencia o parecer verdadero, justificado; es tácito y explícito. La creación efectiva del conocimiento depende de la existencia de un contexto facilitador y la generación de conocimiento sistemático involucra cinco etapas o pasos principales, que son: (1) compartición del conocimiento tácito; (2) creación de conceptos; (3) justificación de conceptos; (4) construcción de un prototipo y (5) nivelación cruzada de conceptos.

² “The difference between the almost right word and the right word is really a large matter; it is the difference between the lightning-bug and the lightning”

El proceso de facilitación de la creación de conocimiento, se desenvuelve superando las limitaciones corrientes de la teoría de la gestión del conocimiento, para encarar aproximaciones operativas al dominio amorfo, constantemente evolutivo del conocimiento humano. Se identifican cinco facilitadores del conocimiento: (1) inculcar o infundir una visión del conocimiento; (2) manejar las conversaciones; (3) movilizar a los promotores del conocimiento; (4) generar el contexto adecuado y (5) globalizar el conocimiento local. Es asimismo ponderable la importancia de las micro-comunidades de conocimiento, los pequeños grupos dentro de una organización, cuyos miembros comparten lo que saben, tanto como las metas; los valores y los logros comunes, manteniendo fuertes vínculos en base a la creación continua de conocimiento.

3.1.4. - Expresión de las Fuerzas Creativas: En el intento de contribuir a una mejor comprensión de las correlaciones entre el hombre y el universo; el individuo, la sociedad y los valores compartidos, se privilegia el principio de unidad en la naturaleza humana, reconociéndose su permanencia a través de las modificaciones o su continuidad en el cambio. Los sistemas socioeconómicos y culturales deben operar en un contexto fuertemente vinculado al conocimiento; quienes asumen responsabilidades, deben agregar continuamente valor intelectual, comunitario y comercial a su gestión estratégica de producción de bienes y servicios, recurriendo a las tecnologías de la información y la comunicación o TIC (*Information and Communication Technologies* o *ICT*). Deben fortalecerse los aspectos actitudinales positivos y las competencias clave en relación con el conocimiento, procurando capturar el que es significativo y convirtiéndolo de intangible en una entidad operativa tangible. Las organizaciones humanas, deben enfatizar los procesos basados en equipos y grupos comunitarios de trabajo, adecuadamente apoyados por las TIC, en una experiencia de integración, conocida como gestión del conocimiento, basada en el valor. Esta gestión privilegia el conocimiento significativo generado a partir de las ideas e innovaciones de personas o colectivos comprometidos. No se pretende concentrar y encauzar la corriente de las tecnologías de la información, sino contribuir a la creación de organizaciones que inspiren a los profesionales del conocimiento a adoptar niveles más altos de performance, basados en la creatividad y la intuición, la flexibilidad y la velocidad de respuesta.

En “Lo que Significan las Perspectivas Mundiales” (“What World Perspectives Means”, World Perspectives Series, Volume XIX), presentado en el epílogo del valioso libro “Física y Filosofía – La Revolución en la Ciencia Moderna” (“Physics and Philosophy - The Revolution in Modern Science”) de Werner Heisenberg, Ruth Nanda Anshen con la colaboración de un Consejo Editor, integrado por Niels Bohr, Richard Courant, Hu Shih, Ernest Jackh, Robert M. Maciver, Jacques Maritain, J. Robert Oppenheimer, I. I. Rabi, Sarvepalli Radhakrishnan y Alexander Sachs, intenta revelar las nuevas tendencias básicas en la civilización moderna, para interpretar la acción de las fuerzas creativas, manifestadas como vasto conjunto de ideas.

Recientes desarrollos en numerosos campos del pensamiento, han abierto insospechadas posibilidades para una mejor comprensión de la situación humana y una apropiada ponderación de los valores y aspiraciones del hombre. Esta perspectiva requiere para su análisis y síntesis, de un nuevo marco de referencia, en el que pueda ser enriquecida en beneficio del hombre y la sociedad. El paso siguiente, consiste en superar los efectos de la atomización del conocimiento, producidos por la abrumadora acumulación de hechos, para clarificar y sintetizar constructivamente las ideas, mostrando el permanente interjuego de hechos y valores y el carácter, la relación, la lógica y el accionar del organismo completo que es la realidad.

El conocimiento teórico básico está ligado al contenido dinámico de la totalidad de la vida, propiciando una síntesis que es cognitiva e intuitiva y concierne a la unidad y continuidad universal. La naturaleza humana es conocible y todos los caminos del conocimiento son interconectables; algunos están interconectados conformando una gran red de personas; ideas y sistemas cognitivos, a modo de estructura racionalizada como sociedad y cultura humana.

El conocimiento no consiste en una manipulación del hombre y la naturaleza como fuerzas opuestas; tampoco en la reducción de datos, a un orden estadístico; es la liberación de la esencia del *Homo sapiens* de las fuerzas destructivas del miedo. Es la rehabilitación de la inteligencia y la voluntad, junto con un renacer de la confianza en las capacidades personales, instrumentos de la dignidad, de la integridad y de la autorrealización. Estos son inalienables derechos del hombre, el que no es meramente una *tabula rasa* en la que arbitrariamente pueden imprimirse contenidos mediante circunstancias externas.

El hombre posee la potencialidad única de su libre creatividad; puede guiar el cambio movido por propósitos conscientes, a la luz de su experiencia racional. No es sólo determinado por la Historia; determina la Historia, la que por ello, está impregnada del mundo humano y de sus influencias espirituales, conformando una totalidad de sentimientos y pensamientos. Al conocimiento adquirido en las ciencias formales y fácticas y en las humanidades, se suma el intento de la aprehensión de la unicidad cualitativa de la vida (ver el apéndice sobre **EL HOMBRE Y LA NATURALEZA**). La noción de consiliencia, se asocia a la constatación de que todo el mundo está organizado en términos de un reducido número de leyes fundamentales que comprenden los principios subyacentes en toda experiencia de aprendizaje y por ende en la gestión del conocimiento (Wilson, E. O., 1998; Damasio, A. R., 2001).

3. 1. 5. - Modelos Mentales: una cuestión de difícil solución, es la antítesis entre naturaleza objetiva y mente humana, pues el individuo forma parte de la naturaleza y simultáneamente, conoce la naturaleza como un fenómeno de su mente. Otro aspecto a analizar, es el que se refiere al error de considerar hábitos adquiridos de pensar, como postulados perentorios o terminantes, impuestos por la mente en conexión con las teorías del mundo físico (Schrödinger, E., 1996). Atendiendo al punto de vista cuántico, no es posible emitir sentencia sobre un sistema, sin perturbarlo. Esta perturbación, que no es irrelevante, ni tampoco completamente mensurable, constituye una interacción material real, aun cuando se circunscriba a una mera observación del sistema, el que es interferido por el observador, dado que no es posible obtener conocimiento a partir de un ente u objeto estrictamente aislado. Luego de los pasos de observación, se conocen algunas de las características últimamente observadas del objeto, sin embargo, las que fueron interferidas por la última observación, no se conocerán o se conocerán de manera imprecisa. El enfoque precedente, se emplea para justificar porque no puede lograrse una descripción completa y sin brechas de la realidad objeto de observación, a pesar de que es posible según afirma Erwin Schrödinger, elaborar modelos mentales, completos y sin brechas.

Desde los modelos mentales, es posible inferir y prever el comportamiento del sistema, al menos hasta donde la incompletitud de las observaciones lo permiten. Bajo los métodos de observación y de pensamiento, en relación con los resultados del accionar consciente, la frontera entre el sujeto y el objeto, estrechamente vinculados, se hace borrosa o difusa, cobrando singular vigencia, la pregunta filosófica de Plotino, discípulo de la Escuela de Alejandría: ¿quiénes somos?

3. 2. - Aspectos Ecológicos: una medida de la madurez alcanzada por la ecología, se manifiesta en la posibilidad de predecir el resultado de nuevos modos de intervención o de cambios en las condiciones, no experimentados con anterioridad; para ello se requiere una comprensión mecanicista y a la vez sistémica de los procesos ambientales (Grubb, P. J. and J. B. Whittaker, 1989). Esta comprensión permite que las generalizaciones derivadas inductivamente de los datos, se presenten como principios; son de interés los siguientes:

- Si una población no está restringida por depredadores; por la enfermedad o por otros factores ambientales deletéreos o adversos, estará limitada por la finitud de recursos (Malthus, T. R., 1798);
- Un biotipo reemplazará a otro bajo un conjunto de determinadas condiciones, si tiene más alta fecundidad o menor mortalidad (Darwin, C., 1859);
- Dos biotipos, no sujetos permanentemente a una reducción poblacional por acción de una tercera parte u otro factor ambiental, pueden coexistir indefinidamente si tienen diferentes nichos o están sometidos a una competencia intra-específica mayor que inter-específica (Gause, G. F., 1934);
- Una especie presa y una especie depredadora, no pueden coexistir indefinidamente, salvo que el ambiente sea heterogéneo (Huffaker, C. B., 1958);
- Los efectos densidad-dependientes pueden estabilizar el tamaño de una población o producir ciclos o causar comportamientos caóticos, dependiendo del grado de no-linealidad de la relación entre N_{t-1} y N_t (May, R. M., 1974, 1986);
- La energía disponible decrece en cada etapa o paso de depredación (Lindemann, R. L., 1942).

Cuando la naturaleza de los sistemas se hace marcadamente mecánica, las propensiones (en el sentido que les asigna Karl R. Popper) de los eventos, se aproximan a la condición de fuerzas y las probabilidades condicionales tienden a la unidad; ésto equivale a afirmar que si los procesos pueden ser aislados, se establece una correspondencia estricta causa-efecto, suprimiéndose las interacciones o interferencias, en el lenguaje de Popper. Durante el curso del desarrollo, las propensiones tienden a aislarse progresivamente de su entorno y en el límite, a actuar como fuerzas que son características del comportamiento mecánico (Ulanowicz, R. E., 1997). Los sistemas reales no alcanzan esta situación cerrada de punto final; están siempre inmersos en el mundo real, abierto. Si son autocatalíticos, un aumento en la actividad de un componente, incrementa la actividad de los otros participantes del ciclo, provocando una mejora en el crecimiento del sistema; en este caso, las propensiones para las influencias positivas, prevalecen sobre las interferencias decrementales acumulativas.

3. 2. 1. - Autocatálisis y Homeostasis: la autocatálisis induce: (1) crecimiento y (2) selección. Exhibe (3) una asimetría que puede provocar (4) una apropiación y acumulación centrípeta de los materiales y de la energía disponibles. La ocurrencia de más de una vía autocatalítica en un sistema, implica (5) una potencial competencia. El comportamiento autocatalítico, es (6) autónomo, hasta el nivel de su constitución microscópica y toda vez que la escala de observación es suficientemente grande, (7) emerge; normalmente bajo la apariencia de una (8) causa formal en el sentido aristotélico³.

³ La tipología causal de Aristóteles, reconoce cuatro niveles: material; eficiente; formal y final.

La diversidad de flujos facilita la homeostasis del sistema y la diversidad genera estabilidad. Sin embargo, Robert May en 1973, demostró rigurosamente que la existencia de más conexiones entre los miembros de un sistema, probablemente degrade en vez de reforzar la estabilidad, superado un valor de equilibrio, llamado umbral de conectividad. El potencial s de cada configuración en su contribución a la complejidad global, es proporcional al logaritmo negativo de la probabilidad p de que la configuración ocurra; siendo k , una constante de proporcionalidad, se tiene: $s = -k \log p$, que es una medida de la complejidad⁴. Se comprueba que el suceso cierto de probabilidad $p = 1$, hace una contribución nula a la complejidad; contrariamente, una combinación infrecuente o suceso raro, tiene un gran potencial para hacer complejo al sistema. Éste será descrito promediando las contribuciones potenciales de los estados, ponderadas por las respectivas probabilidades, pues la información provoca un cambio en la asignación de probabilidades. La fórmula de Claude Shannon de 1948, toma la forma: $\sum_i p_i s_i$.

Las fuerzas y flujos en un sistema próximo al equilibrio, se ajustan mutuamente para adoptar la configuración que produce la menor entropía, bajo las restricciones externas actuantes, según expresó Ilya Prigogine en 1945. Sin embargo Howard T. Odum, en una comunicación personal a Robert E. Ulanowicz, manifestó que todo sistema que sólo actúa para minimizar su producción de entropía, conlleva un impulso de muerte. Según Lionel Johnson, la estructura del ecosistema es una función de dos tendencias antagónicas; una hacia un estado simétrico de menor disipación y otra dirigida a un estado de máxima disipación alcanzable.

3.3. - Aspectos Formales y Metodológicos: los modelos de simulación permiten predecir ambientes futuros, estando la confiabilidad de estas predicciones, limitada al dominio de comportamiento definido por los registros empleados en la elaboración y calibración del modelo (Kobayashi, H., 1981; Fowler, A. C., 1997). Los cambios asociados a las entradas desde el exterior y a la estructura interna, hacen que el comportamiento del sistema, difiera del predicho por el modelo (Ogata, K., 1987). Para compensar la pérdida de credibilidad, se conjugan el conocimiento científico y la opinión pública, describiéndose los escenarios futuros, bajo condiciones de incertidumbre.

Se emplean métodos basados en muestreo; tal el caso del análisis de sensibilidad regionalizado (*Regionalized Sensitivity Analysis* o *RSA*); de la estimación de densidad estructurada como grafo árbol (*Tree-Structured Density Estimation* o *TSDE*); de la cobertura uniforme mediante rechazo probabilístico (*Uniform Covering by Probabilistic Rejection* o *UCPR*); etc. (Osidele, O. O., 2001).

Los métodos de muestreo se utilizan para identificar; ordenar y codificar los factores clave que influyen sobre el comportamiento ambiental del sistema objeto de modelización y en relación con los temores y expectativas comunitarias sobre su estado futuro. El futuro deseado, está en general vinculado con cambios estructurales significativos; por ello, las interacciones entre los elementos clave de un reservorio, por ejemplo, tales como agua; nutrientes; sedimentos; producción primaria y secundaria; procesos microbiológicos; etc., juegan un papel crítico en su comportamiento ecológico futuro. Es posible confirmar o refutar el interés comunitario en relación con el ambiente futuro, aplicando estrategias propias de la gestión del conocimiento.

⁴ La fórmula $s = -k \log p$ se escribió como epitafio en la lápida de la tumba de Ludwig Boltzman (1844 - 1906).

Pueden precisarse falencias críticas en el conocimiento actual y establecerse asimismo, políticas de acción orientadas a priorizar áreas de investigación, promoviendo el aprendizaje adaptativo, basado en lazos de realimentación entre generación de escenarios y análisis sistemático. La observación y la adquisición de datos preliminares, inician el proceso de selección y descripción de componentes y funciones del sistema; éste es seguido por lazos de control para corregir las faltas de adecuación en calidad y cantidad de elementos y relaciones vinculantes.

El futuro probable de un sistema ambiental, depende de modo variable de las decisiones que se adopten, incluyendo la opción de no actuar. El modelo de simulación, como recurso predictivo, calibrado a partir de registros históricos, sirve a la planificación de escenarios futuros. Ésto no garantiza concordancia con el comportamiento del sistema si se modifican sus entradas o sus condiciones internas. En general, una ganancia en robustez, exige incorporar nuevos componentes conceptuales en la forma de sub-componentes, lo que implica aumentar el número de datos requeridos para verificar el modelo una vez revisado. Se establecen de este modo, ciclos de adquisición de datos y verificación del modelo; simbólicamente:

$$\{\text{adquisición de datos}\} \leftrightarrow \{\text{verificación del modelo}\}$$

3. 3. 1. - Ciclos de Adquisición de Datos y Verificación del Modelo: se interrumpen cuando se logra una razonable credibilidad en relación con las predicciones del modelo sobre alcanzabilidad de futuros posibles y se dispone consecuentemente de un respaldo para el diseño de políticas de acción y para la toma de decisiones. La calibración del modelo, fija tanto su estructura conceptual como los coeficientes o parámetros que caracterizan el comportamiento del sistema, a ésto se suman el sesgo personal y la subjetividad que introduce toda intervención humana.

La verificación de un modelo, sólo aporta evidencia circunstancial favorable, pues no garantiza su capacidad predictiva frente a cambios estructurales motivados por causas naturales o de origen antrópico, tales como modificaciones en la composición de las comunidades o en las interacciones entre componentes. La estructura ⁵ implica además de la organización de los componentes o variables de estado, los flujos de materia; energía; información y entropía entre ellos y entre el sistema y su entorno. Las funciones, como expresiones formales, cuantifican los flujos, incluyendo los parámetros del proceso. Como el cambio estructural en un sistema ecológico, va generalmente acompañado de modificaciones funcionales en alguna escala de resolución, se considera que el cambio estructural, implica el efecto combinado de ambos. Los ciudadanos, interpretados como accionistas (*stakeholders*), han cobrado interés en la calidad e integridad de los ambientes naturales; consiguientemente, cuestionan la credibilidad del conocimiento en que se apoya la toma de decisiones. Es deseable una articulación entre la opinión cualitativa de los accionistas y los modelos cuantitativos resultantes de la formalización-representación del conocimiento científico-técnico; para ello, la Gestión del Conocimiento, brinda un marco metodológico adecuado al análisis y evaluación de futuros ambientales alcanzables. El objetivo del análisis de escenarios futuros, es la organización de la información, sobre la que deben apoyarse la toma de decisiones y las acciones consiguientes, encaminadas a evitar o prevenir, futuros problemas ambientales.

⁵ Para el Análisis de Sistemas, la estructura del modelo se conforma mediante un conjunto de conceptos y representaciones matemáticas asociadas, que describen el comportamiento interno del sistema. Por ello, cuando el modelo se refiere a ecosistemas, se integran estructura y funciones ambientales.

3.3.2. - Investigación de Escenarios o Situaciones de Ocurrencia Probable: se encara para tomar mejores decisiones en el presente (Glenn, J. C. 1999), en la expectativa de que éstas introduzcan influencias externas que posibiliten determinadas condiciones en el futuro. Idealmente, quién toma decisiones, debería tener un completo entendimiento del sistema sobre el que actúa, de modo de poder predecir con certeza las respuestas ante un conjunto de diferentes alternativas, pudiendo seleccionar la mejor opción. Como los sistemas naturales involucran una red compleja de interacciones físicas y bioquímicas, siendo sus estructuras, no invariantes en el tiempo y los modelos no describen completamente su comportamiento, es improbable una anticipación precisa de escenarios futuros. Ésto hace que la toma de decisiones esté acompañada de incertidumbres y consiguientemente, de riesgos ciertos de daños a personas y al ambiente natural y construido (Rowell, D. and D. N. Wormley, 1997).

La calibración y verificación de modelos, emplea datos históricos, no contemplando por ello, la ocurrencia de imprevistos, tales como cambios climáticos; introducción de especies; etc. Debe entonces, mejorarse la anticipación de eventos futuros, mediante razonamiento retrocedente (*backward-reasoning*), el que permite decidir si determinados patrones de comportamiento futuros, son técnicamente alcanzables. Se identifican asimismo, las faltas o falencias críticas de conocimiento y las modificaciones o intervenciones sobre el sistema, conducentes a situaciones futuras favorables. Es de interés, evaluar la alcanzabilidad de escenarios ambientales futuros, deseados o bien temidos, detectando cambios estructurales de probable ocurrencia; atendiendo asimismo, a la credibilidad de los modelos de simulación y a su capacidad para anticipar situaciones imprevistas, minimizando los riesgos. El empleo de modelos cuali-cuantitativos contribuye a la definición de políticas ambientales y respalda la toma de decisiones. Se ha aplicado el análisis de incertidumbres en la predicción de la calidad del agua (Beck, M. B., 1987); en el caso de los sistemas ecológicos complejos, donde la incertidumbre en general es mayor, debe considerarse el error estructural, ponderando el desvío o apartamiento entre lo que se conoce y representa mediante el modelo y el comportamiento de la realidad objeto del conocimiento. Por ello, la calibración es un proceso recursivo que implica la adquisición de información adicional. Dado un escenario objetivo futuro y un conjunto de estrategias de control, como reglas de operación, es pertinente conocer que cambios paramétricos deben introducirse en el sistema formal para acceder a la meta (Hofstadter, D. R., 1999). Ésto equivale a conocer los cambios estructurales entre dos instancias temporales. Cabe observar que suelen suprimirse variables de estado y parámetros, estimados no relevantes, para reducir la complejidad matemática y operativa de modelos muy desarrollados. La disminución de sus grados de libertad, conlleva una merma en la capacidad de detección de modificaciones estructurales futuras, particularmente cuando los elementos eliminados dominan el comportamiento del sistema real.

La incorporación de procesos redundantes en la estructura del modelo, con anterioridad al análisis y propagación de la incertidumbre, permite examinar diferentes modos de comportamiento futuro del sistema e investigar las causas directas e indirectas, determinantes de efectos asociados a atributos de la realidad en relación con la cual, se instrumenta la gestión de conocimiento. Como los temores o bien los deseos en relación con el comportamiento futuro de los sistemas ambientales, son en general complementarios, el razonamiento retrocedente (*backward-reasoning*) permite identificar las condiciones que conducen a uno de ambos resultados. En contraposición, el razonamiento hacia adelante (*forward-reasoning*), sólo busca los ingresos o entradas óptimas requeridos para alcanzar el objetivo. Cuando se combinan el razonamiento retrocedente y el aporte creativo de la comunidad (accionistas), se dispone de una fuente de información independiente para confrontar los resultados del análisis científico sistemático.

El consenso o el disenso logrado merced a la convergencia de conocimientos y experiencias de origen diferente, brinda una oportunidad para mejorar la comunicación y el entendimiento entre la vertiente comunitaria y la científico-técnica, contribuyendo a que los esfuerzos de ésta, sean mejor aprovechados por la sociedad organizada y simultáneamente, la atención de los requerimientos de la comunidad, orienta la investigación a la solución de problemas concretos y relevantes. Este proceso de gestión del conocimiento, interactivo y recursivo, proporciona a la comunidad, una evaluación formal de sus expectativas y temores en relación con el futuro. Las entradas o ingresos futuros y las relaciones funcionales a las que se ajusta el comportamiento de un sistema ambiental, constituyen una fuente crítica de incertidumbre. Una deficiente consideración del impacto del cambio climático global sobre los ingresos externos y los vínculos funcionales que describen procesos específicos en sistemas naturales como lagos y reservorios, puede invalidar el análisis referido al futuro de éstos. Consecuentemente, el modelo debe proporcionar resultados tan concordantes como resulte posible con el comportamiento observado del sistema real y adicionalmente, fiables en la simulación de escenarios futuros como modos posibles de comportamiento.

3.3.3. - Proceso de Calibración-Verificación de Modelos: la máxima verosimilitud y congruencia se relacionan con la calidad intrínseca de la realización formal y con la representatividad de los datos históricos obtenidos del sistema real, mediante diferentes técnicas de muestreo aleatorio, inherentes al análisis de la incertidumbre; por ejemplo las mencionadas precedentemente del análisis de sensibilidad regionalizado (*Regionalized Sensitivity Analysis* o *RSA*); de la estimación de densidad estructurada como grafo árbol (*Tree-Structured Density Estimation* o *TSDE*); de la cobertura uniforme mediante rechazo probabilístico (*Uniform Covering by Probabilistic Rejection* o *UCPR*); etc. La bondad de los métodos de calibración-verificación, hace a la capacidad predictiva del modelo y por ende a su aptitud para ser validado. Un modelo del espacio de estados de un sistema dinámico, incluye ecuaciones de estado de la forma:

$$\frac{d}{dt} \mathbf{x}(t) = \dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{f}\{\mathbf{x}, \mathbf{u}, \boldsymbol{\alpha}, t\} + \boldsymbol{\xi}(t) \text{ y ecuaciones de salida o respuesta, dadas por:}$$

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{h}\{\mathbf{x}, \boldsymbol{\alpha}, t\} + \boldsymbol{\eta}(t) \text{ ,}$$

donde \mathbf{f} , \mathbf{h} son vectores de representaciones funcionales de procesos internos; \mathbf{x} , \mathbf{u} , $\boldsymbol{\alpha}$ son vectores de variables de estado; ingresos y parámetros o coeficientes del sistema, respectivamente. El vector \mathbf{y} , representa las salidas del sistema, observadas o medidas, siendo $\boldsymbol{\xi}$, $\boldsymbol{\eta}$ funciones de ruido del sistema y de la medición, representando t al tiempo continuo.

En el modelo del ecosistema de un reservorio, \mathbf{f} expresa la cinética físico-bioquímica de los procesos involucrados, tales como absorción de nutrientes; fotosíntesis y respiración. Los vectores \mathbf{f} , \mathbf{h} son componentes determinísticas del modelo del espacio de estados, mientras que $\boldsymbol{\xi}$, $\boldsymbol{\eta}$ son las componentes estocásticas, representativas de la falta de conocimientos en relación con los procesos involucrados y de los errores de observación y medición. Cuando es necesario contemplar la variabilidad espacial, cada atributo asociado a una variable de estado, se deriva parcialmente con respecto al tiempo y a las coordenadas espaciales, generándose de este modo un sistema de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales. Otra alternativa consiste en emplear diferentes variables de estado para el mismo atributo, definidas en distintas localizaciones.

3.3.4. - Modelización Formal: se identifican esquemáticamente cuatro áreas temáticas de interés ecológico; a saber: (1) de la ecofisiología {alimentación; tasas de digestión; crecimiento alométrico o con variación en las entidades medibles; tasas de translocación y respiración; etc.}; (2) de la ecología de poblaciones {control biológico; cosecha o aprovechamiento económico de especies; dispersión de especies invasoras o invasivas, incluyendo las causas de morbimortalidad humanas; etc.}; (3) de la ecología de comunidades {estabilidad y biodiversidad; coexistencia y riqueza de especies; etc.} y (4) ecología de ecosistemas {ciclos de nutrientes; efectos del cambio climático global; etc.} (Gillman, M. and R. Hails, 1997). En todos los casos, el tratamiento de la realidad es macroscópico y por consiguiente aproximado.

La calibración de parámetros, empleando métodos manuales; de búsqueda aleatoria y basados en gradientes, contribuye a minimizar los errores inherentes a las deficiencias del modelo. Sus parámetros deben incorporar el comportamiento dinámico que caracteriza al sistema real, en una escala más fina, siendo variantes en el tiempo; por ello, pueden ser considerados como colecciones de variables aleatorias o procesos estocásticos. La calibración puede producir óptimos múltiples como resultado de combinaciones diferentes de coeficientes que ajustan el modelo a los datos, satisfaciendo los requerimientos de convergencia. Los óptimos múltiples resultan de la correlación de parámetros impuesta por la estructura del modelo, lo que plantea un conflicto en oportunidad de decidir cuales emplear en las aplicaciones de predicción. El hecho de que los parámetros sean constantes pero deficientemente conocidos o bien que sean de naturaleza probabilística y variantes en el tiempo, hace a la incertidumbre de los pronósticos ambientales (Osidele, O. O., 2001).

En la secuencia {calibrar → verificar → validar o predecir}, se asume que la estructura del modelo es invariante en el tiempo; ésto no es necesariamente cierto, pues no se representa la realidad de manera completa y determinados atributos, desestimados por considerárselos no relevantes, pueden asumir un papel dominante, tal como se expresó precedentemente. Siendo el propósito primario de la modelización, apoyar la toma de decisiones que contribuyen a transferir el sistema de una situación a otra, interesa acotar los estados posibles, particularmente cuando éstos pueden estar asociados con escenarios no previstos. Si el sistema real es evolutivo, la estructura del modelo, debería responder adaptativamente para poder predecir comportamientos futuros. Las respuestas funcionales se emplean con fines de auditoría ambiental, a modo de indicadores de cambios estructurales (Beck, M. B., 2002) o bien para detectar éstos. Se recurre a la sobre-especificación con las características de redundancia ya señaladas, basadas en la experiencia adquirida en situaciones similares, incorporando variables de estado e interacciones potencialmente críticas. Cuando para contemplar los cambios estructurales se aplican diseños cibernéticos, se incluyen los conceptos de auto-adaptación y auto-organización en la optimización de funciones objetivo predefinidas (Van Straten, G., 1998). Los modelos estructuralmente dinámicos, buscan maximizar la exergía como energía biogeoquímica libre del sistema, comparada con la de su entorno.

La incertidumbre en relación con la predicción y los consiguientes riesgos, se vincula con las modificaciones en las fuentes externas, donde además de los cambios en los estados iniciales y en los ingresos externos del sistema, ocurren errores de estimación y/o medición. Otra fuente de riesgos potenciales, se relaciona con las políticas y las decisiones de manejo basadas en las predicciones del modelo; por ello, el análisis de incertidumbres es un componente crítico de la evaluación de riesgos ambientales.

3.3.5. - Empleo de Métodos Cualitativos o Participativos: basados en sondeos de opinión y juicios de valor o bien métodos cuantitativos, como modelos matemáticos o estadísticos. Si se atiende al propósito de aplicación, pueden ser normativos o de establecimiento de rangos a alcanzar, o si son exploratorios, el énfasis se pone en los futuros posibles. El análisis de incertidumbres, brinda información sobre la posible ocurrencia de eventos futuros, en forma de probabilidad. Se emplean estrategias basadas en el estudio de los comportamientos resultantes de la interacción entre personas; analíticas o determinísticas, las que en general son sistemas de ecuaciones diferenciales, sustentados en técnicas de muestreo. Los métodos que evalúan el comportamiento, emplean los criterios de expertos y de personas no especializadas en relación con la incertidumbre; son por ello, intuitivos o subjetivos. Se los usa ante la carencia de datos empíricos o de bases teóricas y consisten en solicitar a expertos en el área del problema, su mejor juicio profesional. El método Delphi, de naturaleza iterativa, permite ajustar por aproximaciones sucesivas las opiniones de expertos, en la búsqueda de consenso; sirve en la predicción y para la toma de decisiones. Cada miembro de un panel selecto de especialistas, emite su opinión en forma independiente y anónima. Los aportes se sintetizan y retornan al panel, permitiendo la realimentación, ajustando las nuevas respuestas. El anonimato pone el funcionamiento del método, a cubierto de la hegemonía personal o grupal, mejorándose progresivamente la calidad y precisión de los aportes. Los juicios, aún siendo discordantes, pueden ser sometidos a posterior articulación, empleando sistemas computacionales expertos.

La técnica del grupo nominal, permite la participación cara-a-cara de los miembros del panel; puede incluirse la participación del público. Es el caso de los grupos focales; de los grupos de profundización del análisis; de los jurados ciudadanos; de las conferencias de consenso; de los foros; etc. Estos métodos están sujetos a sesgos o errores imputables a la heurística cognitiva asociada a la formación de opiniones. Los métodos analíticos empleados en la evaluación de la incertidumbre, se basan en desarrollos en series de Taylor de las funciones de respuesta; como prerequisite, los modelos expresados mediante ecuaciones diferenciales, deben poder resolverse analíticamente. En razón de emplear la esperanza matemática; la varianza y momentos de orden superior de distribuciones de probabilidad, se los conoce como métodos de momentos. Descomponen explícitamente la varianza de la función matricial de respuesta, en la suma de las contribuciones como variabilidad de cada entrada. La cuantificación de la incertidumbre empleando métodos de muestreo, también se mide y expresa en términos de probabilidades, pues se obtienen variables aleatorias de las entradas y salidas, cuyas verdaderas poblaciones son desconocidas. En la simulación de Monte Carlo, se emplean arreglos combinatorios de los factores de entrada, tales como ingresos y relaciones funcionales; condiciones iniciales; parámetros del proceso; etc., generados estocásticamente a partir de sus distribuciones de probabilidad, supuestas o conocidas. El modelo se corre para producir diferentes salidas, las que son tratadas estadísticamente.

El análisis de sensibilidad regionalizado (*Regionalized Sensitivity Analysis* o *RSA*), discrimina las incertidumbres clave de las redundantes en la parametrización del modelo, de modo de identificar los procesos componentes críticos, en relación con una definición cualitativa del comportamiento del sistema. Se aplica una clasificación binaria a las salidas de la simulación de Monte Carlo, en dos conjuntos complementarios entre sí de salidas; los que concuerdan con la definición de comportamiento $\{ B \}$, y los que no la satisfacen $\{ \bar{B} \}$ y se realiza un test de bondad de ajuste a las dos distribuciones marginales $\{ \alpha_i | B, \alpha_i | \bar{B} \}$ para cada parámetro del modelo (Spear, R. C. and G. M. Hornberger, 1980).

La estimación de densidad estructurada como grafo árbol (*Tree-Structured Density Estimation* o *TSDE*), divide el dominio paramétrico en subdominios de alta y baja densidad, empleando estimaciones de la función de densidad de probabilidad conjunta de los parámetros que satisfacen el comportamiento $\{\alpha | B\}$, derivados del análisis de sensibilidad regionalizado o *RSA*. El *TSDE* realiza un análisis multivariado para revelar las posibles estructuras de correlación entre los parámetros del modelo y los ordena de acuerdo a la sensibilidad relativa (Spear, R. C.; T. M. Grieb and N. Shang, 1994). La cobertura uniforme mediante rechazo probabilístico (*Uniform Covering by Probabilistic Rejection* o *UCPR*), es un algoritmo de búsqueda que restringe las iteraciones a regiones del dominio de los parámetros, suficientemente próximas a los conjuntos de vectores de parámetros almacenados. Se logran una búsqueda y una convergencia, estadísticamente controladas (Klepper, O. and E. M. T. Hendrix, 1994).

3.3.6. - Credibilidad Práctica: es la capacidad para inspirar confianza y en relación con modelos ambientales, constituye la cualidad de responder con razonable éxito en todas las etapas de construcción y operación del modelo y particularmente durante la validación; instancia que justifica su empleo en investigación y toma de decisiones. La revisión por parte de pares, regla habitual a la que se somete la publicación de artículos científicos y la historia de concordancias o concordancia histórica, constituyen procedimientos inherentes a la gestión del conocimiento, relacionados con el control de calidad y con la evaluación de la validez conceptual y de elaboración de modelos. Dada la no-unicidad de los resultados de la calibración o estimación de parámetros, capaces de satisfacer el comportamiento observado del sistema, con virtualmente cualquier conjunto de relaciones funcionales, no se tiene evidencia conclusiva de la corrección de su formulación matemática. Se atiende sin embargo, a que las inferencias aun cualitativas sobre el futuro, resulten de utilidad en la definición de políticas. La participación de la comunidad o colectivo de accionistas aporta desde otra vertiente, conocimientos y experiencias. El saber científico, debe ser socialmente robusto, transparente y participativo (Gibbons, M., 1999). Este conocimiento socialmente robusto, se logra merced a la interacción entre científicos y accionistas; como la comunidad está involucrada desde un comienzo, es más probable que sea creíble y aceptado.

La participación de los accionistas, es un requisito democrático, pues cumplimenta el deber cívico de incorporar a la ciudadanía al tratamiento de las decisiones que la afectan; implica reconocer que los individuos o los grupos de personas, poseen conocimientos y experiencia que son substantivamente beneficiosos en la elaboración de políticas ambientales. Se asegura así, pragmáticamente, el respaldo público a los programas ambientales. La buena práctica de la participación ciudadana, requiere: (1) transparencia o facilidad del modelo para ser comprendido y operado; (2) continuidad de la participación pública; (3) imparcialidad en la representación comunitaria; (4) influencia de la comunidad en las decisiones de modelización y (5) intervención ciudadana en las decisiones políticas (Korfmacher, K. S., 2001).

3.4. - Aspectos Operativos: se considera que el empleo de la lógica borrosa (ver apéndice sobre **LÓGICA DIFUSA O BORROSA**) y de los sistemas expertos para capturar y describir las incertidumbres en la información y en el conocimiento reunido en relación con los ecosistemas, constituyen estrategias metodológicas más adecuadas para la gestión de recursos naturales, que las basadas en la aplicación de la probabilidad bayesiana. Los sistemas expertos, pueden ser empleados para aprovechar el conocimiento y la percepción de los individuos y de las comunidades involucradas, en la predicción de los cambios inherentemente no-modelizables o inciertos del sistema.

Un ecosistema es un componente espacio-temporal de la biosfera, determinado por las funciones ambientales de forzado y las interacciones pasadas y presentes de la biota. Dentro de los límites de un ecosistema, se tienen características y patrones dinámicos; estructurales y evolutivos homogéneos. Las redes de poblaciones que interactúan, crecen estando sujetas a la selección natural; a la depredación; a la competencia; etc. y a la influencia externa de los elementos abióticos (McGlade, J. M., 1999). Un enfoque alternativo es el de las relaciones funcionales trofo-dinámicas, donde se enfatizan los flujos de masa y energía y los totales entrantes y salientes de la entidad ambiental considerada, en vez del papel de determinadas especies o poblaciones, para explicar la estructura del ecosistema. Los modelos de simulación para el manejo de recursos, conjugan ambas orientaciones, las basadas en comunidades y las funcionales.

Si se considera que los ecosistemas nunca alcanzan el equilibrio, pues se encuentran en estado de flujo, el paisaje es un mosaico de unidades o parches de comunidades que ciclan continuamente a través de un conjunto de estados, donde los parches adyacentes, lo hacen sincrónicamente. La adopción de la lógica borrosa en la caracterización de sistemas, implica el empleo de variables lingüísticas para calificar entidades; eventos o sucesos; procesos, etc. La teoría de los conjuntos borrosos, sigue los principios de la teoría de conjuntos, con una excepción fundamental; en la teoría de los conjuntos convencionales, los elementos se dividen en dos categorías, la de los que pertenecen a un conjunto, y la de los que no pertenecen. En la lógica borrosa, las variables lingüísticas son dependientes del contexto; tomando valores que son palabras o frases. El rango de valores posibles, se conoce como universo del discurso y se asigna a los elementos, un grado de pertenencia entre 0 y 1. En algunos casos la función de pertenencia adjudica valores únicos. Inicialmente, se convierte o transforma toda variable de entrada en una variable borrosa (borrosificación), empleando una función de pertenencia y se optimiza la forma de esta función, mediante observaciones sucesivas, considerando distintos niveles de incertidumbre o de heterogeneidad. Esto permite describir los componentes o constituyentes de un ecosistema, aun con información deficiente.

3. 4. 1. - Sistemas Dinámicos No-Lineales y Complejidad: los desarrollos teóricos en Ecología, muestran que la forma de adquisición de datos y su interpretación, son altamente dependientes de las suposiciones formuladas en el modelo, pues éste interviene a priori en la orientación que se imprime a las investigaciones empíricas. El conocimiento del mundo natural, se asocia a los siguientes conceptos: flujos de materia y energía; dinámica de las cadenas alimentarias; nicho ecológico; diversidad y estabilidad; interacciones presa-depredador y hospedero-patógeno; regulación poblacional; competencia; estrategias de supervivencia y optimización (Cherrett, J. M. and A. D. Bradshaw, 1989). Siendo los sistemas ecológicos, complejos, los comportamientos o propiedades emergentes pueden ser objeto de monitoreo. Los grandes sistemas dinámicos tienen tendencia a evolucionar o auto-organizarse en un estado crítico de no-equilibrio, caracterizado por estallidos o avalanchas de todas dimensiones, contribuyendo así, a la intermitencia de la evolución biológica (Bak, P., 1996).

Otra propiedad emergente es la emergencia; conjetura termodinámica derivada del Tercer Principio o Principio de la Máxima Potencia, característica genérica de la evolución en los ecosistemas y de la estructura fractal de las comunidades (Spinadel, V. de; J. G. Perera y J. H. Perera, 1993). Los procesos clave; los elementos de los sistemas locales y globales; los vínculos entre ellos y la naturaleza de las incertidumbres, deben ser reunidos y sistematizados en bases de conocimiento, representándose éste, mediante reglas lógicas, como en el caso de los sistemas expertos, para evaluar los impactos de las intervenciones humanas sobre los recursos naturales.

3. 4. 2. - Sistemas Expertos: simulan procesos inherentes a la inteligencia natural, tales como los de aprendizaje; de operación con conocimientos; los vinculados con estrategias adaptativas y evolutivas; etc. La lógica borrosa permite aplicar los sistemas expertos en contextos de imprecisión e incertidumbre, donde se decide como emplear el conocimiento mediante motores de inferencia que realizan las operaciones de homologación entre hechos y reglas; la resolución de conflictos; etc., estableciéndose la relación hombre-máquina a través de interfases de usuario. Se derivan nuevos conocimientos empleando alternativas metodológicas, tales como:

- Deducción: razonamiento lógico mediante el cual, las conclusiones se derivan de las premisas;
- Inducción: inferencia que partiendo de casos particulares, conduce a una generalización. Se emplea para inferir nuevas reglas y re-descubrir otras ya conocidas;
- Intuición: teoría no probada. La respuesta surge como resultado del reconocimiento subconsciente de patrones subyacentes. Las redes neuronales proporcionan estimaciones o conjeturas sobre patrones ocultos;
- Heurísticas: reglas basadas en la experiencia;
- Generación y prueba o prueba y error: por aproximaciones sucesivas, se gana en eficiencia;
- Abducción: razonamiento retrocedente a partir de una conclusión cierta, hacia las premisas que pueden haber causado la conclusión;
- Falta u omisión: en ausencia de conocimiento específico, se asume por defecto el conocimiento general o común;
- Auto-epistémico o auto-conocimiento: que es siempre contexto-sensitivo;
- No-monotónico: hace que el conocimiento previo, pueda ser incorrecto cuando se dispone de nueva evidencia;
- Analogía: inferencia de una conclusión, sobre la base de similitudes o similitudes con otra situación;
- Sentido común: es el conocimiento resultante de la combinación de alternativas precedentes; se simula empleando lógica basada en reglas borrosas, para respaldar decisiones tomadas a partir de datos imprecisos.

El meta-conocimiento en relación con reglas conocidas, puede ser del tipo meta-reglas; indica como aplicar las reglas o bien prescriptivo al fijar reglas tipo o reglas modelo, para establecer si una nueva regla tiene la forma apropiada para ser incorporada a la base de conocimiento. Los distintos tipos de error, contribuyen a la incertidumbre; pueden enunciarse: la ambigüedad; la incompletitud; la incorrección; el falso positivo que consiste en la aceptación de una hipótesis que debe ser rechazada por no ser cierta; el falso negativo o rechazo de una hipótesis cuando es cierta; la imprecisión que permite estimar en que medida se conoce la verdad; la falta de apreciación o de confiabilidad (si el equipo de medición no es confiable, los datos son erráticos); los aleatorios; los sistemáticos debidos a alguna forma de sesgo; los de inducción inválida y los de deducción inválida. Los errores de inducción inválida y los de deducción inválida, son errores de razonamiento, lo que constituye un aspecto crítico en la adquisición del conocimiento cuando éste se representa empleando reglas lógicas o mediante redes semánticas basadas en el cálculo de predicados de primer orden.

La efectividad de las políticas e intervenciones en la gestión de recursos, se evalúa mediante monitoreo de las especies objetivo; de las variables ambientales y de los índices. Las series temporales se emplean como calificantes de la situación del sistema, en conjunción con matrices de interacción entre los componentes, sobre intervalos témporo-espaciales.

3. 5. - Notas sobre Ecología Humana: corresponde considerar que si lo que se predice es la base de las políticas, entonces, debe tener consecuencias ecológicas. En este planteo, los datos constituyen el problema central de la predicción económica; muy especialmente la valoración que los individuos hacen de bienes y servicios ambientales, cambiante en el tiempo y con las circunstancias. Se considera que la energía por la inmutabilidad de su naturaleza, debe proveer la unidad de ponderación común, en lugar del dinero. Ésto implica una teoría energética del valor, donde el análisis energético debe informar sobre la energía primaria capturada para producir un bien o un servicio de mercado (Grubb, P. J. and J. B. Whittaker (Editors), 1989).

Todas las actividades emplean energía; consiguientemente, el equivalente energético del modelo económico, debe expresar los flujos y transformaciones de materias primas en bienes y servicios consumibles y el capital, en términos de la energía incorporada. El dinero no se agota en el proceso en que interviene, pues no constituye una realidad, sino una convención. No tiene propiedades físicas extensivas o intensivas que puedan ser empleadas para medirlo. Los recursos naturales como primera aproximación, son ilimitadamente disponibles, con la posible excepción del helio y del mercurio. Empleando energía; conocimiento y capital, resultan accesibles; sin embargo, la energía necesaria para explotarlos, puede alcanzar niveles incompatibles con los beneficios derivados de ellos. Los procesos económicos son altamente dependientes de la energía, la que en general se consume irreversiblemente de las fuentes de más alto valor energético específico. El tiempo y el trabajo son equivalentes, como lo son la energía y los recursos; tiempo y energía son los dos únicos insumos productivos que se disipan irreversiblemente. La actividad económica, es un sumidero de ambos; por ello, la contabilidad de recursos, evalúa si la inversión satisface las necesidades de insumos o suministros y si la producción de bienes y servicios responde a las expectativas de la inversión.

3. 5. 1. - Capacidad de Máxima Realización (*carrying-capacity*): es un umbral; en términos económicos se interpreta como el número de personas que compartiendo un determinado territorio, puede ser mantenido en un dado momento sobre una base de sostenibilidad, tomando en cuenta sus recursos conocidos. Si el desarrollo debe ajustarse a la mejor tasa posible, manteniéndose sustentable o tendiendo a la sustentabilidad, entonces todos los sectores económicos deben crecer en armonía. Las inversiones en el suministro de agua y energía, por ejemplo, deben equilibrarse con las necesidades industriales; agrícolas; internas y de servicios del sistema social. El crecimiento económico depende del incremento de los activos de capital, equivalentes a la energía incorporada para permitir al trabajo generar egresos como bienes y servicios cualitativamente mejorados. Como ésto implica disipación de energía, si el proceso pretende ser sustentable, la tasa de flujo de energía, deberá ser mantenida por debajo del nivel en que pueda ser compensada por el progreso técnico. Consiguientemente, parte del flujo energético debe ser reciclado para sostener el sistema de transformación de recursos del suelo, en combustible económicamente útil. Conforme los recursos energéticos se hacen menos accesibles, crece la energía que debe ser disipada en el proceso de obtención de combustible, lo que equivale a afirmar que los requerimientos de energía para obtener una energía que se agota, aumentan.

3. 5. 2. - Sostenibilidad Económica: puede definirse como el estado en que la tasa de crecimiento del flujo energético hacia la economía, es suficiente para liberar y controlar los recursos necesarios para mantener indefinidamente o mejorar, la calidad de vida de las personas cuya existencia transcurre en el sistema económico considerado. Significa mantener de modo autosuficiente la provisión de alimentos y energía en el largo plazo, controlando el crecimiento poblacional.

El desarrollo sustentable es un requerimiento de la generación presente, la que debe administrar los recursos básicos de modo que la calidad promedio de vida actual, pueda ser potencialmente compartida por las generaciones futuras (Asheim, G. B., 1991). Para asegurar un consumo sostenido de bienes y servicios a través del tiempo, particularmente cuando los procesos económicos emplean recursos no renovables, deben mantenerse los activos de capital (Hartwick, J. M., 1977); en principio y tentativamente, éstos pueden conservarse constantes, reinvertiendo todas las rentas provenientes de la extracción inter-temporal eficiente, de recursos no renovables, en capital generado por el hombre.

Para lograr un desarrollo sustentable, deben (1) ajustarse los niveles de cosecha-recolección de los recursos renovables a valores menores que, o iguales a la tasa de crecimiento vegetativo correspondiente a un tamaño poblacional determinado; (2) establecerse capacidades asimilativas de los ecosistemas receptores para los contaminantes degradables, manteniendo las descargas de éstos, por debajo de los referidos niveles; (3) evitarse las emisiones de los contaminantes con tendencia a ser bio-acumulados en los sistemas naturales; (4) dividirse los ingresos provenientes de la extracción de recursos naturales no-renovables en dos vertientes; beneficios disponibles e inversiones, las que deben ser aplicadas a la producción de sustitutos renovables, de tal modo que cuando los recursos no-renovables se extingan, pueda disponerse de bienes de reemplazo que aseguren niveles equivalentes de consumo y (5) minimizarse los flujos macroeconómicos de materia y energía, atendiendo las demandas sociales y las características de uso de los recursos (Daly, H., 1990). Pueden combinarse los conceptos ecológicos de estabilidad y los económicos de eficiencia. La estabilidad ecológica es uno de los requisitos de la sostenibilidad económica y ambiental; para ello, se requiere que el sistema sea resiliente o robusto, de modo de absorber impactos externos, sin alterar su auto-organización (Hanley, N.; J. F. Shogren and B. White, 1997). La resiliencia es en general, una función creciente de la biodiversidad; implica que la tasa de cambio de los parámetros del ecosistema z_t (tasas de producción primaria neta; de crecimiento poblacional; etc.), con respecto a la actividad económica, sea no-positiva. Siendo $z_t = Probabilidad(Z_t)$, donde Z_t es una variable aleatoria continua con una determinada función de densidad de probabilidad. Se establecen entre los ecosistemas y la economía, lazos de retroalimentación, sujetos a restricciones endógenas, dinámicamente interdependientes, indicadoras de la co-evolución del sistema (Common, M. and C. Perrings, 1992). Si X_t , con $X = 1, 2, \dots, n$ son los recursos disponibles (capital natural; capital generado por el hombre y bienes de consumo) y U_t conforma un subconjunto de los recursos económicamente explotables con derechos de propiedad privada, puede para un dado tiempo, interpretarse que: $z_t = h(\hat{X}_t, \bar{X}_t)$, siendo \hat{X}_t una cuantificación de las perturbaciones sobre el ecosistema, consecuencia del nivel de recursos económicos U_t y \bar{X}_t una medida de los valores no-disturbados de X_t .

La variación de los recursos depende de estos valores no-disturbados y del uso económico U_t que se les dé; entonces: $\frac{d}{dt} X_t \equiv \dot{x} = f(\bar{X}_t, U_t, z_t, t)$. El uso se vincula con los precios relativos P_t , de modo que $U_t = U[P_t, t]$. La función objetivo del modelo, está dada por:

$$J = W(T)[X_T, z_T, T] e^{-rT} + \int_0^T Y_t[\bar{X}_t, U_t, z_t, t] e^{-rt} dt .$$

Sobre el período de tiempo $[0, T]$, se acumulan los beneficios económicos Y_t , los que dependen del consumo contemplado en U_t ; del estado natural del ecosistema y de sus parámetros z_t , descontados con una tasa r , que se asume igual a la eficiencia marginal del capital. El primer sumando expresa el bienestar o calidad de vida de la comunidad al final del período, $W(T)$, el que depende del nivel de recursos remanentes X_t y de los parámetros del sistema, descontados con una tasa r . Las restricciones inherentes a este problema de optimización, se refieren al nivel inicial de existencias de recursos y a los precios relativos:

$X(t)|_{t=0} \equiv X(0) \equiv X_0$, $P(t)|_{t=0} \equiv P(0) \equiv P_0$; también a la sostenibilidad ecológica que requiere que el proceso económico, no desestabilice el ecosistema; debe cumplirse que: $\frac{d}{dt} z(t) = \dot{z}_t \leq 0$. Dado que W , Y

son también funciones de z_t , serán estables si: $\frac{d}{dt} W(t) = \frac{d}{dt} Y(t) = 0$, si $\dot{z}_t = 0$,

lo que implica una estructura constante de preferencias, requisito de la sostenibilidad. Hacen su contribución, la constancia en el consumo o $\dot{U}_t = 0$ y en los activos de capital, a lo largo del tiempo o lo que es equivalente, una tasa cero de crecimiento económico; circunstancia que importa un cambio de paradigmas en la conducta social, particularmente la de los países desarrollados, principales consumidores de recursos naturales.

Se impone asimismo al modelo, una restricción de eficiencia inter-temporal, consistente en que la renta de los recursos sea igual a la inversión neta, ambas evaluadas en sus valores socialmente óptimos. Las corridas de simulación, permiten inferir que:

- A lo largo de una trayectoria óptima y sostenible, el beneficio marginal para una reducción en el valor de la base de recursos X_t , deberá crecer con una tasa igual a la tasa de descuento.
- La sostenibilidad ecológica, reduce las expectativas de crecimiento económico, debiéndose deducir de los beneficios, los efectos indeseados sobre la resiliencia del ecosistema.
- Una trayectoria inter-temporal eficiente de precios, no es condición necesaria y suficiente para la sostenibilidad ambiental; puede ser sin embargo, compatible con ésta.
- La resiliencia del sistema, puede describirse haciendo: $\frac{d}{dt} z(t) = \dot{z}(t) = h'_u \dot{U}(t) \leq 0$,

donde h'_u es la derivada de la función $z_t = h(\hat{X}_t, \bar{X}_t)$, con respecto a $U(t)$, siendo $\dot{U}(t)$, la tasa de cambio de los recursos económicos.

Puede entonces escribirse que:

$$\frac{d}{dt} z(t) = \dot{z}(t) = \frac{d}{dU} h(\hat{X}_t, \bar{X}_t) \frac{d}{dt} U(P_t, t) \rightarrow \dot{z}_t = 0, \text{ lo que es consistente con}$$

$\dot{P}_t = 0$, condición improbable, pues equivale a afirmar que los cambios en la base económica de los recursos, no tienen efectos sobre los precios reales.

Se requiere entonces, una economía estacionaria o en estado estacionario, con flujos constantes de materia y energía; es decir, $\dot{U}_t = 0$ o bien que no se tengan efectos sobre los parámetros del sistema, resultantes de cambios en U , siendo $h'_u = 0$.

- Las interacciones entre economía y ambiente, deben ser controladas de modo que no interfieran negativamente con la resiliencia del sistema natural.
- La preservación de la biodiversidad es esencial para la sostenibilidad ecológica.
- La sostenibilidad requiere que los recursos sean asignados de modo de no amenazar la estabilidad del ecosistema como un todo o de sus componentes clave, privilegiando estos requerimientos sobre los intereses individuales.

Debe observarse que la producción agropecuaria moderna, plantea una estricta dependencia respecto de los combustibles fósiles (petróleo; gas natural; etc.), no pudiéndose por ello, extenderla globalmente si se pretende que sea una solución permanente. Cobran entonces, singular importancia las estrategias productivas tipificadas como trabajo-intensivas o labor-intensivas, con sustitución de insumos materiales y energéticos. Las tecnologías basadas en el uso de recursos energéticos no-renovables, con capacidad potencial para producir excedentes difícilmente colocables, en una economía de mercado basada en el principio de que las demandas sólo cuentan cuando se respaldan monetariamente, no son auto-sustentables. Sin embargo, atendiendo a la máxima capacidad soporte o de realización productiva global, la desnutrición y el hambre, son problemas sociales, no ecológicos (Martínez-Alier, J. with K. Schlüpmann, 1994).

3. 5. 3. - Ciclo Recursivo Inherente al Método Científico: a modo de síntesis, puede ilustrarse la vinculación recursiva de un conjunto de etapas o fases, propias del método científico, en relación con la generación de modelos ambientales (Infante Macías, R., 1978):

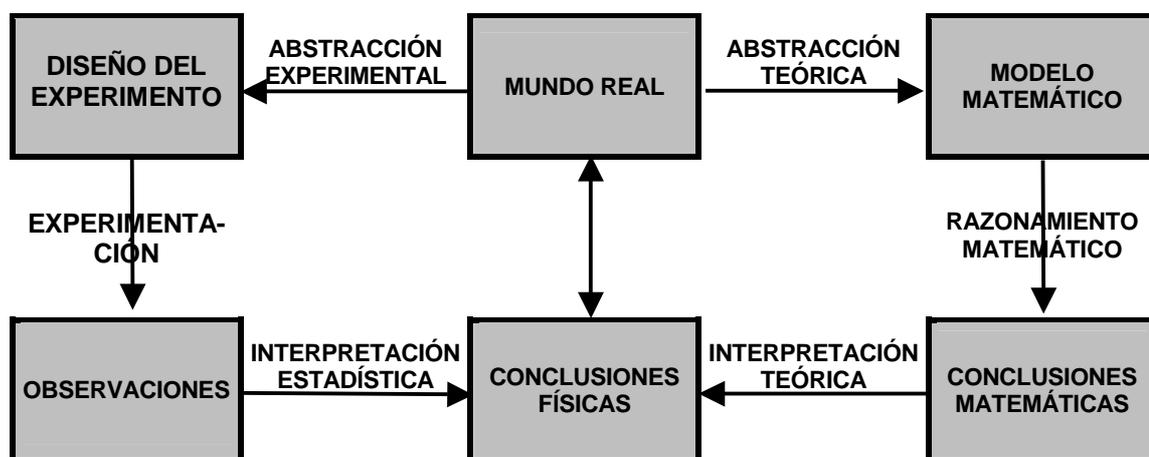


Fig. AMC - 01 - CICLO RECURSIVO, COMPUESTO POR UN CONJUNTO DE ETAPAS O FASES, PROPIAS DEL MÉTODO CIENTÍFICO, EN RELACIÓN CON LA GENERACIÓN DE MODELOS AMBIENTALES

4. - MATERIALES Y MÉTODOS

4. 1. - Complejidad Cognitiva y Ordenamiento Jerárquico; Inteligencia Computacional y Artificial y Decisiones de Elección: la dualidad entre problemáticas y cuestionamientos por una parte y metodologías por la otra, se aborda desde dos perspectivas, la de la complejidad y la del ordenamiento jerárquico, visualizándose éste, como resultante de interacciones de complejidad creciente. Este tema se desarrolla en el apéndice sobre **COMPLEJIDAD Y RESTAURACIÓN AMBIENTAL; PROPUESTA CONCEPTUAL Y METODOLÓGICA PARA EL ESTUDIO FORMAL DE ECOSISTEMAS DOMINADOS POR EL HOMBRE**. Razonamos a partir de modelos afirma Paul Valéry y los modelos que son construcciones del conocimiento, se convierten en objetivos o metas de la investigación, respondiendo al propósito utilitario de servir de soporte a la toma de decisiones. Ésta responde a la demanda social que genera la actividad económica, donde los agentes emplean bases de hechos; de información; de conocimiento y de experiencias.

Todas las etapas del desarrollo sistemático de herramientas orientadas a facilitar la toma de decisiones, son codificadas merced al análisis funcional y al análisis del valor, inherente a la problemática agente-herramienta-objeto. Ésto fundamenta la concepción sistémica y sistemática de herramientas, a partir de paradigmas de las ciencias exactas y aplicadas y de las disciplinas cognitivas; humanas y sociales. El proceso toma en consideración al agente que decide; a otros agentes que contribuyen en la decisión; al ambiente de trabajo en que se toma la decisión; al objeto sobre el que recae la decisión; a la herramienta de ayuda en la toma de decisiones; a la conceptualización y al contexto de la herramienta (Luce, R. D. and H. Raiffa. 1985).

Se tienen tres aspectos relevantes en la concepción de una herramienta, atendiendo a los preceptos del análisis del valor racional: la problemática de la decisión; la calidad del sistema y la elección de tecnologías por parte del modelizador y el contexto, condicionante del modelo. El proceso de la decisión, según el enfoque sistémico propuesto por Jean-Louis Le Moigne en 1998, fundamentado en los trabajos del Premio Nóbel de Economía de 1978, Herbert A. Simon, puede formalizarse de modo canónico, atendiendo a aspectos perceptivos; informacionales y cognitivos. Al definir su proyecto en relación con la realidad, el agente pondera una discrepancia que debe minimizarse merced a una estrategia resolutoria. La decisión como proceso recursivo, comprende tres etapas: (1) identificación; comprensión y definición del problema; (2) elaboración de planes de acción para la resolución del problema y (3) evaluación y selección de los caminos de acción o decisión operacional.

En general los problemas llamados cerrados o estructurados, son resueltos algorítmicamente; los problemas abiertos; vitales y complejos, requieren de procedimientos heurísticos, basados en la experiencia y no enteramente formalizables por el cálculo, pero inteligibles y representables mediante bases de reglas o de conocimiento; ésto es, tratables mediante técnicas cognitivas. Las herramientas de ayuda a la decisión, emplean por ello, recursos de la inteligencia computacional, tal el caso de las basadas en modelos de funcionamiento; en métodos de optimización; en algoritmos genéticos; en lógica borrosa; en redes neuronales; etc. Otro grupo de herramientas recurre a la representación del conocimiento mediante estrategias de la inteligencia artificial, como sistemas expertos, basados en reglas; modelización conceptual; resolución de problemas aplicando restricciones; etc.

4. 1. 1. - Algoritmos Genéticos: están orientados a la optimización; a la búsqueda de soluciones y al aprendizaje automático, imitan los mecanismos de selección natural para explorar en grandes espacios de solución. Se basan en los conceptos biológicos de la evolución mediante selección; reproducción; entrecruzamiento o *crossover* y mutación. El itinerario técnico, en términos de secuencias y niveles que debe instrumentarse en relación con la gestión ambiental a fin de responder a los objetivos de manejo, respetando las restricciones intrínsecas y extrínsecas del sistema, puede ser considerado como un problema de adaptación.

En el apéndice sobre **ALGORITMOS GENÉTICOS**, se exponen la teoría y las bases matemáticas en que éstos se fundamentan, presentándose los aspectos esenciales de las técnicas de representación; de la selección; de la reproducción, incluyendo los entrecruzamientos; las mutaciones; las inversiones y los reemplazos. La representación de una solución posible, se interpreta como un cromosoma y la de un parámetro, como un gen. El valor de un cromosoma, está dado por el índice de adaptación o *fitness value* y la evolución o mejora de la solución, es el resultado reflejado por la sucesión de generaciones. Durante la reproducción, merced al mecanismo del entrecruzamiento, los cromosomas intercambian grupos de genes y las mutaciones modifican los valores de ciertos genes. La selección preserva los mejores miembros de una generación, para que actúen como progenitores de la siguiente. Los operadores genéticos de selección; entrecruzamiento y mutación, permiten a los algoritmos genéticos recorrer los hiperplanos del espacio de soluciones y evaluar la utilidad de cada uno de ellos, en paralelo.

4. 1. 2. - Sistemas Expertos¹: tratan problemas que requieren la intervención de expertos humanos y se aplican en dominios determinados, para los cuales no se dispone de algoritmos generales de resolución o bien, el conocimiento es fraccionario o incompleto. Utilizan una base de conocimiento expresada en lenguaje natural y brindan soluciones posibles, no necesariamente óptimas. Los basados en reglas, incluyen estructuras tales como bases de conocimiento (hechos y conocimiento); motores de inferencia e interfaces con el usuario, la que presenta las preguntas; las respuestas; los menús; etc. La base de hechos esta constituida por todos los hechos vinculados con el problema; es en general, la memoria de corto plazo del programa, conformada por datos e información, provistos por el usuario e inferencias realizadas por el motor. La base de conocimiento contiene los principios generales; las reglas y las heurísticas de resolución de problemas, aportadas por el experto en el tema. Estos conocimientos son formalizados y representados mediante reglas lógicas o *rule-based expert systems*, de la forma: si una premisa o antecedente, entonces una conclusión o consecuente. Si la condición, premisa o antecedente se verifica, resulta la conclusión o acción por disparo de la regla correspondiente. El filtrado de reglas, para operar las pertinentes, se llama homologación. Seleccionadas varias, a partir de los hechos, el sistema debe aplicar un criterio de resolución del conflicto, para disparar las más adecuadas. El motor de inferencia realiza los razonamientos y las deducciones operando mediante encadenamientos hacia delante, de modo similar a como progresa una demostración matemática, buscando y empleando las reglas en cuyos antecedentes aparecen los hechos considerados, o mediante encadenamientos hacia atrás, donde se parte de las conclusiones y se retrocede hasta los hechos, para corroborar las conclusiones, o bien empleando técnicas mixtas.

4. 1. 3. - Dinámica No-Lineal en Condiciones Apartadas del Equilibrio: se aplica en la modelización de la complejidad cognitiva, interpretada ésta, como la capacidad de conmutar entre diferentes modos de comportamiento, conforme cambian las condiciones del entorno (ver apéndice sobre **CONOCIMIENTO COTIDIANO Y CONOCIMIENTO CIENTÍFICO**). La flexibilidad y adaptabilidad resultantes, se expresan en la acción de elegir entre diferentes alternativas. La elección es mediada por la dinámica de las fluctuaciones y requiere la intervención de dos manifestaciones antagónicas: la aleatoriedad de escala reducida que proporciona los elementos innovativos necesarios para explorar el espacio de estado y las fluctuaciones de orden elevado para que el sistema mantenga un régimen generalizado, en regiones del espacio y en intervalos temporales macroscópicos.

¹ Para la construcción de sistemas expertos se dispone de lenguajes específicos: Lisp; Prolog; Smalltalk; etc. y de herramientas de desarrollo o *expert systems shells*, que incluyen la estructura general del sistema.

Los fenómenos cognitivos responden a una dinámica no-lineal que al estar sujeta a restricciones adecuadas, genera inestabilidades y bifurcaciones; por ello, debe identificarse un conjunto de variables capaces de exhibir inestabilidades y bifurcaciones, pues un sistema multivariable, puede ser reducido a una descripción simplificada en la vecindad de un punto de bifurcación (Nicolis, G. and I. Prigogine, 1998).

Los sistemas humanos se auto-organizan en oportunidad de tomar decisiones; actúan de manera adaptativa y plástica. Son capaces de realizar transiciones en condiciones apartadas del equilibrio, donde ocurren la evolución y el cambio, como resultado del interjuego entre los actores, que desarrollan proyectos, movidos por sus deseos y las restricciones impuestas por el ambiente. Intervienen entonces, las anticipaciones sobre futuros posibles y las estimaciones referidas a las expectativas de los actores. Las diferencias entre comportamientos actuales y deseados, actúan como restricciones de diferente naturaleza, las que con el entorno, conforman la dinámica del proceso cognitivo, donde la predicción del futuro, aparece menos ligada a la experiencia pasada que a la conducta impredecible de la naturaleza humana. Conducta que en el plano individual, es determinante del aprendizaje y en el colectivo, del curso de la Historia.

Si prevalecen las conductas impredecibles, interesa conocer las retribuciones asociadas a determinadas elecciones. El deseo de hacer una elección i entre k alternativas por unidad de tiempo, es proporcional a su atractivo relativo. Sin embargo, conforme se inclina la elección en una dirección, la retribución en general cambia y consiguientemente el patrón de preferencias en el grupo humano involucrado. Se produce un lazo de realimentación entre la elección α y la elección β , por ejemplo. Si A_α representa el atractivo o aceptabilidad de la opción α y X_α es el número de personas que eligen α en un dado tiempo, el número relativo de personas inclinadas hacia la elección β , será proporcional al de las que optaron por α , multiplicado por el atractivo relativo de β ; es decir, $\frac{A_\beta}{A_\alpha + A_\beta}$. Similarmente el número de individuos que desean abandonar la elección β a favor de la α , será proporcional a X_β , multiplicado por el atractivo relativo de α ; es decir: $\frac{A_\alpha}{A_\alpha + A_\beta}$. Gráficamente, se tienen dos nodos; el de X_α y

el de X_β conectados por dos arcos; el del nodo X_α al nodo X_β , con la función $X_\alpha \frac{A_\beta}{A_\alpha + A_\beta}$ y el del nodo X_β al nodo X_α , con la función $X_\beta \frac{A_\alpha}{A_\alpha + A_\beta}$ (ver Fig. MM – 01).

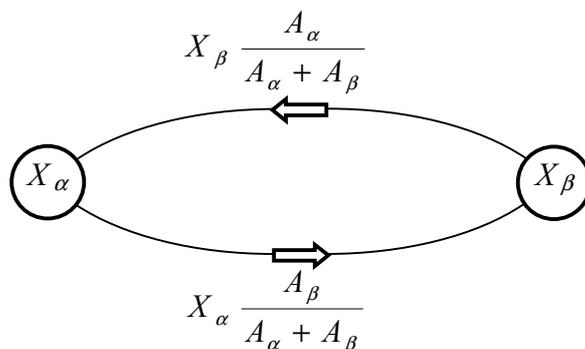


Fig. MM – 01 – LAZO DE REALIMENTACIÓN DE LAS RETRIBUCIONES COMO FUNCIÓN DE LAS ELECCIONES

Se tiene entonces, el siguiente sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias, no-lineales:

$$\frac{d}{dt} X_{\alpha} = a X_{\alpha} \left(\frac{X_{\beta} A_{\alpha}}{A_{\alpha} + A_{\beta}} - \frac{X_{\alpha} A_{\beta}}{A_{\alpha} + A_{\beta}} \right), \text{ donde } a \text{ es una tasa de reclutamiento por individuo. Siendo } N \text{ el tamaño poblacional, resulta que } X_{\beta} = N - X_{\alpha} \Rightarrow$$

$$\frac{d}{dt} X_{\alpha} = a X_{\alpha} \left(\frac{N A_{\alpha}}{A_{\alpha} + A_{\beta}} - X_{\alpha} \right),$$

$$\frac{d}{dt} X_{\beta} = a X_{\beta} \left(\frac{N A_{\beta}}{A_{\alpha} + A_{\beta}} - X_{\beta} \right).$$

El análisis precedente, puede extenderse a k elecciones y a la situación más real en la que el atractivo de una opción i , depende de la sub-población particular j que elige la opción, teniéndose entonces, el siguiente conjunto de ecuaciones diferenciales ordinarias, no-lineales:

$$\frac{d}{dt} X_i = C X_i \left(1 - \frac{X_i}{\sum_{j=1}^k \frac{N_j A_{ij}}{\sum_l A_{lj}}} \right), \text{ con } i = 1, 2, \dots, k.$$

Se asume que la población total es inhomogénea y está particionada en subpoblaciones distinguibles N_j , donde cada uno tiene su propio punto de vista sobre el atractivo relativo de las alternativas. Los N_j satisfacen un conjunto de ecuaciones similares a las que describe la dinámica poblacional. El comportamiento responde al modo en que los atractivos A_{ij} y las subpoblaciones N_j dependen de las variables poblacionales X_i , las que caracterizan el estado instantáneo del sistema. Condiciones iniciales distintas, ubican el sistema en diferentes cuencas de atracción y consiguientemente, dan lugar a trayectorias diferentes.

4. 2. - Análisis de Sistemas: procura aplicar métodos adecuados a la naturaleza del problema, a las restricciones y a la disponibilidad de datos; definiendo, reformulando y ordenando jerárquicamente los objetivos. En la elaboración de modelos ambientales, el análisis de sensibilidad, pondera factores cuali-cuantitativos. La búsqueda y diseño de soluciones viables, debe abarcar un amplio espectro de opciones, operando en un contexto de incertidumbre con variables estocásticas. Es fundamental la comprensión y expresión de la realidad, mediante formalizaciones simples, donde se declaren las estimaciones y conjeturas. Deben considerarse las dificultades y los costos inherentes a la implementación de soluciones; prefiriéndose las aproximadas, formuladas antes de la toma de decisiones, a las más precisas, con posterioridad a ésta. La articulación entre investigación aplicada y desarrollo formalizado de estrategias y tácticas de gestión, se ilustra en el diagrama de la **Fig. MM – 02**.

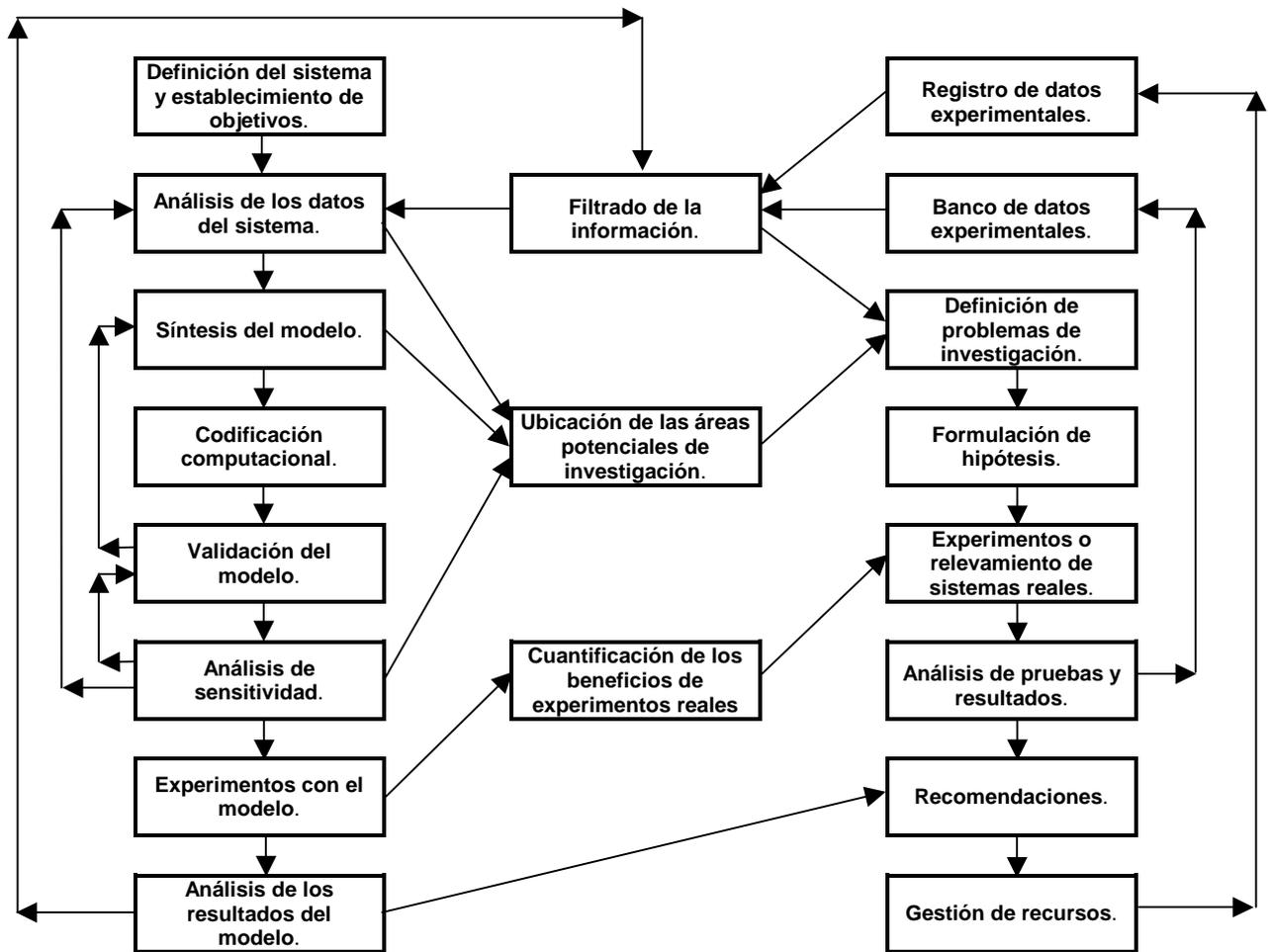


Fig. MM – 02 - EMPLEO DEL ANÁLISIS DE SISTEMAS EN LA ARTICULACIÓN ENTRE INVESTIGACIÓN APLICADA Y DESARROLLO FORMALIZADO DE ESTRATEGIAS Y TÁCTICAS DE GESTIÓN

La aplicación a la investigación práctica y a la modelización matemática, puede esquematizarse como se muestra en la Fig. MM - 03 (Jeffers, J. N. R., 1988):

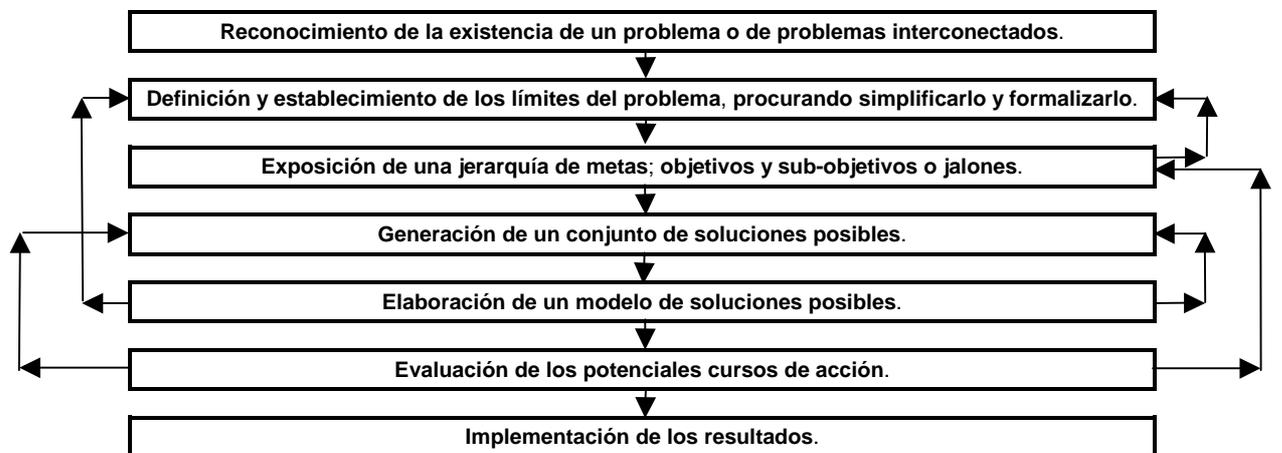


Fig. MM – 03 – DIAGRAMA DE FLUJO ILUSTRATIVO DE LA APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE SISTEMAS A LA INVESTIGACIÓN PRÁCTICA Y A LA MODELIZACIÓN MATEMÁTICA (JEFFERS, J. N. R., 1988)

En general los valores de los parámetros que intervienen en el modelo, se extraen de fuentes bibliográficas calificadas y el problema y los datos, determinan el nivel de complejidad. Éste resulta de un balance entre simplicidad y complejidad; debe decidirse entre inteligibilidad y rigor formal. Del análisis de sensibilidad, resulta la conveniencia de incorporar otras variables de estado (Jørgensen, S. E., 1988). El diagrama siguiente (Fig. MM - 04), de contenido similar a los anteriores, muestra la secuencia de pasos y las retroalimentaciones.

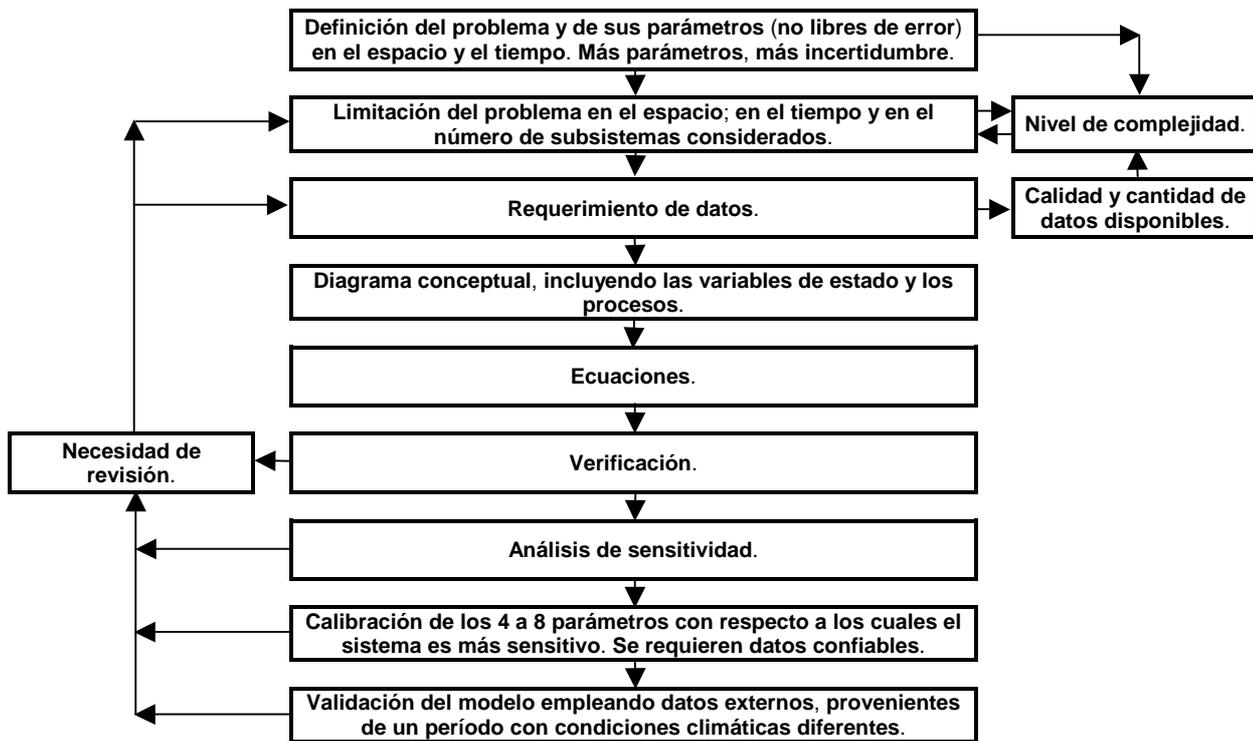


Fig. MM – 04 - SECUENCIA DE PASOS Y RETROALIMENTACIONES EN LA ELABORACIÓN DE UN MODELO

El aumento de conocimiento y comprensión predictiva sobre el funcionamiento de los sistemas complejos, requiere especificidad en el establecimiento de objetivos, tales como los rangos de variación de las variables de estado y de las condiciones de contorno; tipo de operaciones; modificaciones y perturbaciones a ser contempladas en la operación del modelo. Al interrelacionarse la teoría; la experiencia y los datos con la simulación probabilístico-estadística, puede lograrse una gestión optimizada de recursos (Jeffers, J. N. R., 1988). Los cambios dinámicos en los sistemas ecológicos (UNESCO, 1976), analizados empleando el conocimiento actual y los recursos disponibles para la investigación ambiental básica, exigen para su estudio, definición en materia de límites físicos y temporales (Jeffers, J. N. R., 1988). Deben asimismo ensayarse formalmente, las siguientes hipótesis:

- Hipótesis de relevancia, la que implica identificar y definir las variables; las especies y los sub-sistemas específicamente vinculados con el problema;
- Hipótesis de procesos, vinculando los subsistemas inherentes al problema y definiendo los impactos de éstos sobre el sistema;
- Hipótesis de relaciones y de representación formal de éstas, empleando expresiones matemáticas lineales; no-lineales; interactivas; etc.

Las vinculaciones entre la teoría; la experiencia y los datos con la simulación probabilístico-estadística, considerada precedentemente, se ilustran en el diagrama de la **Fig. MM - 05**.

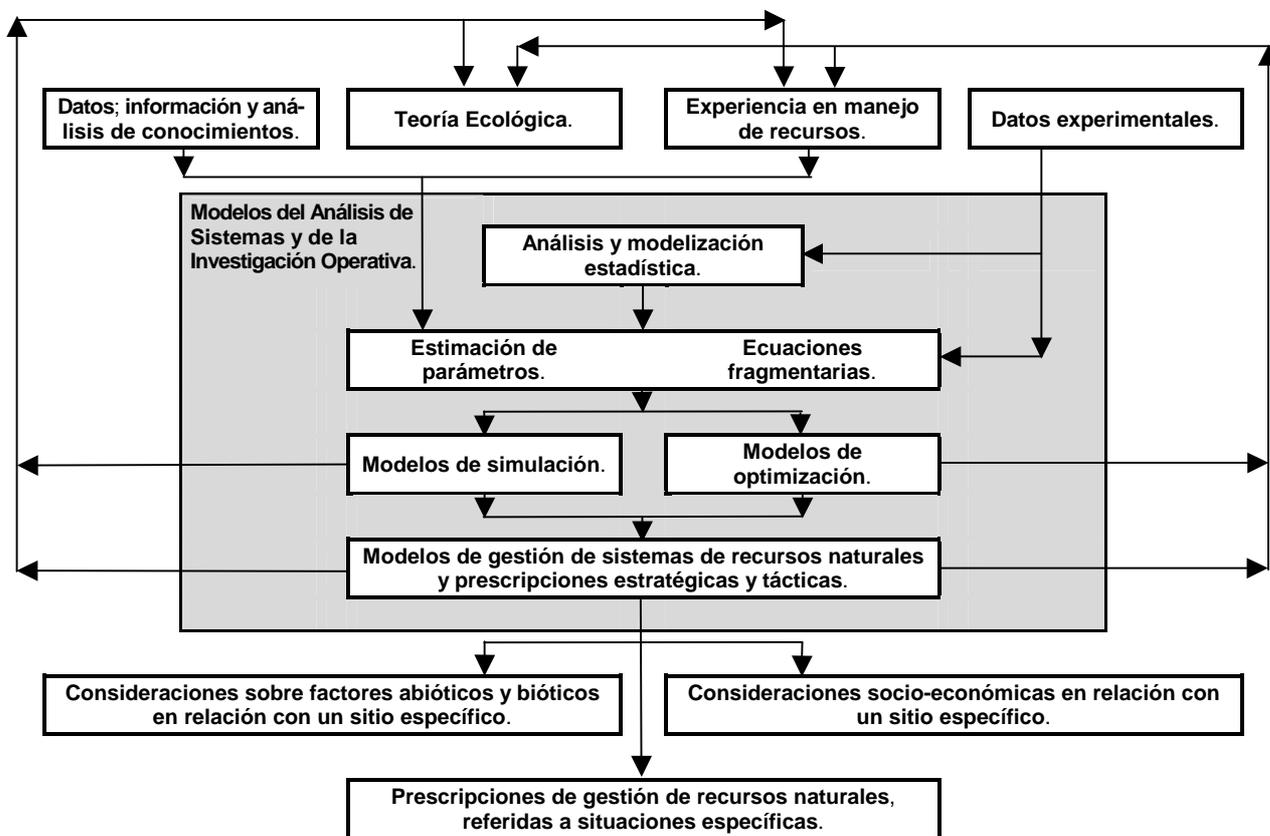


Fig. MM – 05 - VINCULACIONES ENTRE TEORÍA; EXPERIENCIA; DATOS Y SIMULACIÓN PROBABILÍSTICO-ESTADÍSTICA

Los ensayos de hipótesis, deben cumplimentarse, aún cuando requieran una cadena de razonamientos deductivos a partir de una o más hipótesis, susceptibles de ser verificadas directamente. La argumentación deductiva conduce a la elaboración de una tabla de decisión que registra todas las hipótesis y combinaciones de éstas y los cursos de acción aplicados a la solución de problemas particulares. La ocurrencia de eventos no-controlables y de interacciones dinámicas complejas, hace imprecisa la predicción y dificulta la gestión ambiental. El análisis de sistemas contribuye a la identificación de factores y relaciones previamente no-contempladas o no-consideradas funcionalmente relevantes. Orienta también determinadas modificaciones en el diseño experimental o bien en los procedimientos de relevamiento, resaltando las debilidades críticas en la formulación de hipótesis y en los supuestos formales o fácticos. La formalización² de las relaciones funcionales, atiende al comportamiento dinámico del sistema, permitiendo contrastar la pertinencia y calidad de las hipótesis, contribuyendo las técnicas de simulación a la identificación de elementos determinantes de su comportamiento. Un modelo conceptual, puede ser considerado como una lista de variables de estado y funciones de forzado o variables externas, de importancia para el sistema, donde se muestran los procesos que conectan los componentes esenciales.

² Modelos Conceptuales; Matriciales; Estadístico-Estocásticos; basados en el Análisis Multivariado; en Programación Dinámica; en Teoría de Juegos; en Teoría de Catástrofes; en estrategias de Inteligencia Artificial; de Inteligencia Computacional; etc.

4. 2. 1. - Identificación Completa de los Niveles Jerárquicos de Organización: ésta, como la descripción de la complejidad, tal como ocurre en los sistemas vivientes, no es estrictamente trasladable al modelo, debido a la falta de datos y a la comprensión incompleta de los procesos de la naturaleza (Miller, J. G., 1978). Normalmente, se incluye un único nivel o un número reducido de ellos, en la interpretación del comportamiento de una parcela de la realidad; tal el caso analizado en los apéndices: **MODELO DE INTERACCIONES TRÓFICAS EN UNA CADENA ALIMENTARIA LACUSTRE** y **QUASI-LINEALIZACIÓN**, donde pueden atenderse aspectos hidrológicos; otros vinculados a los procesos de envejecimiento por eutrofización, o al crecimiento del fitoplancton, considerando la concentración intracelular de nutrientes.

El modelo está determinado por el problema; el ecosistema y los datos. Debe precisarse su alcance; sus propiedades básicas; la disponibilidad de datos (cantidad y calidad), elaborándose diagramas conceptuales cuyos compartimientos dependen del número de submodelos, de su complejidad y estructura. Idealmente, la estricta correspondencia entre realidad y modelo, se expresa como un isomorfismo, donde ambos son de complejidad equivalente. Como se planteó antes, se discriminan las variables de estado y simplifican las interacciones. El conocimiento ganado merced a la modelización del sistema ecológico, es una función de la complejidad expresada por el número de variables de estado y de parámetros y por el orden de conectividad.

4. 3. - Clasificación de las Ciencias: puede denominarse ciencia a cualquier parcela del conocimiento humano. Más estrictamente, las ciencias se definen como aquellas ramas del saber que se centran en el estudio de cualquier tipo de fenómeno y en la deducción de los principios que lo rigen, según una metodología propia y adaptada a sus necesidades. El propio concepto de ciencia y su evolución histórica conlleva implícita la necesidad de establecer clasificaciones que distingan las áreas de conocimiento que cubre cada una de las disciplinas. En consecuencia, la clasificación de las ciencias ha constituido una de las permanentes inquietudes de los investigadores. Así, se han concretado múltiples distribuciones cuyo estudio compete a diversos ámbitos, como la sistemática o la taxonomía, que constituyen por sí mismas disciplinas científicas aisladas (Sarmiento, S., 1996).

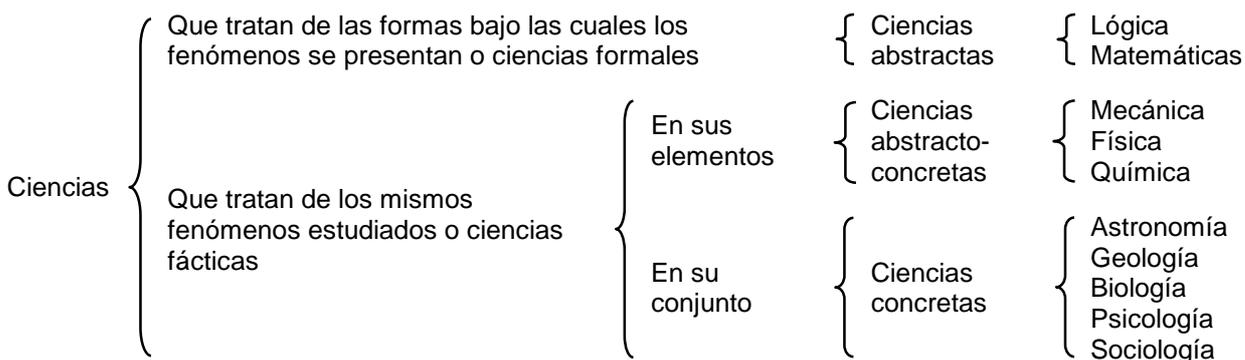
Ya Aristóteles compiló una primera clasificación que distinguía tres grupos: el de las ciencias teóricas (física, matemáticas y metafísica), el de las prácticas (lógica y moral) y el de las productivas (arte y técnica). A lo largo de la evolución del conocimiento se han sucedido otras muchas ordenaciones. Cabe mencionar a este respecto la realizada por el matemático, físico y filósofo francés André Marie Ampère (1775 - 1836) a principios del siglo XIX. Según esta clasificación, las ciencias presentan una neta distinción en dos áreas: las denominadas ciencias cosmológicas, diferenciadas a su vez entre cosmológicas propiamente dichas y fisiológicas; son las que analizan los fenómenos físicos y caracterizan la naturaleza, mientras que las ciencias noológicas, que también mantienen una subdivisión entre propiamente noológicas y sociales, se refieren a los razonamientos abstractos y a las relaciones sociales del ser humano (**Tabla MM - 01**).

Tabla MM - 01 - CLASIFICACIÓN DE LAS CIENCIAS SEGÚN AMPÈRE		
Noológicas	Noológicas propiamente dichas	Filológicas o Dialegmáticas (Lingüística; Filología; etc.)
		Filosóficas (Moral; Filosofía; Psicología; etc.)
	Sociales	Políticas (Economía; Derecho; etc.)
		Etnológicas (Antropología; Historia; Arqueología; etc.)
Cosmológicas	Cosmológicas propiamente dichas	Matemáticas
		Físicas (Física; Química; etc.)
	Fisiológicas	Médicas (Medicina; Farmacia; etc.)
		Naturales (Zoología; Botánica; etc.)

Aunque la pluralidad de criterios en cuanto se refiere a la ordenación científica se ha mantenido, modernamente se tiende a diferenciar varias áreas del conocimiento, en cada una de las cuales se engloban múltiples disciplinas. Así, el conjunto de las ciencias exactas agrupa a su vez los estudios matemáticos, físicos y químicos. Las biológicas se ocupan del conocimiento en distintos niveles (celular, de tejidos, de órganos, etc.) de los seres vivos y comprenden numerosas disciplinas tales como la botánica, la zoología, la genética, la ecología, etc. Una tercera área de conocimiento agrupa las ciencias geológicas y geográficas destinadas a los estudios de los fenómenos relacionados con el planeta Tierra, y las astronómicas, relacionadas con el cosmos. En otro ámbito se sitúan las ciencias médicas, también muy diferenciadas, y un quinto sector engloba las múltiples ciencias sociales (economía, sociología, demografía, etc.).

Se reconoce una distinción entre estudios puramente científicos y actividades tecnológicas, las que constituyen un núcleo aislado y que, según algunas clasificaciones, conforman el campo de las ciencias aplicadas, del que forman parte las distintas ingenierías, la arquitectura, la metalurgia y muchas otras de índole afin. Aguste Compte (1798 – 1857) propuso una jerarquía de las ciencias de acuerdo con el grado de su positividad, ordenándolas en una serie que comienza con la matemática y sigue con la astronomía, la física, la química, la biología y la sociología, con la filosofía como la ciencia más comprensiva en virtud de su concepción del filósofo como el especialista en generalidades (Audi, R., 1999; Ferrater Mora, J., 1999).

Herbert Spencer (1820 – 1903) presenta una división en ciencias que tratan de las formas bajo las cuales los fenómenos se presentan o ciencias abstractas (formales), como la lógica y las matemáticas y ciencias que tratan de los mismos fenómenos estudiados o fácticas, subdivididas según sus elementos o ciencias abstracto-concretas como la mecánica, la física y la química o según su conjunto o ciencias concretas, tales como la astronomía, la geología, la biología, la psicología y la sociología (Honderich, T., 1995; Spencer, H., 1943). Esquemáticamente, se tiene:



En Bosquejo de una Clasificación de las Ciencias, traducción castellana de An Outline Classification of the Sciences, de Charles S. Peirce, publicado en 1903, se expresa que el ordenamiento, no exhaustivo, se basa en las principales afinidades entre los objetos clasificados (Vevia, F. C., 1997). Toma de Auguste Comte la idea de que una ciencia depende de otra en los principios fundamentales. Las divisiones son en general, tricotómicas, donde el primero de los tres miembros se refiere a los elementos universales de las leyes; el segundo a las clases de formas y el tercero a los fenómenos individuales. Toda ciencia, es de descubrimiento (matemática; filosófica o bien ideoscópica, en el sentido de incluir las ciencias especiales que se ocupan del registro de hechos nuevos); de revisión (sistematización de los resultados del descubrimiento), o bien es práctica.

Según Charles S. Peirce, la matemática puede ser dividida en: matemática de la lógica; matemática de las series discretas; matemática de los continuos y los pseudo-continuos; etc., donde cada rama apela a la precedente. La filosofía se divide en fenomenología; ciencia normativa y metafísica. La fenomenología investiga y estudia las clases de elementos siempre presentes en los fenómenos; la ciencia normativa que se apoya en la fenomenología y la matemática, distingue entre lo que debe ser y lo que no debe ser; la metafísica trata de dar una explicación del universo, de la mente y la materia, valiéndose de la fenomenología y de la ciencia normativa. La metafísica puede dividirse en: metafísica general u ontología; metafísica psíquica o religión, que se refiere principalmente a las cuestiones de Dios, libertad e inmortalidad y metafísica física, que discute la naturaleza real del tiempo, del espacio, de las leyes de la naturaleza, de la materia, etc.

La ideoscopia tiene dos ramas: ciencias físicas y psíquicas o ciencias humanas. Las ciencias físicas son: nomológicas o física general; física clasificatoria y física descriptiva. La física nomológica descubre los fenómenos omnipresentes del universo físico, formula sus leyes y mide sus constantes. Se coloca bajo la metafísica y la matemática para los principios. Se divide en: física de masa, dinámica y gravitación; física molecular, eleatérica y termodinámica y física etérea, óptica y eléctrica. La física clasificatoria describe y clasifica las formas físicas y trata de explicarlas dentro de las leyes descubiertas por la física nomológica; en cuanto materia *de facto*, se ha dividido de modo arbitrario en: cristalografía; química y biología. La cristalografía es un vástago de la química, a la cual proporciona hechos; es eminentemente matemática y depende, por tanto, de la eleatérica. La biología puede ser considerada como la química de los albuminoides y de las formas que asumen. Charles S. Peirce afirmaba en 1903, que probablemente todas las diferencias de razas, individuos y tejidos fueran esencialmente químicas. Comentaba que las posibles variedades de los albuminoides son suficientemente amplias para responder por toda la diversidad de las formas orgánicas. La química pura parece consistir hoy en: química física, a partir de la fisico-química y de la dinámica química; química orgánica, alifática y aromática y química inorgánica, como doctrina de los elementos, sus pesos atómicos, su periodicidad, etc. y la doctrina de los compuestos. La biología se divide en: fisiología y anatomía. La primera, unida a la química y a la física y la anatomía, dividida según la naturaleza de las formas estudiadas. La física descriptiva detalla objetos individuales, intentando explicar sus fenómenos por los principios de la física nomológica y clasificatoria y tiende ella misma a ser clasificatoria; se la divide en: geognosis y astronomía.

Las ciencias psíquicas según Peirce, toman principios de las ciencias físicas; son: psíquica nomológica o psicología; psíquica clasificatoria o etnología y psíquica descriptiva o historia. La psíquica nomológica descubre los elementos generales y leyes de los fenómenos mentales; está influida por la fenomenología, la lógica, la metafísica y la biología (una rama de la física clasificatoria). La psíquica clasificatoria ordena productos de la mente, clasificándolos y explicándolos según principios psicológicos. Toma de la psicología y de la física. La psíquica descriptiva intenta representar las manifestaciones individuales de la mente, procurando explicarlas aplicando los principios de la psicología y la etnología, tomando de la geografía y de otras ramas de las ciencias físicas y psíquicas.

La ciencia normativa como subdivisión de las ciencias tiene tres ramas separadas: estética; ética y lógica. La estética es la ciencia de los ideales, o de aquello que es objetivamente admirable sin más razón ulterior. La ética, o ciencia de lo correcto y lo erróneo, debe apelar a la estética como ayuda para determinar el sumo bien; es la teoría de la conducta autocontrolada o deliberada. La lógica es la teoría del pensamiento autocontrolado o deliberado, y como tal debe apelar a la ética para sus principios; depende de la fenomenología y de la matemática. Siendo todo pensamiento motorizado a través del significado de los signos, la lógica debe ser considerada como la ciencia de las leyes generales de los signos. Tiene tres ramas: gramática especulativa, o teoría general de la naturaleza y significado de los signos, ya sean iconos, índices o símbolos; crítica, que clasifica los argumentos y determina la validez y el grado de fuerza de cada clase o género y metodéutica, que estudia los métodos que deben ser seguidos en la investigación, en la exposición y en la aplicación de la verdad. Cada división depende de la precedente.

La psicología se divide según los métodos que sigue, en: psicología introspectiva; psicología experimental; psicología fisiológica y psicología infantil. Esta división sólo incluye aquellas partes de la psicología que investigan los fenómenos generales de la mente. La psicología especial atañe a la psíquica clasificatoria. Ambas, la psicología experimental y la fisiología dependen de la psicología introspectiva. La psicología infantil se subordina a todas las demás. La psíquica clasificatoria está dividida en psicología especial; lingüística y etnología. La psicología especial incluye la psicología individual, la herencia psicológica, la psicología anormal, la psicología de masas, la psicología de razas y la psicología animal; la lingüística, se divide de acuerdo con las familias del habla en: lingüística universal; gramática, como ciencia comparativa de las formas de composición; etnología, dividida en etnología del desarrollo social, costumbres, leyes, religión y tradiciones y etnología de la tecnología.

La psicología descriptiva se divide en: historia propiamente dicha, ordenada de acuerdo con la naturaleza de sus datos, en historia monumental; historia antigua sacada de testimonios escasos y generales; historia extraída de documentos, como la historia moderna, por lo general. La historia comprende la historia política; la historia de las diferentes ciencias; la historia de los desarrollos sociales, la religión, la ley, la esclavitud, los modales, etc. y la historia según las diferentes partes del mundo y los diferentes pueblos; comprende las biografías, sin categoría de ciencia; la crítica, como estudio de las obras individuales de la mente, dividida en crítica literaria; crítica del arte; etc.

4.3.1. - Aproximación Pragmática al Ordenamiento de las Ciencias: se justifica esta decisión, ante la diversidad de conceptos e intereses aplicada en las distintas clasificaciones de las ciencias, sumada a la necesidad de adoptar un criterio actual y operativo. Cabe observar, respaldando la razón precedente, que William James (1842 – 1910) identifica en el hombre, un deseo de creer y ubica este deseo en la base de su pensamiento. Todo sistema filosófico, argumenta, depende en un último análisis, de este deseo de creer, el que satisface al hombre plenamente. Ésta es la prueba pragmática, adecuada y operativa (Frost, S. E., Jr., 1989). Siendo fundamental el deseo de creer, no puede estar el hombre confinado por circunstancias y condiciones inmutables; debe formar parte de la escena en sentido real y ser libre para forjar sus ideales y arriesgarse en su concreción. Por ello, advirtiendo que la colección por temas de la American Association for the Advancement of Science (AAAS), agrupa todos los artículos de investigación; informes y comunicaciones publicados en la revista Science desde 1995 hasta el presente, en categorías temáticas, una opción clasificatoria pragmática, puede basarse en el modelo que se presenta en las **Tablas MM - 02; 03 y 04.**

Tabla MM – 02 - CIENCIAS DE LA VIDA (AAAS):

Anatomía – Morfología – Biomecánica;	Farmacología – Toxicología;
Antropología;	Fisiología;
Biología Celular;	Genética;
Biología Molecular;	Inmunología;
Bioquímica;	Medicina – Enfermedades;
Botánica;	Microbiología;
Desarrollo;	Neurociencias;
Ecología;	Psicología;
Epidemiología;	Virología.
Evolución;	

Tabla MM – 03 - CIENCIAS FÍSICAS (AAAS):

Astronomía;	Física;
Ciencias Atmosféricas;	Geoquímica – Geofísica;
Ciencias de los Materiales;	Ingeniería;
Ciencias Planetarias;	Oceanografía;
Computación – Matemática;	Paleontología;
Física Aplicada;	Química.

Tabla MM – 04 - OTRAS DISCIPLINAS (AAAS):

Ciencia y Negocios;	Educación;
Ciencia y Política;	Historia – Filosofía de las Ciencias;
Economía;	Sociología.

El Programa de Posgrado 2003-2004 de la American Association for the Advancement of Science, incluye en la lista las siguientes disciplinas (**Tabla MM – 05**):

Tabla MM – 05 – DISCIPLINAS DEL PROGRAMA DE POSGRADO 2003-2004 DE LA AAAS:

Agricultura;	Ecología;
Anatomía;	Estadística;
Biofísica;	Farmacología;
Biología Celular;	Física;
Biología Estructural;	Fisiología;
Biología Evolutiva;	Genética;
Biología Molecular;	Geociencias;
Biología;	Informática;
Bioquímica;	Ingeniería;
Biotecnología;	Matemática;
Botánica;	Medicina Veterinaria;
Ciencias Ambientales;	Medicina;
Ciencias Atmosféricas;	Microbiología;
Ciencias de la Computación;	Neurociencias;
Ciencias de la Salud; Inmunología;	Nutrición y Ciencias de la Salud;
Ciencias de la Vida;	Oncología;
Ciencias de las Plantas;	Patología;
Ciencias de los Materiales;	Química;
Ciencias Físicas;	Toxicología;
Ciencias Marinas;	Virología.

El buscador por temas de la sección NetWatch de la mencionada revista Science, incluye las disciplinas científicas que se consignan a continuación (**Tabla MM – 06**):

Tabla MM – 06 – DISCIPLINAS CIENTÍFICAS CONSIGNADAS EN EL BUSCADOR POR TEMAS DE NETWATCH

Antropología;	Física;
Astronomía;	Fisiología;
Biofísica;	Genética;
Biología Celular;	Geociencias;
Biología Molecular;	Historia;
Bioquímica;	Ingeniería;
Botánica;	Inmunología;
Ciencia de los Materiales;	Matemática;
Ciencia Planetaria;	Medicina – Enfermedades;
Ciencia y Negocios;	Microbiología;
Ciencias de la Atmósfera;	Neurociencias;
Computación;	Oceanografía;
Ecología;	Paleontología;
Economía;	Política Científica;
Educación;	Psicología;
Epidemiología;	Química;
Evolución;	Sociología;
Farmacología – Toxicología;	Virología;
Filosofía de la Ciencia;	Zoología.

4. 4. - Representación y Organización del Conocimiento: según la Teoría General de Sistemas, analizada en el apéndice sobre **COMPLEJIDAD Y RESTAURACIÓN AMBIENTAL. PROPUESTA CONCEPTUAL Y METODOLÓGICA PARA EL ESTUDIO FORMAL DE ECOSISTEMAS DOMINADOS POR EL HOMBRE**, la representación y organización del conocimiento, puede formalizarse mediante enlaces estructurales funcionales, entre saberes. Si la modelización holística, encara el proceso dialéctico, como un desarrollo genético (Hernández Fernández, H., 1993; Morenza, L. y otros; Niistö, 1984), el concepto fundamental, formador del sistema, es el de célula generadora. Otras alternativas de organización son, la basada en redes semánticas y la que estructura interpretativamente los objetos cognitivos, mediante dígrafos o grafos orientados, tal como se expresa en el apéndice sobre **REPRESENTACIÓN Y ORGANIZACIÓN DEL CONOCIMIENTO**, donde se manifiesta que en las Redes Semánticas, la representación y estructuración del conocimiento, se apoya en el empleo de nodos cognitivos, como entidades de acumulación de información, vinculadas con conceptos o conocimientos determinados, incorporándose la información de modo consciente, como saber significativo y perdurable, que puede recuperarse para ser aplicado o modificado por enriquecimiento o transformación, o bien para establecer conexiones con otros nodos. Puede asimismo, formularse una aproximación a la representación y estructuración mediante un grafo orientado, basado en la interacción entre elementos, vinculados mediante relaciones contextuales de causalidad (Harary, F.; R. Z. Norman and D. Cartwright, 1965, Harary, F., 1969; Hawthorne, R. W. and A. P. Sage, 1974). En el referido apéndice, además de algunas consideraciones gnoseológicas, se ilustra de manera gráfica el proceso conducente a la Modelización Estructural Interpretativa, señalándose que la tendencia general a la matematización, comporta una articulación entre la Matemática y las Ciencias de la Naturaleza y del Hombre, en el tratamiento de los problemas que éstas plantean. Resulta una línea que puede recorrerse en ambos sentidos y a su vez, cerrarse circularmente, donde la Lógica se propone como modelo de funcionamiento de la inteligencia humana.

Los procesos de definición del problema, se articulan con el análisis morfológico inherente a la clarificación del planteo inicial, en lo atinente a estructura, rango e implicación. Cada paso de la metodología de modelización, es una transformación de una forma en otra, interpretable como un isomorfismo (modificación de forma, sin pérdida de información), asociado al cambio-morfogénesis del modelo (*Model Exchange Isomorphism*). El siguiente diagrama de bloques (**Fig. MM - 06**) ilustra sobre el isomorfismo implícito en las sucesivas transformaciones:



Fig. MM – 06 - DIAGRAMA DE BLOQUES ILUSTRATIVO DEL ISOMORFISMO IMPLÍCITO EN LAS SUCESIVAS TRANSFORMACIONES, DESDE EL MODELO MENTAL, AL ESTRUCTURAL INTERPRETATIVO

Aspectos salientes del análisis son (Sage, A. P., 1977):

- Listado y arreglo u ordenamiento de palabras clave (conjunto de elementos del sistema);
- Identificación de interrelaciones entre los elementos (conjunto de relaciones contextuales);
- Obtención de modelos estructurales, basados en la relación binaria y representados mediante grafos dirigidos asociados a las vinculaciones entre elementos;
- Verificación y validación de modelos estructurales.

El proceso de modelización estructural considera los siguientes aspectos:

- El sistema objeto de descripción-interpretación, por medio de la herramienta matemática;
- El sistema de representación, definido merced a un conjunto de relaciones;
- El acoplamiento o correspondencia entre la percepción de características relevantes del sistema objeto de modelización y el sistema de representación, lo que debe resultar en un Modelo Estructural Interpretativo (ámbito de aplicación iterativa y sistemática de la Teoría de Grafos para representar mediante grafos dirigidos, patrones complejos de relaciones contextuales particulares, dentro de un conjunto de elementos).

Se han desarrollado diferentes métodos para el análisis de sistemas complejos, tales como el Análisis Multivariado (del Componente Principal, del Factor, de Conglomerados, etc.) y el Grafo-Matricial (de Impacto Cruzado, el Modelo Estructural Interpretativo, etc.). El proceso de adquisición del conocimiento puede ser representado entonces, empleando redes semánticas o conceptuales y modelización estructural interpretativa, vinculando los elementos u objetos cognitivos mediante relaciones contextuales de herencia de atributos y de causalidad (Warfield, J. N., 1973; 1974 (a); 1974 (b); 1976). La relación contextual adecuada, es la de dependencia causal; ésto es: p_i causa o determina el efecto p_j o si $p_i \rightarrow p_j$.

4. 4. 1. - Modelización Estructural Interpretativa: la Teoría de Redes se basa en cuatro primitivas:

- Un conjunto P de elementos llamados puntos;
- Un conjunto R de elementos llamados líneas o aristas r que implican la estructura del conjunto de puntos P ;
- Una función f (*first*) cuyo dominio es R y cuya imagen está contenida en P ;
- Una función s (*second*) cuyo dominio es R y cuya imagen está contenida en P .

Se postulan asimismo, dos axiomas:

- El conjunto de puntos P es finito y no vacío;
- El conjunto de líneas R es finito. R puede ser vacío, lo que equivale a puntos aislados.

Dos tipos de líneas son de especial interés: el lazo o bucle (*loop*), donde el primero y segundo punto coinciden - $f r_k = s r_k$ - y las líneas paralelas cuyos primeros y segundos puntos respectivos, coinciden - $f r_i = f r_j, s r_i = s r_j$ -. Una red sin líneas paralelas se define como una relación, lo que implica la red en cuestión y el aspecto estructural representado por cada línea. La notación $p_i R p_j$ se emplea para significar que el punto p_i está relacionado con p_j mediante la relación R y $p_i \bar{R} p_j$ para indicar que p_i no está relacionado con p_j a través de R . Son propiedades relevantes en conexión con el planteo de modelización:

1. Una relación R es reflexiva, si todo punto p_i está en un lazo; $p_i R p_i \forall p_i \in P$;
2. Una relación R es irreflexiva si ningún punto p_i está en un lazo; $p_i \bar{R} p_i \forall p_i \in P$;
3. Una relación R es simétrica, si $p_i R p_j$ implica $p_j R p_i \forall p_i, p_j \in P$;
4. Una relación R es asimétrica, si $p_i R p_j$ implica $p_j \bar{R} p_i \forall p_i, p_j \in P$;
5. Una relación R es transitiva, si $p_i R p_j, p_j R p_k \Rightarrow p_i R p_k \forall p_i, p_j, p_k \in P$;
6. Una relación R es intransitiva si no es transitiva;
7. Una relación R es completa, si para todo p_i, p_j , se cumple que $p_i R p_j$ o bien $p_j R p_i$.

El conjunto de primitivas asociadas a un grafo dirigido o digrafo, es coincidente con el explicitado para redes, valen igualmente los axiomas inherentes a redes; a ellos deben agregarse:

- Dos líneas distintas no son paralelas (un digrafo es una relación);
- No hay lazos o bucles (se restringe la relación, que no ha de tener lazos). Entonces un digrafo transitivo, asimétrico y completo, es una relación transitiva, asimétrica, completa e irreflexiva.

4. 4. 1. 1. - Matriz de Adyacencia: si en un grafo dirigido, representable mediante una matriz binaria, se eliminan las líneas que se infieren por transitividad, por razones de simplificación, se obtiene un digrafo con un número mínimo de líneas o aristas. En la Matriz de Adyacencia \mathbf{A} , un elemento $a_{ij} = 1$, implica $p_i R p_j$ y $a_{ij} = 0$, significa que $p_i \bar{R} p_j$. Como un digrafo es una relación irreflexiva, los elementos de la diagonal principal de la matriz de adyacencia, son nulos. La matriz de adyacencia describe la accesibilidad o alcanzabilidad (*reachability*) para todos los pasos de longitud uno (Sage, A. P., 1977). Sumando la Matriz de Identidad a la de adyacencia ($\mathbf{A} + \mathbf{I}$), se obtiene una matriz que consigna la alcanzabilidad para todos los pasos de longitud 0 y 1.

Haciendo $(\mathbf{A} + \mathbf{I})^2$, donde todas las operaciones son Booleanas, se tienen todos los pasos de longitud ≤ 2 . $(\mathbf{A} + \mathbf{I})_{ij}^2 = 1$, implica $(\mathbf{A} + \mathbf{I})_{ik} = 1, (\mathbf{A} + \mathbf{I})_{kj} = 1$ para al menos un valor de k ($p_i R p_k$, mediante un paso de longitud cero o uno y $p_k R p_j$ a través de un paso de longitud cero o uno. Entonces existirá un paso de longitud ≤ 2 para $p_i R p_j$).

4. 4. 1. 2. - Matriz de Alcanzabilidad: si $(\mathbf{A} + \mathbf{I})^{r-2} \neq (\mathbf{A} + \mathbf{I})^{r-1} = (\mathbf{A} + \mathbf{I})^r = \mathbf{1}$, se tiene la Matriz de Alcanzabilidad (*Reachability Matrix*) o Clausura Transitiva de la Matriz de Adyacencia \mathbf{A} . El exponente r es menor o igual que el número de puntos en el conjunto P ; siendo el camino más largo para n elementos, de longitud $(n - 1)$. La Matriz $\mathbf{1}$, describe una relación transitivo-reflexiva. Cuando un digrafo o un subconjunto de un digrafo, tiene una matriz universal (todos sus elementos son unos), por matriz de alcanzabilidad, se dice fuertemente conexo o conectado. El digrafo es susceptible de ser condensado, reemplazando los componentes fuertemente conexos o los de un ciclo (secuencia $\{p_1, p_2, p_3, \dots, p_n\}$ cerrada, tal que p_n está conectado con p_1), por un elemento simple o sustituto, conceptuado como componente fuerte del digrafo. Una matriz de adyacencia con un número mínimo de aristas o líneas (*Minimum-edge Adjacency Matrix*), es única, en el sentido de su correspondencia con un digrafo único. Una única matriz de alcanzabilidad $\mathbf{1}$, corresponde a una dada matriz de adyacencia \mathbf{A} . Sin embargo, no hay una única matriz \mathbf{A} para una dada matriz $\mathbf{1}$; existe una matriz de adyacencia transitiva con número mínimo de aristas. Esta es la matriz \mathbf{A} que interesa determinar (Sage, A. P., 1977).

4. 4. 1. 3. - Modelización Estructural en un Contexto de Relaciones Transitivas: implica una formalización jerárquica multinivélica, donde los niveles superiores son alcanzables por los inferiores, pero no recíprocamente. La matriz de alcanzabilidad se configura a partir de comparaciones entre pares de elementos; otras entradas se infieren en virtud de la transitividad. Normalmente, no es necesario realizar las $n(n - 1)$ confrontaciones.

Un elemento p_i de una jerarquía de elementos \mathbf{p} , mantiene relaciones en función del contexto, con otros elementos; éstas pueden ser (Sawaragi, Y.; H. Nakayama and T. Tanino, 1982):

1. Existirá un conjunto de elementos $L(p_i)$ *Lift set* al cual p_i estará subordinado y $p_i \notin L(p_i)$; además $R(p_i)$ *Reachability set* = $L(p_i) \cup \{p_i\}$. Los pesos de estos conjuntos están dados por el número total de elementos en ellos $(L_w(p_i), R_w(p_i))$;
2. Existirá un conjunto de elementos $D(p_i)$ *Drop set*, subordinado a p_i , tal que: $D(p_i) = \mathbf{p} - L(p_i) - \{p_i\} - V(p_i)$. El conjunto antecedente (*Antecedent set*), se tiene haciendo: $A(p_i) = D(p_i) \cup \{p_i\}$. Los pesos de estos conjuntos están dados por el número total de elementos en ellos $(D_w(p_i), A_w(p_i))$;
3. Existirá un conjunto de elementos $V(p_i)$ *Vacancy set*, tal que p_i no esté subordinado a ningún elemento de $V(p_i)$ y a su vez, ningún elemento del conjunto, esté subordinado a p_i . Es, asimismo: $V(p_i) = \mathbf{p} - L(p_i) - D(p_i) - \{p_i\}$. La característica distintiva de la Modelización Estructural Interpretativa, es la de permitir la retroacción o retroalimentación (*feedback*); ésto importa incorporar el planteo cibernético. Es conveniente entonces, por razones formales, particionar $L(p_i)$ en dos subconjuntos;

4. Existirá un subconjunto de $L(p_i)$, $NF(p_i)$ *Nonfeedback lift set*, al cual p_i estará subordinado y ningún elemento perteneciente a $NF(p_i)$ estará subordinado a p_i ;
5. Existirá un subconjunto de $L(p_i)$, cuyos elementos $\notin NF(p_i)$ y están subordinados a p_i ; es el subconjunto $F(p_i)$ *Feedback set*.

Los conceptos estructurales precedentes, se ilustran en la **Fig. MM - 07** siguiente que muestra las particiones en el elemento p_i ; sin y con ciclos de retroalimentación (a y b, respectivamente).

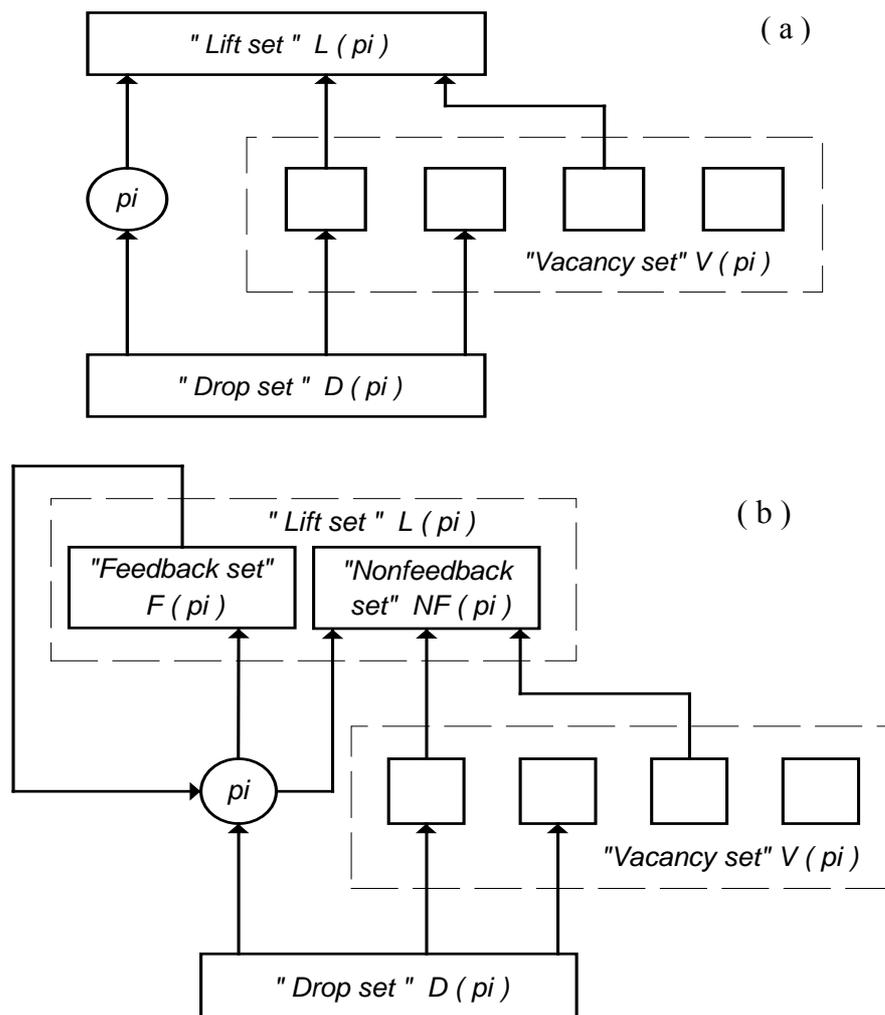


Fig. MM - 07 - PARTICIONES ALREDEDOR DE p_i , SIN (a) Y CON (b) CICLOS DE RETROALIMENTACIÓN

La matriz de alcanzabilidad, puede ser particionada alrededor de un elemento p_i , obteniéndose un resultado como el que esquematiza la **Fig. MM - 08**, donde se indican los conjuntos críticos ya definidos. Cuando un elemento en particular no está subordinado a otro, consignado en el encabezamiento de columna, se escribe un cero en la entrada o posición correspondiente; si lo está, se anota un uno.

		" Lift set " $L (p_i)$				p_i	" Vacancy set " $V (p_i)$	" Drop set " $D (p_i)$
		" Nonfeedback set " $NF (p_i)$		" Feedback set " $F (p_i)$				
" Lift set " $L (p_i)$	" Nonfeedback set " $NF (p_i )$	...	...	0	0	...	...
	" Feedback set " $F (p_i )$	...	...	1	1	...	...
p_i		1 1 1 1 1	1 1 1 1 1 1 1 1 1	1	0 0 0 0	0 0 0 0	0 0 0 0	
" Vacancy set " $V (p_i )$		...	...	0	0	...	...
" Drop set " $D (p_i )$		...	...	1	1	...	...

Fig. MM - 08 - DETERMINACIÓN DE CONJUNTOS CRÍTICOS POR PARTICIONAMIENTO

Una de las ventajas mayores de particionar la matriz alrededor de un elemento, es que la transitividad habilita a inferir entradas como ceros o unos; ésto es lo que muestra la Fig. MM - 09, donde puede observarse que aún resta determinar las siguientes submatrices: $\mathbf{f}_{NF NF} (p_i)$; $\mathbf{f}_{VV} (p_i)$ y $\mathbf{f}_{DD} (p_i)$, que son matrices de alcanzabilidad de orden reducido, tratables también, mediante particionamiento. Los elementos de la matriz $\mathbf{f}_{VNF} (p_i)$ y los de $\mathbf{f}_{DV} (p_i)$, configuran matrices de interacción cruzada o de interconexión, no tratables por particionamiento (Warfield, J. N., 1973, a; Warfield, J. N., 1973, b). Según la Teoría de Interconexión de Matrices, las submatrices:

$$\mathbf{f} = \begin{bmatrix} \mathbf{f}_{NF NF} (p_i) & \mathbf{0} \\ \mathbf{f}_{VNF} (p_i) & \mathbf{f}_{VV} (p_i) \end{bmatrix}, \quad \mathbf{f} = \begin{bmatrix} \mathbf{f}_{VV} (p_i) & \mathbf{0} \\ \mathbf{f}_{DV} (p_i) & \mathbf{f}_{DD} (p_i) \end{bmatrix},$$

obtenidas a partir de la Fig. MEI 3 , eliminando determinados elementos; son matrices de alcanzabilidad de dimensión menor que la original. Ambas matrices son de la forma:

$$\mathbf{f} = \begin{bmatrix} \mathbf{A} & \mathbf{0} \\ \mathbf{X} & \mathbf{B} \end{bmatrix},$$

donde **A** y **B** son submatrices de alcanzabilidad conocidas o calculables. Debe determinarse **X**. Como **f**, **A** y **B** son matrices de alcanzabilidad, se cumple que:

$$\mathbf{f}^2 = \mathbf{f}; \quad \mathbf{A}^2 = \mathbf{A}; \quad \mathbf{B}^2 = \mathbf{B};$$

$$\mathbf{f}^2 = \begin{bmatrix} \mathbf{A}^2 & \mathbf{0} \\ \mathbf{XA} + \mathbf{BX} & \mathbf{B}^2 \end{bmatrix} = \mathbf{f} = \begin{bmatrix} \mathbf{A} & \mathbf{0} \\ \mathbf{X} & \mathbf{B} \end{bmatrix},$$

de donde se deduce una ecuación matricial característica binaria, también llamada ecuación de auto-implicación: $\mathbf{XA} + \mathbf{BX} = \mathbf{X}$, la que se emplea para determinar **X**.

Sobre la matriz de alcanzabilidad, se realizan diversas particiones para obtener finalmente el Modelo Estructural Interpretativo del conjunto de elementos vinculados por relaciones contextuales. El uso de series de particiones, inducidas sobre el conjunto y subconjuntos de elementos $P = \{p_i\}$, permite identificar diversas propiedades del modelo estructural (Warfield, J. N., 1973, d):

4. 4. 1. 4. - Partición de la Relación ó $\Pi_1(P \times P)$: el conjunto $P \times P$ contiene todos los pares ordenados de los elementos, en dos bloques: Z y \bar{Z} . Un par ordenado (p_i, p_j) pertenece a Z , si p_i accede a p_j ó $p_i R p_j$ (la entrada $\mathbf{f}_{ij} = 1$); caso contrario (p_i, p_j) pertenece a \bar{Z} , lo que equivale a $p_i \bar{R} p_j$ (la entrada $\mathbf{f}_{ij} = 0$). La partición puede escribirse: $\Pi_1(P \times P) = \{[Z]; [\bar{Z}]\}$.

4. 4. 1. 5. - Partición de Nivel ó $\Pi_2(P)$: para cada elemento p_i , se define el conjunto de alcanzabilidad $R(p_i)$, como el conjunto de elementos alcanzables desde p_i (corresponden a las columnas cuyas entradas son unos, en la fila de p_i). Similarmente, para todo elemento p_j , el conjunto antecedente $A(p_j)$, se configura con los elementos que alcanzan o son antecedente de p_j (son los encabezamientos de filas correspondientes a unos en la columna de p_j).

Los elementos del nivel superior de la jerarquía, no acceden a ningún elemento por encima de su propio nivel. El conjunto de alcanzabilidad para un elemento de nivel tope p_i , consistirá del elemento p_i y eventualmente de otros elementos del mismo nivel, componentes de un subconjunto fuertemente conexo. El conjunto antecedente para un elemento del nivel tope, consiste del elemento mismo; elementos que acceden a éste, desde niveles inferiores y elementos de uno o más conjuntos fuertemente conexos que involucran a p_i en el nivel tope. Un elemento p_i es de nivel tope, si: $R(p_i) = R(p_i) \cap A(p_i)$.

" Nonfeedback set " $NF(p_i)$	" Feedback set " $F(p_i)$	p_i	" Vacancy set " $V(p_i)$	" Drop set " $D(p_i)$
$\mathbf{f}_{NF NF}(p_i)$	$\mathbf{f}_{F F}(p_i)$	0	$\mathbf{f}_{V V}(p_i)$	$\mathbf{f}_{D D}(p_i)$
↖ ↑ ↗	↖ ↑ ↗	1	↖ ↑ ↗	↖ ↑ ↗
← 1 →	← 1 →	1	← 0 →	← 0 →
↙ ↓ ↘	↙ ↓ ↘	1	↙ ↓ ↘	↙ ↓ ↘
1 1 1 1 1	1 1 1 1 1	1	0 0 0 0 0	0 0 0 0 0
$\mathbf{f}_{V NF}(p_i)$	$\mathbf{f}_{F V}(p_i)$	0	$\mathbf{f}_{V V}(p_i)$	$\mathbf{f}_{D D}(p_i)$
↖ ↑ ↗	↖ ↑ ↗	0	↖ ↑ ↗	↖ ↑ ↗
← 0 →	← 0 →	0	← 0 →	← 0 →
↙ ↓ ↘	↙ ↓ ↘	0	↙ ↓ ↘	↙ ↓ ↘
↖ ↑ ↗	↖ ↑ ↗	1	$\mathbf{f}_{D V}(p_i)$	$\mathbf{f}_{D D}(p_i)$
← 1 →	← 1 →	1		
↙ ↓ ↘	↙ ↓ ↘	1		
		1		
		1		

Fig. MM - 09 - ELEMENTOS DE LA MATRIZ DE ALCANZABILIDAD QUE PUEDEN SER INFERIDOS

Una vez identificados y retirados los elementos de nivel tope, se determinan los elementos de nivel tope en el subgrafo remanente. Se procede sistemáticamente de este modo, hasta identificar todos los niveles de la estructura:

$$\Pi_2(P) = \{ [L_1]; [L_2]; \dots ; [L_l] \},$$

donde todos los elementos de un dado nivel, están contenidos en el mismo bloque. El número de niveles es l .

Si se define un cero-ésimo nivel como conjunto vacío ($L_0 = \emptyset$), puede escribirse el algoritmo iterativo precedente, como sigue:

$$L_j = \{ p_i \in P - L_0 - L_1 - \dots - L_{j-1} : R_{j-1}(p_i) = R_{j-1}(p_i) \cap A_{j-1}(p_i) \},$$

donde $R_{j-1}(p_i) \wedge A_{j-1}(p_i)$, son los conjuntos de alcanzabilidad y antecedente, determinados a partir del subgrafo consistente en los elementos de $P - L_0 - L_1 - \dots - L_{j-1}$.

4. 4. 1. 6. - Partición en Digrafos Separados ó $\Pi_3(P)$: permite identificar a algunos de los elementos de P que constituyen un digrafo separado menor o subconjunto disjunto del modelo estructural.

Llamando B al conjunto de elementos del nivel de fondo o *bottom-level*; $p_i \in B \Leftrightarrow A(p_i) = R(p_i) \cap A(p_i)$. Si p_i es un elemento del nivel de fondo, $A(p_i)$ contiene a p_i y eventualmente, elementos de un subconjunto fuertemente conexo, ligado a p_i . $R(p_i)$ contiene a p_i ; elementos alcanzables desde p_i y eventualmente, elementos de un subconjunto fuertemente conexo, vinculado a p_i . Corresponde observar que un elemento del nivel de fondo, no debe necesariamente pertenecer al l -ésimo nivel (último nivel) de la estructura; simplemente, es el elemento que no tiene elementos antecedentes de menor nivel. Dos elementos $p_i, p_j \in B$, aparecerán en el mismo digrafo, si en sus respectivos conjuntos de alcanzabilidad hay un elemento común; caso contrario, estarán en digrafos disjuntos. La partición $\Pi_3(P)$, identifica los digrafos disjuntos, de modo que sus elementos se adjudiquen al bloque correspondiente:

$$\Pi_3(P) = \{ [D_1]; [D_2]; \dots ; [D_m] \};$$

donde: m es el número de digrafos disjuntos que constituyen el modelo estructural.

Para hallar $\Pi_3(P)$, primero se define el conjunto de elementos del nivel de fondo B :

$$B = \{ p_i \in P : A(p_i) = R(p_i) \cap A(p_i) \};$$

luego $p_i, p_j \in B$, se ubican en el mismo bloque $\Leftrightarrow R(p_i) \cap R(p_j) \neq \emptyset$. Después de configurarse los bloques, se agregan a cada uno de ellos, los restantes elementos de los conjuntos de alcanzabilidad.

4. 4. 1. 7. - Partición de L_k en Subconjuntos Disjuntos y Fuertes ó $\Pi_4(L_k)$: la partición $\Pi_2(P)$, identifica a los niveles del modelo estructural. Dentro de cada nivel, los elementos pueden ser clasificados como integrantes o no, de un subconjunto fuertemente conexo. Si el elemento no pertenece a un conjunto fuertemente conexo, es su propio conjunto de alcanzabilidad o $R_{L_k}(p_i)$, cuando éste se interpreta sólo con respecto a elementos dentro del nivel k .

Entonces, si p_i no forma parte de un conjunto fuertemente conexo:

$$R_{L_k}(p_i) = \{p_i\} .$$

La matriz de alcanzabilidad induce una partición de dos bloques $\Pi_4(L_k)$ en los elementos de cada nivel L_k :

$\Pi_4(L_k) = \{ [I]; [S] \}$; un elemento pertenece a I si satisface: $R_{L_k}(p_i) = \{p_i\}$; caso contrario, pertenece a S . En casos especiales, I ó S pueden ser vacíos, pero no ambos.

4. 4. 1. 8. - Partición de los Subconjuntos Fuertemente Conexos en S ó $\Pi_5(S)$: a partir de la matriz de alcanzabilidad, se infiere si un grupo de elementos pertenece al mismo bloque de S ; ésto es así, \Leftrightarrow cada elemento del grupo es alcanzable desde y es antecedente de todo otro elemento del grupo. Se tiene:

$$\Pi_5(S) = \{ [C_1]; [C_2]; \dots ; [C_y] \} ,$$

donde: C_i denota un conjunto de ciclo maximal; y es el número de conjuntos de ciclo maximal, así llamados porque la adición de un elemento simple al conjunto, destruye la propiedad de antecendencia-alcanzabilidad, precedentemente expuesta.

Luego de realizadas las particiones, los elementos de la matriz de alcanzabilidad pueden ser reordenados para obtener la Forma Canónica. Se disponen los encabezamientos de filas (en forma descendente) y de columnas (de izquierda a derecha), de modo de tener la sucesión o secuencia $I_1, S_1, I_2, S_2, \dots, I_l, S_l$, donde los subíndices se corresponden con el nivel para el cual las particiones I, S son definidas (**Fig. MM - 10**):

P' =

	I_1	S_1	I_2	S_2	I_3	S_3	...	I_l	S_l
I_1							...		
S_1							...		
I_2							...		
S_2							...		
I_3							...		
S_3							...		
...
I_l							...		
S_l							...		

Fig. MM – 10 – REORDENAMIENTO DE LA MATRIZ DE ALCANZABILIDAD, COMPLETADAS LAS PARTICIONES

Se configuran submatrices de la forma canónica, considerando la más pequeña submatriz que puede obtenerse sobre la diagonal principal, dejando ceros a la derecha (matriz de bloque triangular inferior):

$$P' = \begin{bmatrix} P_{11} & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ P_{21} & P_{22} & 0 & 0 & \dots & 0 \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{u1} & P_{u2} & P_{u3} & P_{u4} & \dots & P_{uu} \end{bmatrix}$$

El arreglo por niveles, posibilita identificar otras propiedades. Puede definirse un conjunto de submatrices, tal que se agrupan los elementos del mismo nivel; para un modelo estructural con l niveles, la matriz de submatrices, es:

$$\mathbf{P} = \begin{matrix} & \begin{matrix} L_1 & L_2 & L_3 & \dots & L_l \end{matrix} \\ \begin{matrix} L_1 \\ L_2 \\ L_3 \\ \dots \\ L_l \end{matrix} & \begin{bmatrix} \mathbf{N}_{11} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} \\ \mathbf{N}_{21} & \mathbf{N}_{22} & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} \\ \mathbf{N}_{31} & \mathbf{N}_{32} & \mathbf{N}_{33} & \dots & \mathbf{0} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mathbf{N}_{l1} & \mathbf{N}_{l2} & \mathbf{N}_{l3} & \dots & \mathbf{N}_{ll} \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Fig. MM – 11 - MATRIZ DE SUBMATRICES, DONDE SE AGRUPAN LOS ELEMENTOS DE UN MISMO NIVEL

Las submatrices ubicadas sobre la diagonal principal: $\mathbf{N}_{11}, \mathbf{N}_{22}, \mathbf{N}_{33}, \dots, \mathbf{N}_{ll}$, exhiben la alcanzabilidad entre los elementos de los niveles $L_1, L_2, L_3, \dots, L_l$, respectivamente. Estas submatrices serán matrices de identidad cuando no existan ciclos. Las submatrices a la derecha de las submatrices de la diagonal principal son siempre nulas, dado que no se tiene alcanzabilidad desde un nivel más alto a un nivel más bajo. La alcanzabilidad del modelo estructural se expresa desde elementos de nivel más bajo a elementos de nivel más alto y las submatrices a la izquierda de las submatrices de la diagonal principal, contienen la información de interconexión; por ejemplo, la submatriz \mathbf{N}_{21} contiene información concerniente a la alcanzabilidad desde los elementos del nivel L_2 , en relación con los elementos del nivel L_1 . El tratamiento computacional del proceso de organización de la matriz de alcanzabilidad, se resuelve empleando el lenguaje de programación C y el Compilador MS Visual C++ 6.0 Std. y la aplicación se realiza sobre la base de relaciones causales.

4. 4. 2. - **Redes Semánticas:** la conexión entre oraciones y hechos es algo que se establece mediante la semántica del lenguaje. La propiedad de que un hecho sea consecuencia de otros, se refleja en la propiedad de que una oración es consecuencia de otras oraciones. La inferencia lógica genera nuevas oraciones que son consecuencia de oraciones ya existentes. La Fig. MM – 12 lo ilustra:

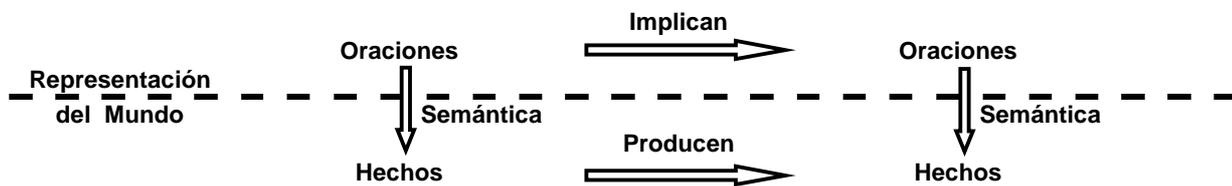


Fig. MM – 12 – CONEXIÓN ENTRE ORACIONES Y HECHOS, MERCED A LA SEMÁNTICA DEL LENGUAJE

Si tanto la sintaxis como la semántica están definidas de manera precisa, el lenguaje es una lógica o un lenguaje de representación. La semántica del lenguaje determina el hecho al que alude una determinada oración, siendo esencial la diferencia entre los hechos y sus correspondientes representaciones. Los hechos forman parte del mundo; sus representaciones se codifican de modo de poder contenerlas en un agente, como entidad que percibe su ambiente mediante sensores y que responde o actúa mediante efectores. Los agentes deben poseer conocimientos. Ludwig Wittgenstein afirma “El mundo es todo aquello que viene al caso” (Wittgenstein, L., 1922).

Los mecanismos de razonamiento deben basarse en la representación de los hechos, no en los hechos mismos. Puesto que las oraciones son configuraciones físicas de las partes de un agente, el razonamiento debe ser un proceso para construir nuevas configuraciones físicas a partir de otras anteriores. Un adecuado razonamiento deberá garantizar que las nuevas configuraciones representen hechos derivados de aquellos representados por configuraciones previas. El significado de una oración, es lo que se afirma del mundo, en cuanto a que éste sea de una determinada forma; también, debe proporcionarse la correspondiente interpretación para precisar a qué hecho se hace referencia. Los lenguajes de representación requieren una relación sistemática entre oraciones y hechos; son compositivos o de composición, pues el significado de una oración es función del significado de sus partes.

Una oración es cierta, dentro de una interpretación determinada si el estado de asuntos que representa, corresponde al estado actual del mundo. Las expresiones inferencia lógica o deducción y razonamiento confiable, se refieren a los procesos en virtud de los cuáles, se obtienen las relaciones de implicación entre oraciones. Una lógica comprende:

- Un sistema formal para describir lo que está sucediendo en un momento determinado, el que consta de:
 - la sintaxis del lenguaje que explica como construir oraciones y
 - la semántica del lenguaje que especifica las restricciones sistemáticas sobre cómo se relacionan las oraciones con aquello que está sucediendo.
- La teoría de la demostración, que es un conjunto de reglas para deducir las implicaciones de un conjunto de oraciones.

En la lógica propositiva o lógica booleana, los símbolos representan proposiciones completas o hechos. Los símbolos de proposiciones pueden combinarse empleando los conectivos booleanos para generar oraciones de significado más complejo.

4. 4. 2. 1. - Lógica de Primer Orden o Cálculo de Predicados de Primer Orden con Igualdad: representa los mundos en términos de objetos o entes con identidad individual y predicados sobre objetos; es decir, propiedades de los objetos o relaciones entre objetos, así como el uso de conectivos y cuantificadores, mediante los cuales se pueden escribir oraciones sobre todo lo que ocurre en el universo, a un mismo tiempo. La sintaxis de la lógica propositiva utiliza como símbolos las constantes lógicas *Verdadero* y *Falso*; emplea símbolos de proposiciones tales como P y Q ; conectivos lógicos de conjunción \wedge (*y*), disyunción \vee (*o*), implicación \Rightarrow (*implica*), equivalencia \Leftrightarrow (*equivalente* o *bicondicional*), negación \neg (*no*) y paréntesis (). Todas las oraciones se forman combinando los signos anteriores, con ajuste a las siguientes reglas:

- Las constantes lógicas *Verdadero* y *Falso* constituyen oraciones en sí mismas;
- Un símbolo propositivo tal como P o Q es una oración en sí mismo;
- Encerrar entre paréntesis una oración, produce también una oración, tal como $(P \wedge Q)$;
- Una oración se forma combinando oraciones más sencillas con uno de los cinco conectores lógicos.

Una oración como $(P \wedge Q) \Rightarrow R$ se conoce como implicación o condicional; su premisa o antecedente es $P \wedge Q$ y su conclusión o consecuente es R . A las implicaciones también se las llama reglas o aseveraciones si-entonces.

Los conectores combinan dos oraciones en una sola, con excepción de la negación \neg que actúa sobre una sola oración. El orden de precedencia en la lógica propositiva es de mayor a menor: \neg , \wedge , \vee , \Rightarrow y \Leftrightarrow . Por consiguiente la oración: $\neg P \vee Q \wedge R \Rightarrow S$, equivale a: $((\neg P) \vee (Q \wedge R)) \Rightarrow S$. La semántica de la lógica propositiva se define especificando la interpretación de los signos de proposición y las constantes y especificando el significado de los conectores lógicos. El significado de una oración compleja se obtiene a partir del significado de cada una de sus partes, considerando que cada conector es una función. Se ilustra seguidamente, una tabla de verdad para los cinco conectores lógicos (**Tabla MM - 07**):

Tabla MM - 07 - TABLA DE VERDAD PARA LOS CINCO CONECTORES LÓGICOS: \neg , \wedge , \vee , \Rightarrow , \Leftrightarrow

<i>P</i>	<i>Q</i>	$\neg P$	$P \wedge Q$	$P \vee Q$	$P \Rightarrow Q$	$P \Leftrightarrow Q$
Falso	Falso	Verdadero	Falso	Falso	Verdadero	Verdadero
Falso	Verdadero	Verdadero	Falso	Verdadero	Verdadero	Falso
Verdadero	Falso	Falso	Falso	Verdadero	Falso	Falso
Verdadero	Verdadero	Falso	Verdadero	Verdadero	Verdadero	Verdadero

Las tablas de verdad además de definir los conectores, permiten probar la validez de las oraciones. Para considerar una oración se construye una tabla de verdad con una fila por cada una de las posibles combinaciones de los valores de verdad, correspondientes a los signos propositivos de la oración. Se calcula el valor de verdad de toda la oración, en cada una de las filas; si la oración es verdadera en cada una de ellas, la oración es válida.

La oración: $((P \vee H) \wedge \neg H) \Rightarrow P$, es válida, tal como puede observarse en la siguiente tabla de verdad donde se analiza esta oración compleja (ver **Tabla MM - 08**).

Tabla MM - 08 - TABLA DE VERDAD DONDE SE ANALIZA LA ORACIÓN COMPLEJA $((P \vee H) \wedge \neg H) \Rightarrow P$

<i>P</i>	<i>H</i>	$P \vee H$	$(P \vee H) \wedge \neg H$	$((P \vee H) \wedge \neg H) \Rightarrow P$
Falso	Falso	Falso	Falso	Verdadero
Falso	Verdadero	Verdadero	Falso	Verdadero
Verdadero	Falso	Verdadero	Verdadero	Verdadero
Verdadero	Verdadero	Verdadero	Falso	Verdadero

Si un sistema cuenta con determinadas premisas y una posible conclusión, puede responderse si la conclusión es verdadera. Para ello, se requiere una tabla de verdad para la oración: *Premisas* \Rightarrow *Conclusión*, debiendo verificarse que en todas las filas la oración es verdadera. La conclusión es consecuencia de las premisas, lo que significa que el hecho representado por la conclusión, se deriva de la situación representada por las premisas. En el cálculo de predicados de primer orden, todos los hechos se refieren a objetos; a propiedades y a relaciones. No se afirma que el mundo está formado realmente por objetos y relaciones, sino que al esquematizarlo de este modo, se facilita la tarea de razonar sobre él. Mediante la lógica de primer orden, es también posible expresar hechos sobre todos los objetos del universo. Se manifestó previamente que en la lógica proposicional cada expresión es una oración que representa un hecho. En la lógica de primer orden hay oraciones, pero además, hay términos que representan objetos. Los signos que representan constantes; variables y funciones, sirven para construir términos. Los cuantificadores y los signos de predicados, se emplean para armar oraciones. Un término es una expresión lógica que se refiere a un objeto; por lo tanto, los signos de constante, son términos.

En el caso más general, el término complejo está formado por un signo de función seguido por una lista entre paréntesis de términos que son los argumentos del signo de función. Una oración atómica es verdadera si la relación a la que alude el signo de predicado es válida para los objetos a los que aluden los argumentos. La relación se cumple, sólo en el caso de que la tupla de objetos esté en la relación. Consiguientemente, la validez de una oración, depende tanto de la interpretación como del mundo.

Para expresar propiedades de grupos completos de objetos, en vez de enumerarlos por su nombre, se emplean cuantificadores universales (\forall) y existenciales (\exists). Como \forall es una conjunción de objetos del universo y \exists es una disyunción, obedecen las leyes de De Morgan, las que para oraciones cuantificadas y no cuantificadas, son las siguientes:

$$\begin{array}{ll} \forall x \neg P \equiv \neg \exists x P & \neg P \wedge \neg Q \equiv \neg (P \vee Q) \\ \neg \forall x P \equiv \exists x \neg P & \neg (P \wedge Q) \equiv \neg P \vee \neg Q \\ \forall x P \equiv \neg \exists x \neg P & P \wedge Q \equiv \neg (\neg P \vee \neg Q) \\ \exists x P \equiv \neg \forall x \neg P & P \vee Q \equiv \neg (\neg P \wedge \neg Q) \end{array}$$

Para formular aseveraciones en las que dos términos se refieren a un mismo objeto, se utiliza el símbolo de igualdad. La igualdad es un símbolo de predicado con un significado previamente definido, es decir, el significado que se establece para referirse a la relación de identidad. Ésta es el conjunto de todos los pares de objetos donde los dos elementos de cada par, son el mismo objeto.

El nombre de lógica de primer orden se basa en el hecho de que con ella se cuantifican objetos o entidades de primer orden que en realidad existen en el mundo, aunque no permite cuantificar las relaciones o funciones que existen entre dichos objetos. Mediante la lógica de orden superior, es posible cuantificar relaciones y funciones al igual que objetos. Las lógicas de orden superior tienen más capacidad expresiva que la lógica de primer orden. Es posible afirmar que dos objetos son iguales si y sólo si, todas las propiedades que se les aplican son equivalentes:

$$\forall x, y (x=y) \Leftrightarrow (\forall p p(x) \Leftrightarrow p(y))$$

También puede afirmarse que dos funciones son iguales *si y sólo si* para todos los argumentos su valor es el mismo:

$$\forall f, g (f=g) \Leftrightarrow (\forall x f(x) = g(x))$$

Se ha expresado que \exists se utiliza para afirmar que algunos objetos existen, pero no hay una forma concisa para declarar la existencia de un objeto específico que satisface determinado predicado o cuantificador de unicidad. Se emplea la notación: $\exists! x P(x)$, para expresar que existe un objeto específico x que satisface $P(x)$. El operador de unicidad ι permite representar un objeto específico, utilizándose la notación: $\iota x P(x)$, donde ι es la letra griega *iota*.

En 1896, siete años después que Giuseppe Peano creara lo que actualmente es la notación normalizada de la lógica de primer orden (Peano, G., 1889), Charles Peirce propuso una notación gráfica denominada gráficas existenciales, promoviendo un extenso debate entre partidarios de la lógica y de las redes semánticas o sistema de cuadros, que puede definirse como oraciones de una lógica de primer orden (Peirce, C. S., 1902).

4. 4. 2. 2. - Lenguajes de Representación: lo importante reside en la comprensión de la semántica y en la teoría de la demostración; los detalles de la sintaxis, son menos relevantes. Si en un lenguaje se utilizan cadenas o nodos y vínculos o se llama a éste, red semántica o lógica, es irrelevante para su significado o para su implantación. Los diagramas nodo-vínculo constituyen un modelo de ejecución de formalismos que ilustra sobre los pasos del procedimiento de inferencia. En las redes semánticas la atención está puesta en las categorías de los objetos y en las relaciones que existen entre éstos. Para definir la semántica de la red, es necesario proponer los equivalentes en lógica de primer orden de las aseveraciones que se hagan en el lenguaje de red. Primero se define la versión donde no hay excepciones; además de los vínculos *Subconjunto* $\Rightarrow y \Rightarrow$ *Miembro*, puede verse que se requieren por lo menos otros tres vínculos: uno para expresar que entre dos objetos *A* y *B*, existe una relación *R*; otro para afirmar que *R* se cumple en todos los elementos de la clase *A* y del objeto *B* y otro que afirme que *R* se cumple en todos los elementos de *A* y algún elemento de *B*. En la **Tabla MM - 09** se ilustran los tipos de vínculos empleados en las redes semánticas y sus respectivos significados.

Tabla MM - 09 - TIPOS DE VÍNCULOS EMPLEADOS EN LAS REDES SEMÁNTICAS Y SUS SIGNIFICADOS

Tipo de vínculo:			Semántica:
A	Subconjunto \rightarrow	B	$A \subset B$
A	Miembro \rightarrow	B	$A \in B$
A	R \rightarrow	B	$R(A, B)$
A	R $\boxed{}$ \rightarrow	B	$\forall x \ x \in A \Rightarrow R(x, B)$
A	R $\boxed{\boxed{}}$ \rightarrow	B	$\forall x \ \exists y \ x \in A \Rightarrow y \in B \wedge R(x, y)$

En algunos sistemas de redes semánticas existe la herencia múltiple, es decir, cuando un objeto pertenece a más de una categoría y por lo tanto hereda propiedades de varias rutas. Sin embargo, puede suceder que dos rutas de herencia produzcan respuestas conflictivas. El nodo de una red se representa mediante una estructura de datos, en la que hay campos para las conexiones taxonómicas básicas: de que categorías se es miembro; que elementos contiene; cuales son los subconjuntos y supra-conjuntos inmediatos. Se utilizan estructuras jerárquicas, generalmente de tipo *top-down*, basadas en marcos (*frames*) para representar el conocimiento. Las flechas están dirigidas hacia el marco progenitor; cada marco se identifica con un nombre, consignándose el padre en el caso de herencia simple o los padres si la herencia es múltiple. Luego se listan los pares: *atributo_j / valor_j*, con $j = 1, 2, \dots, n$, tal como muestra el esquema de la **Fig. MM - 13**. Puede suceder que para determinados atributos dentro de un marco, no hayan sido definidos sus correspondientes valores; consiguientemente, el sistema experto o bien algorítmico al realizar la búsqueda, debe ascender al nivel superior y así sucesivamente hasta encontrar un valor. Como por razones operativas, son recomendables los sistemas de búsqueda que ascienden sólo un nivel, se apela al empleo de *demons*; los hay del tipo *if needed* y del tipo *if added*. Cuando el valor está ausente (\emptyset) y es necesario (*if needed*), estos *demons* lo agregan, ingresando un valor por defecto o bien empleando para ello, un sistema experto de tamaño reducido. Si el atributo requerido no existe (), se recurre al *demon if added*, que puede tratarse como una interfase con el usuario, que adiciona el atributo y su correspondiente valor.

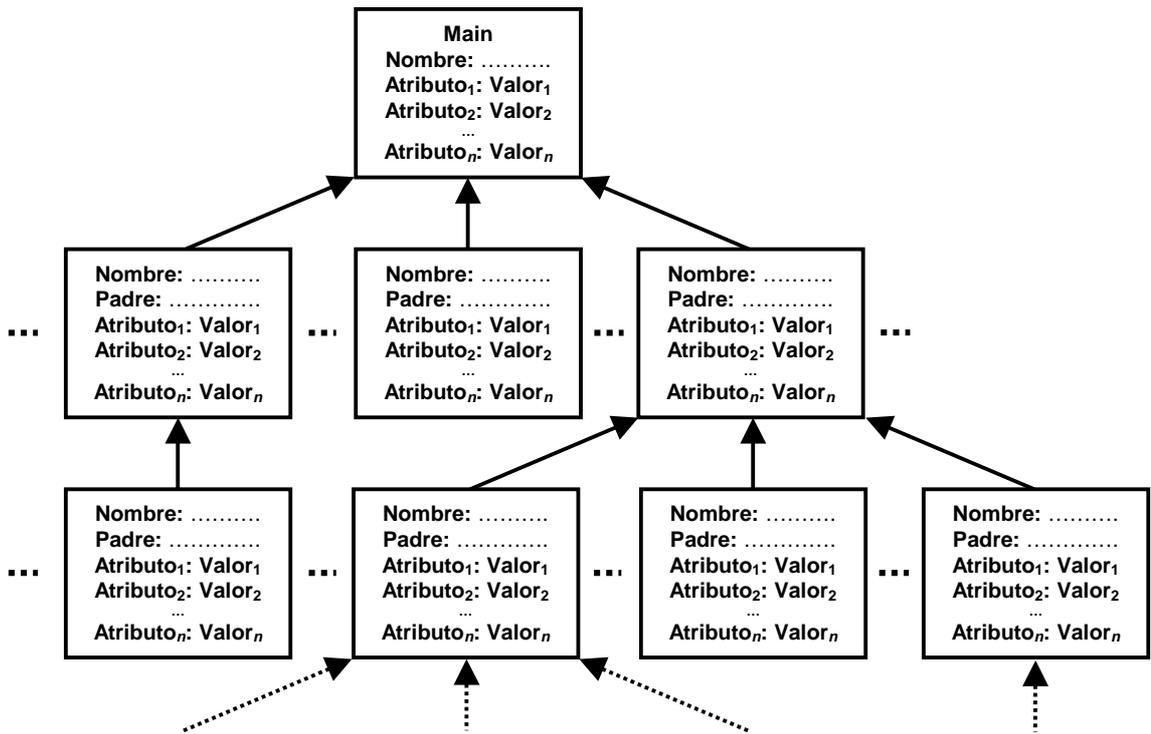


Fig. MM – 13 - ESTRUCTURA JERÁRQUICA, BASADA EN MARCOS PARA REPRESENTAR EL CONOCIMIENTO

El diagrama siguiente (Fig. MM - 14) muestra un caso de *herencia múltiple*. Se consignan solamente dos *niveles*:

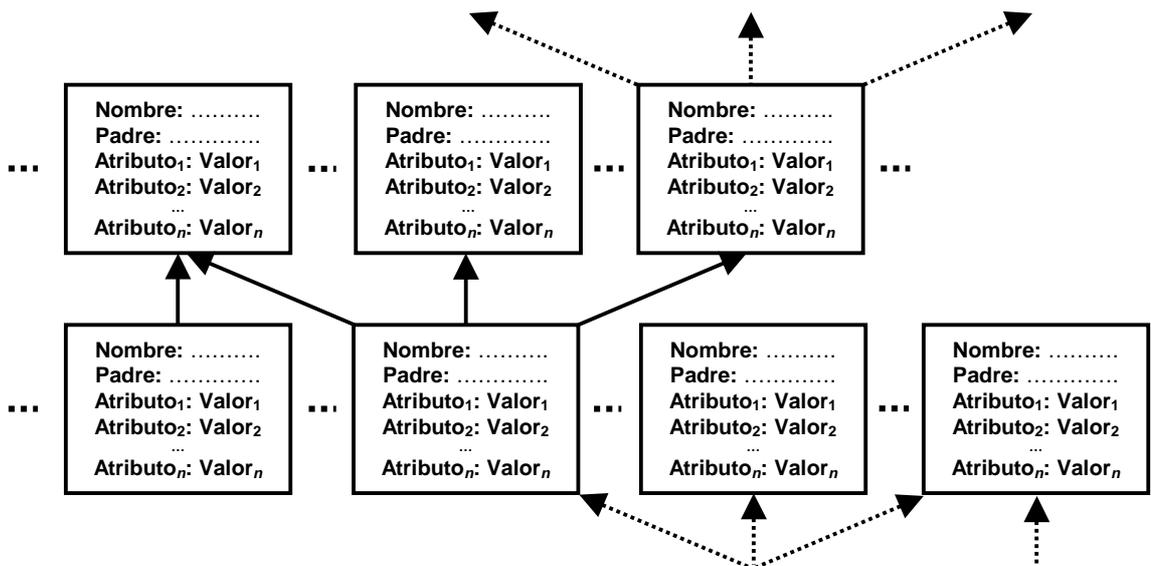


Fig. MM – 14 - ESTRUCTURA JERÁRQUICA BASADA EN MARCOS, PARA UN CASO DE HERENCIA MÚLTIPLE

La representación del conocimiento basada en marcos, es una relación de orden total; por consiguiente, sin lazos de realimentación. En caso de emplearse lazos, la relación es de orden parcial y la vinculación jerárquica, prevalece sólo localmente. Si un marco tiene más de un progenitor en el nivel inmediato superior (vinculación horizontal), tal como muestra la Fig. MM – 15, se plantea una situación de conflicto que debe ser resuelta (resolución del conflicto).

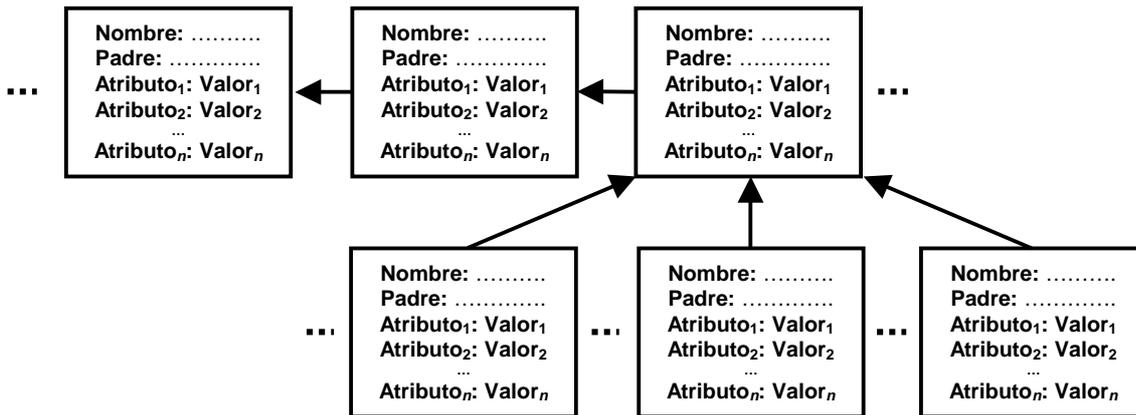


Fig. MM – 15 - SITUACIÓN DE CONFLICTO QUE SE PLANTEA CUANDO UN MARCO TIENE MÁS DE UN PROGENITOR EN EL NIVEL INMEDIATO SUPERIOR; OCURRE VINCULACIÓN HORIZONTAL

La herencia múltiple se visualiza empleando el símil de la esfera, con el nivel actual ubicado en su centro y la generación inmediata anterior de padres de importancia equivalente, sobre su superficie. Se tiene para varias generaciones un conjunto de superficies esféricas concéntricas, como con las cáscaras de la cebolla.

5. - RESULTADOS

Este capítulo, se organiza en tres secciones: Sistema Informático; Modelo Estructural Interpretativo de la Generación de Modelos Ambientales y Representación del Conocimiento, basada en Redes Semánticas. En la primera se describen los programas computacionales, cuyos Códigos Fuente en Lenguaje C++ y Mensajes de Error para el Usuario, se presentan en el apéndice correspondiente (**CÓDIGOS FUENTE EN LENGUAJE C DEL SISTEMA INFORMÁTICO DE CLASIFICACIÓN Y ORDENAMIENTO DE LOS ELEMENTOS OBJETO DE MODELIZACIÓN ESTRUCTURAL INTERPRETATIVA Y MENSAJES DE ERROR PARA EL USUARIO**); en la segunda, se enuncian los elementos constitutivos, identificados en la realidad objeto de análisis, descripción y representación gráfica y se presenta el grafo orientado o digrafo, resultante de la modelización estructural interpretativa, reemplazándose los códigos numéricos de los elementos, por sus rótulos descriptores y en la tercera, se muestran los diagramas de bloques correspondientes a la representación del conocimiento, empleando redes semánticas.

5. 1. - Sistema Informático: para encarar la modelización estructural, se ha desarrollado un sistema que facilita la construcción de la matriz de alcanzabilidad; éste realiza la partición empleando un elemento pivote y asignando los $(n - 1)$ elementos restantes a los subconjuntos *Nonfeedback*; *Feedback*; *Vacancy* y *Drop*. Tal como se expresó en el capítulo de **MATERIALES Y MÉTODOS**, varias entradas pueden inferirse por transitividad y las submatrices ubicadas sobre la diagonal principal – con excepción de la $\mathbf{F}_F(p_i)$, cuyas entradas son todos unos –, tratarse con idéntico procedimiento. El algoritmo interactivo e iterativo, se describe en el parágrafo siguiente.

El producto informático está diseñado para correr sobre el sistema operativo MS Windows, pudiendo ser adaptado fácilmente al sistema multiusuario, multitarea UNIX. Fue desarrollado empleando las herramientas de programación de InterSoft Argentina S. A. Consta de un Menú Principal que se invoca con el comando "mei", y de siete programas o ítems, cuatro de los cuales generan salidas por impresora.

Por cuestiones de diseño, el sistema puede trabajar con un número máximo de 500 elementos. Las pantallas y los formularios de impresión permiten códigos de hasta tres dígitos. Las pantallas multipágina pueden mostrar hasta 500 elementos presentados en cincuenta páginas de diez renglones cada una. Se puede efectuar la partición inicial y hasta diez sub-particiones sucesivas. Si el elemento de partición de cada nivel es elegido cuidadosamente, la cantidad de particiones que permite el sistema supera las realmente necesarias para ordenar los 500 elementos. Debajo del Menú Principal y de cada pantalla figura una línea de ayuda indicando los comandos que son accesibles al usuario. Estos comandos se enuncian en la página siguiente.

- Enter : Para ejecutar un programa desde el Menú Principal y para dar entrada a la información después de haber sido indicada en el campo correspondiente de la pantalla.
- Esc : Para limpiar la pantalla y prepararla para mostrar nueva información. Si se digita cuando la pantalla está limpia, se abandona el programa y se vuelve al Menú Principal. Si se tecldea Esc desde el Menú Principal se vuelve al sistema operativo.
- F1 : Para grabar la información ingresada por pantalla o para generar listados de impresión. Su función está indicada en la línea de ayuda de cada pantalla.
- F2 : Para dar de baja la información mostrada en pantalla.
- Page Up : Para pasar a la página anterior de la pantalla.
- Page Down: Para pasar a la página siguiente de la pantalla.
- Flechas : Para seleccionar las opciones del Menú Principal. Hacia arriba o hacia la izquierda sirven para subir el cursor. Hacia abajo o hacia la derecha permiten bajar el cursor.

5. 1. 1. - Descripción de los Programas:

Ingreso de Elementos: para dar de alta los elementos. En el campo elemento (obligatorio) se ingresa el código asociado al elemento a cargar. En el campo descripción larga (obligatorio) se ingresa la descripción del elemento. En el campo descripción corta (opcional) se ingresa una descripción abreviada del elemento. En el campo ubicación (no accesible al usuario) se exhibe la ubicación del elemento. Este campo se presenta vacío cuando se da de alta el elemento, pero cuando se efectúa una consulta muestra la ubicación actual del mismo. Con F1 se graba la información. Con F2 se borra el elemento. Con Esc se limpia la pantalla y digitando nuevamente Esc, se sale al Menú Principal.

Consulta de Elementos: para consultar la información de un elemento en particular. En el campo elemento (obligatorio) se ingresa el código del elemento que interesa. El programa presenta las descripciones larga y corta. En la columna nivel se muestra el nivel de la partición; en la columna conjunto, el conjunto de ese nivel en el que se encuentra el elemento. En la columna elemento de partición se muestra el código y la descripción larga del elemento de partición de ese nivel, en base al cual se clasificó el elemento consultado. En la columna elem./conj. se presenta el número de elementos que hay en el conjunto del elemento consultado (éste incluido). Con F1 se lista por impresora la información presentada en pantalla. Con Esc se limpia la pantalla para mostrar otro elemento y digitando nuevamente Esc se retorna al Menú Principal.

Partición de Conjuntos: para particionar los distintos conjuntos. En el campo ubicación del conjunto se ingresa el camino o *path* del conjunto a particionar. El programa consigna todos los elementos que se encuentran en ese conjunto. Si no se ingresa ningún camino, se muestran todos los elementos del conjunto inicial. El operador va ingresando en la columna conjunto, el conjunto en el que es ubicado cada elemento, además del elemento de partición. Con F1 se graba la información ingresada. Con Esc se limpia la pantalla para ingresar un nuevo camino y repitiendo Esc, se vuelve al Menú Principal. Con Page Up o Page Down se pasa a la página anterior o siguiente una vez completados todos los campos de la página actual. También se avanza automáticamente a la página siguiente cuando se da entrada al conjunto del elemento de la última línea de la pantalla. El programa puede exhibir hasta un máximo de 500 elementos presentados en 50 páginas de 10 líneas cada una.

Búsqueda de Conjuntos sin Particionar: permite buscar aquellos conjuntos que aún no están particionados, es decir, aquellos que no tienen elemento de partición ni los cuatro subconjuntos. En el campo conjunto se ingresa la inicial del tipo de conjunto a buscar. El programa lista todos los conjuntos pendientes y la cantidad de elementos que hay en cada uno. Puede presentar hasta 500 caminos en 50 páginas de 10 líneas cada una. Con F1 se emite el listado de la información solicitada. Con Esc se limpia la pantalla para iniciar una nueva búsqueda y presionando nuevamente Esc, se retorna al Menú Principal. Con Page Up y Page Down se pueden consultar las páginas anteriores y siguientes en caso de haberlas.

Consulta de Conjuntos Ordenados: para consultar determinados conjuntos, donde los elementos se presentan ordenados sobre la base de la información ingresada hasta el momento. En el campo ubicación del conjunto se ingresa el camino del conjunto a ser consultado. Si no se ingresa el dato, se muestran todos los elementos del conjunto original. En la columna orden se muestra el orden que tiene el elemento en el conjunto consultado, en los campos cod. y descripción se presentan el código y la descripción larga de cada elemento; en la columna ubicación, se presenta el camino completo de cada uno. Con F1 se genera el listado por impresora de los elementos ordenados del conjunto consultado. Las otras teclas funcionan como se expresó precedentemente.

Listado de los Elementos Ordenados: permite generar el listado ordenado de todos los elementos teniendo en cuenta el camino de conjuntos que cada uno posee al momento del listado. El formulario de impresión muestra el orden, código, descripción y ubicación de cada uno de los elementos almacenados en el sistema. Con F1 se genera el listado y se retorna automáticamente al Menú Principal. Con Esc se abandona el programa sin emitir el listado.

Depuración de Conjuntos: para corregir uno o varios elementos de un determinado camino. Para ello es necesario depurar o borrar la información de particiones a partir del nivel inmediatamente anterior al de la corrección. En el campo depurar a partir de, se ingresa el camino a partir del cual se debe aplicar la depuración. Con F1 se realiza la operación y se retorna al Menú Principal una vez concluida ésta. Con Esc se vuelve al Menú Principal sin realizar la depuración. Si en el campo indicado se ingresa un asterisco ("*") se efectúa la depuración desde la partición inicial y los elementos quedan como si recién hubiesen sido dados de alta mediante el programa correspondiente.

5.1.2. - Elementos u Objetos del Proceso de Modelización: un listado de los elementos; entidades u objetos del proceso de modelización, considerados relevantes, se muestra alfabéticamente ordenado en la **Tabla R - 01**:

Tabla R - 01 – ELEMENTOS; ENTIDADES U OBJETOS DEL PROCESO DE MODELIZACIÓN

N°	ELEMENTO U OBJETO:	DESIGNACIÓN BREVE:
01	ACTUALIZACIÓN DE BASES DE DATOS	A B D
02	ADQUISICIÓN EXPERIMENTAL DE DATOS	A E D
03	AJUSTE, REFINAMIENTO Y ACTUALIZACIÓN DEL CONOCIMIENTO	A R A
04	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN Y REVISIÓN DE CONOCIMIENTOS	A I R
05	ANÁLISIS DE PRUEBAS Y RESULTADOS DEL MODELO	A P R
06	ANÁLISIS DE SENSITIVIDAD	A D S
07	CIENCIAS DE LA VIDA	C D V
08	CIENCIAS FÍSICAS	C F S
09	CODIFICACIÓN COMPUTACIONAL	C O C
10	COMPARTICIÓN DEL CONOCIMIENTO TÁCITO	C C T
11	COMUNICACIÓN DE UNA VISION DEL CONOCIMIENTO	C V C
12	CONOCIMIENTO CIENTÍFICO-TECNOLÓGICO	S T K
13	CONOCIMIENTO EXPLÍCITO	C E X
14	CONOCIMIENTO TÁCITO	C T A
15	CONSIDERACIÓN DE FACTORES ABIÓTICOS Y BIÓTICOS	C A B
16	CONSIDERACIÓN DE FACTORES SOCIOECONÓMICOS	C S E
17	CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO	C D P
18	CONSULTAS EN BASES DE DATOS	C B D
19	CONTEXTO Y/O MEDIO EXTERNO BENEFICIARIO DEL CONOCIMIENTO	C M E
20	CREACIÓN DE CONCEPTOS	C D C
21	CREACIÓN Y/O ADQUISICIÓN DEL CONOCIMIENTO	C A C
22	DEFINICIÓN DE PARÁMETROS	D D P
23	DIAGRAMA CONCEPTUAL; VARIABLES DE ESTADO Y PROCESOS	D V P
24	DISEÑO DE EXPERIMENTOS	D D E
25	DISPONIBILIDAD, CANTIDAD Y CONFIABILIDAD DE LOS DATOS	D C D
26	ECUACIONES	E C S
27	EVALUACIÓN Y CALIFICACIÓN DE LAS SOLUCIONES	E D S
28	GENERACIÓN DE UN CONJUNTO DE SOLUCIONES	G C S
29	GENERACIÓN DEL CONTEXTO ADECUADO	G C A
30	GLOBALIZACIÓN DEL CONOCIMIENTO LOCAL	G C L
31	GRUPO DE CONOCIMIENTO	G D C
32	INDIVIDUO COGNOSCENTE	I C O
33	JERARQUÍA DE METAS; OBJETIVOS Y SUB-OBJETIVOS	J M O
34	JUSTIFICACIÓN DE CONCEPTOS	J D C
35	LIMITACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL PROBLEMA	L E T
36	MANEJO DE CONVERSACIONES	M D C
37	MODELOS DE GESTIÓN DE SISTEMAS DE RECURSOS NATURALES	M R N
38	MODELOS DE LA INVESTIGACIÓN OPERATIVA	M I O
39	MODELOS DEL ANÁLISIS Y DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS	M A S
40	MODELOS DE OPTIMIZACIÓN	M D O
41	MODELOS DE SIMULACIÓN	M D S
42	MOVILIZACIÓN DE PROMOTORES DEL CONOCIMIENTO	M P C
43	MUESTREO PARA ADQUISICIÓN DE DATOS	M A D
44	NIVEL DE COMPLEJIDAD	N D C
45	NIVELACIÓN CRUZADA DE CONCEPTOS	N C C
46	OPERACIONES DE REVISIÓN	O D R
47	ORGANIZACIÓN COMO SUJETO DEL CONOCIMIENTO	O S C
48	OTRAS DISCIPLINAS (ECONOMÍA Y NEGOCIOS; EDUCACIÓN; ETC.)	O D S
49	PARÁMETROS ESPACIO-TEMPORALES	P E T
50	PRESCRIPCIONES ESTRATÉGICAS Y TÁCTICAS	E Y T
51	RE-CALIBRACIÓN DE 4 A 8 PARÁMETROS, SEGUN SENSITIVIDAD	R P S
52	RECONOCIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	R D P
53	RELEVAMIENTO DEL SISTEMA REAL	R S R
54	REPRESENTACIÓN; CODIFICACIÓN Y REGISTRO DEL CONOCIMIENTO	R C R
55	REQUERIMIENTO DE DATOS	R D S
56	REVISIÓN DEL MODELO	R D M
57	SUBSISTEMAS CONSIDERADOS	S C S
58	SUJETOS DEL CONOCIMIENTO	S D C
59	TRANSFERENCIA Y COMPARTICIÓN DEL CONOCIMIENTO	T C C
60	TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE DATOS	T E D
61	TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LAS CORRIDAS DE SIMULACIÓN	T E C
62	VALIDACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL MODELO	V A R
63	VERIFICACIÓN DEL MODELO	V D M

5.1.3. - Modelo Estructural Interpretativo: se emplea la Modelización Estructural Interpretativa (MEI), como estrategia basada en el álgebra matricial binaria y por ende, lógico-matemática, para ilustrar la correspondencia entre generación de modelos ambientales y gestión del conocimiento. Tal como se expresó en el capítulo de **MATERIALES Y MÉTODOS**, se sigue una secuencia de pasos, vinculados por transformaciones isomórficas (\Rightarrow), de modo que partiendo de un modelo mental, se alcanza el grafo orientado o digrafo, como se esquematiza en la **Fig. R - 01**:

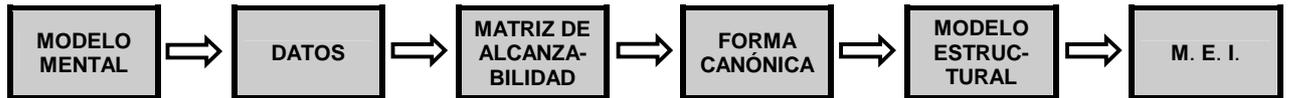


Fig. R - 01 - SECUENCIA DE PASOS VINCULADOS POR TRANSFORMACIONES ISOMÓRFICAS PARA PASAR DEL MODELO MENTAL AL MODELO ESTRUCTURAL INTERPRETATIVO (MEI)

La aplicación iterativa del procedimiento de Partición de Conjuntos, del Sistema Informático, conduce a un listado ordenado de elementos. Se han realizado sobre la Matriz de Alcanzabilidad las particiones: de la relación; de nivel; en digrafos separados; de L_k en subconjuntos disjuntos y fuertes y de los subconjuntos fuertemente conexos en S , con el propósito de obtener la Forma Canónica y finalmente el Modelo Estructural Interpretativo (**Fig. R - 02**).

Los sujetos del conocimiento o **SDC** {individuo cognoscente o **ICO**; grupo de conocimiento o **GDC**; organización como sujeto del conocimiento u **OSC** y contexto y/o medio externo beneficiario del conocimiento o **CME**}, poseen conocimiento tácito o **CTA**, que es el que disponen personal y privadamente los individuos cognoscentes y conocimiento explícito o **CEX**, que es el que se hace de dominio público, merced a su formalización-representación y transmisión (ver **APÉNDICE SOBRE EL CONOCIMIENTO COMO INSTRUMENTO DE CREACIÓN DE VALOR**). Estos sujetos del conocimiento o **SDC**, realizan la creación y/o adquisición del conocimiento o **CAC**; la representación; codificación y registro del conocimiento o **RCR**; la transferencia y compartición del conocimiento o **TCC** y el ajuste; refinamiento y actualización del conocimiento o **ARA**. Estos pasos del proceso de Gestión del Conocimiento, se dan en el marco de lazos de retroalimentación, tal como ilustra la **Fig. R - 03**.

El bloque ubicado inferiormente (*bottom block*) en la **Fig. R - 02** corresponde al conocimiento científico-tecnológico o **STK** (por *scientific and technological knowledge*, pues el acrónimo **CCT**, se ha empleado para compartición del conocimiento tácito) el que comprende tres sub-unidades: Ciencias de la Vida o **CDV**; Ciencias Físicas o **CFS** y Otras Disciplinas u **ODS**, empleando el criterio clasificatorio de la American Association for the Advancement of Science o AAAS. Se consideran pertinentes las consignadas en la **Tabla R - 02**.

Tabla R – 02 - CIENCIAS DE LA VIDA; CIENCIAS FÍSICAS Y OTRAS DISCIPLINAS QUE INTERVIENEN DIRECTAMENTE EN LA GENERACIÓN DE MODELOS AMBIENTALES**CIENCIAS DE LA VIDA O CDV:**

Anatomía – Morfología – Biomecánica;	Ecología;
Biología Celular;	Evolución;
Biología Molecular;	Farmacología – Toxicología;
Bioquímica;	Fisiología;
Botánica;	Genética;
Desarrollo;	Microbiología;

CIENCIAS FÍSICAS O CFS:

Ciencias Atmosféricas;	Geoquímica – Geofísica;
Computación – Matemática;	Ingeniería;
Física Aplicada;	Oceanografía;
Física;	Química.

OTRAS DISCIPLINAS U ODS:

Ciencia y Negocios;	Educación;
Ciencia y Política;	Historia – Filosofía de las Ciencias;
Economía;	Sociología.

El conocimiento científico-tecnológico o **STK**, guía las consultas en Bases de Datos o **CBD**; orienta en la tarea de Diseño de Experimentos o **DDE** y en las estrategias de Muestreo para la Adquisición de Datos o **MAD**.

El reconocimiento y descripción del problema y de problemas interconectados o **RDP**, incluye asimismo, la identificación de áreas de vacancia cognitiva en temas ambientales de interés. Se considera también en este bloque, la enunciación tentativa de parámetros espacio-temporales estimados relevantes; la acción ha sido caracterizada como definición de parámetros o **DDP** en la **Tabla R - 01**.

La limitación espacio-temporal del problema o **LET** define lo que en Termodinámica se interpreta como la superficie de control del sistema objeto de estudio-modelización, considerada durante un intervalo finito de tiempo. Al acotar el problema, se explicitan también, los subsistemas considerados o **SCS**.

El nivel de complejidad o **NDC**, se asocia con los contenidos del **APÉNDICE SOBRE COMPLEJIDAD Y RESTAURACIÓN AMBIENTAL. PROPUESTA CONCEPTUAL Y METODOLÓGICA PARA EL ESTUDIO FORMAL DE ECOSISTEMAS DOMINADOS POR EL HOMBRE**.

La exposición de una jerarquía de metas; objetivos y sub-objetivos o **JMO**, implica definir el fin al cual se tiende en la modelización, junto con los objetivos o lo que existe realmente fuera del sujeto que conoce y se procura alcanzar, en términos generales o particulares.

El relevamiento del sistema real o **RSR**, se realiza para atender el requerimiento de datos o **RDS**, lo que se satisface mediante la adquisición experimental de éstos o **AED**, por muestreo o bien, a partir de ensayos basados en el diseño de experimentos o **DDE**. Se incluyen en el bloque, las operaciones de consulta y registro o actualización de Bases de Datos o **ABD** y las búsquedas en otras fuentes de información.

La disponibilidad, cantidad y confiabilidad de los datos o **DCD** y el análisis de la información y la revisión de conocimientos o **AIR**, se reúnen en un bloque de la **Fig. R – 02**. A partir de la definición del problema objeto de investigación y de la formulación de hipótesis, puede elaborarse un diagrama conceptual de los procesos en que intervienen las variables de estado. El bloque es identificado con la designación breve de **DVP**, por diagrama conceptual; variables de estado y procesos.

En beneficio de la claridad conceptual, se agrupan en un bloque diversas operaciones matemáticas, ligadas a la estimación de parámetros espacio-temporales o **PET**; a la formalización mediante ecuaciones o **ECS**, de modelos propios de la Investigación Operativa o **MIO**; del Análisis y de la Dinámica de Sistemas o **MAS**; del Tratamiento Estadístico de Datos o **TED**; de la Optimización o **MDO**; de la simulación o **MDS**; etc. Los modelos ambientales, descriptivos y/o interpretativos de los sistemas reales a los que se refieren, una vez codificados computacionalmente o **COC**, tienen el propósito de servir en la gestión de recursos naturales, respaldando estrategias y tácticas de manejo o de acción-intervención, a partir de las prescripciones que de ellos pueden inferirse.

La verificación del modelo o **VDM**, es una comprobación de la bondad de sus salidas o resultados, empleando nuevos datos o valores de las variables de estado, de la misma realidad a partir de la cual, inicialmente se calibraron los parámetros. Los resultados de las corridas de simulación, se obtienen asignando valores aleatorios a las variables de estado, considerando sus particulares distribuciones de probabilidad. Se aplica una transformación inversa sobre las funciones de distribución, para generar valores aleatorios de las variables de estado; para ello, se utiliza la propiedad de ser la imagen de las funciones de distribución el intervalo $0, 1$, inferiormente abierto o cerrado; superiormente abierto o cerrado; es decir: $0 \leq F(x) \leq 1$. Los resultados obtenidos en las corridas de simulación, se tratan estadísticamente o **TEC**. Al conjunto de pruebas verificadoras, se lo identifica como de revisión del modelo o **RDM**.

El análisis de sensibilidad o **ADS**, permite conocer para qué parámetros del modelo, las salidas o respuestas difieren significativamente. Esto equivale a obtener diferencias amplias en los resultados, con cambios reducidos en los valores de los parámetros. Como consecuencia del análisis previo, normalmente se recalibran de cuatro a ocho parámetros o **RPS**, con respecto a los cuales el modelo del sistema es más sensitivo. Se realizan experimentos con el modelo, generándose un conjunto de soluciones o **GCS**; analizándose las pruebas y resultados o **APR**, evaluándose y calificándose las soluciones **EDS**. La validación y análisis de los resultados del modelo o **VAR**, implica la utilización de datos externos, provenientes de un período con condiciones ambientales y en particular climáticas, diferentes.

Las acciones precedentes, elementos u objetos del proceso de modelización, están sujetas en general, a lazos de realimentación, asociados a operaciones de revisión, designadas por **ODR**. Las recomendaciones y prescripciones estratégicas y tácticas o **EYT**, se hacen para aplicar el modelo en condiciones espacio-temporales, abióticas y bióticas o **CAB** y socioeconómicas o **CSE**, específicas.

Los modelos de gestión de sistemas de recursos naturales o **MRN**, constituyen el propósito del proceso metodológico desarrollado. Éste se ilustra en la **Fig. R - 02 - MODELIZACIÓN ESTRUCTURAL INTERPRETATIVA DE LAS RELACIONES ENTRE ENTIDADES (OBJETOS Y PROCESOS) ASOCIADOS A LA GENERACIÓN DE MODELOS AMBIENTALES**. La **Fig. R – 03**, muestra un lazo de retroalimentación abarcativo o inclusivo de los pasos o etapas inherentes al proceso de gestión del conocimiento.

5.1.4. - Modelización Estructural Interpretativa de las Relaciones entre Entidades (Objetos y Procesos) Asociadas a la Generación de Modelos Ambientales:

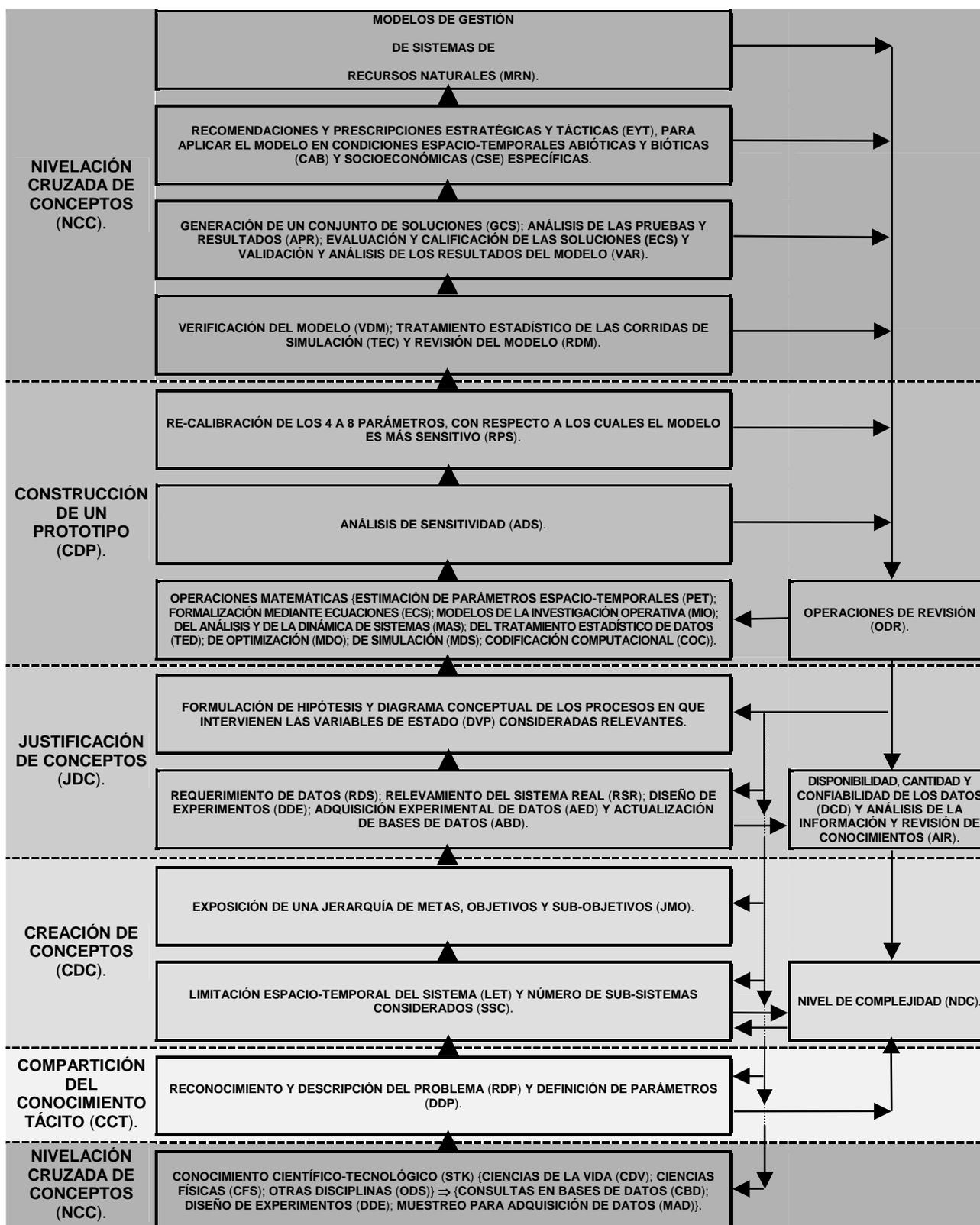


Fig. R - 02 - MODELIZACIÓN ESTRUCTURAL INTERPRETATIVA DE LAS RELACIONES ENTRE ENTIDADES (OBJETOS Y PROCESOS) ASOCIADOS A LA GENERACIÓN DE MODELOS AMBIENTALES

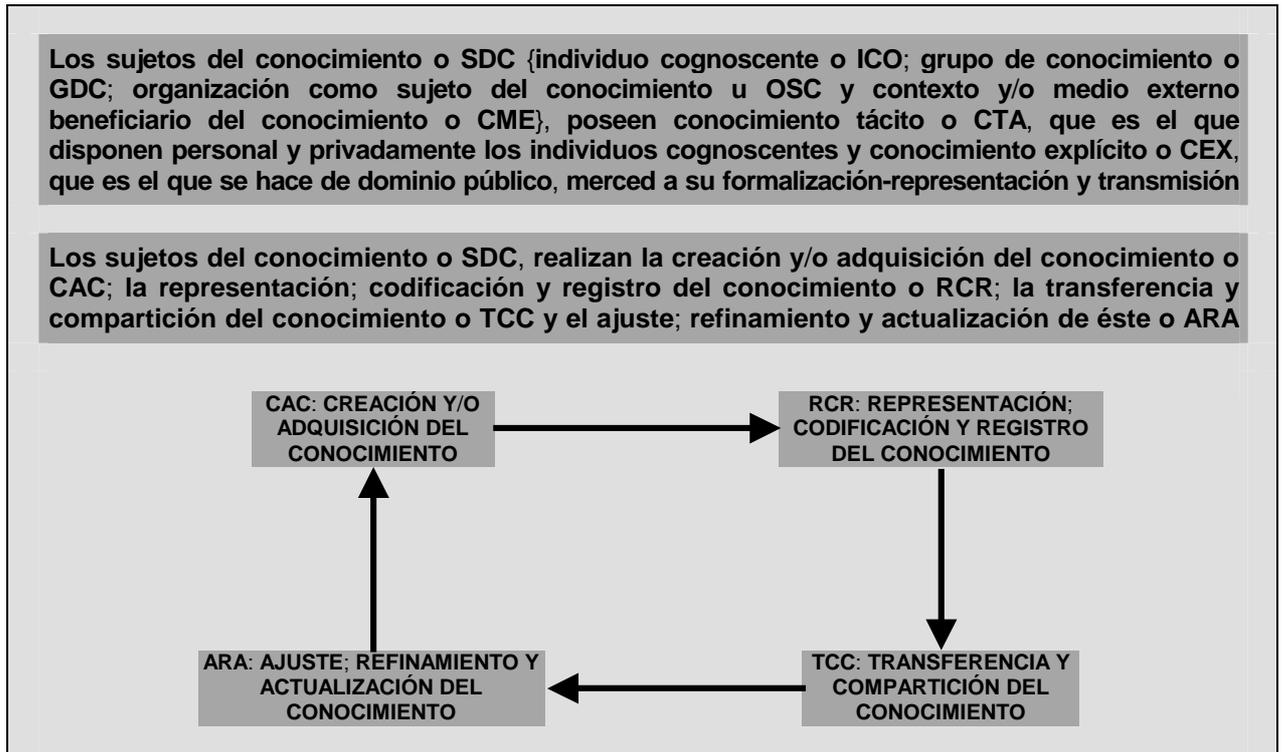


Fig. R - 03 - LAZO DE RETROALIMENTACIÓN ABARCATIVO O INCLUSIVO DE LOS PASOS O ETAPAS INHERENTES AL PROCESO DE GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO

La **Fig. R - 04**, basada en una reproducción del Hombre del arquitecto romano Marco Vitrubio Polión (siglo I a. de J. C.), hecha por Leonardo da Vinci, ilustra las cinco acciones que facilitan la creación de conocimientos: (1) comunicación de una visión del conocimiento (**CVC**); (2) manejo de conversaciones (**MDC**); (3) movilización de promotores del conocimiento (**MPC**); (4) generación de un contexto adecuado (**GCA**) y (5) globalización del conocimiento local (**GCL**).

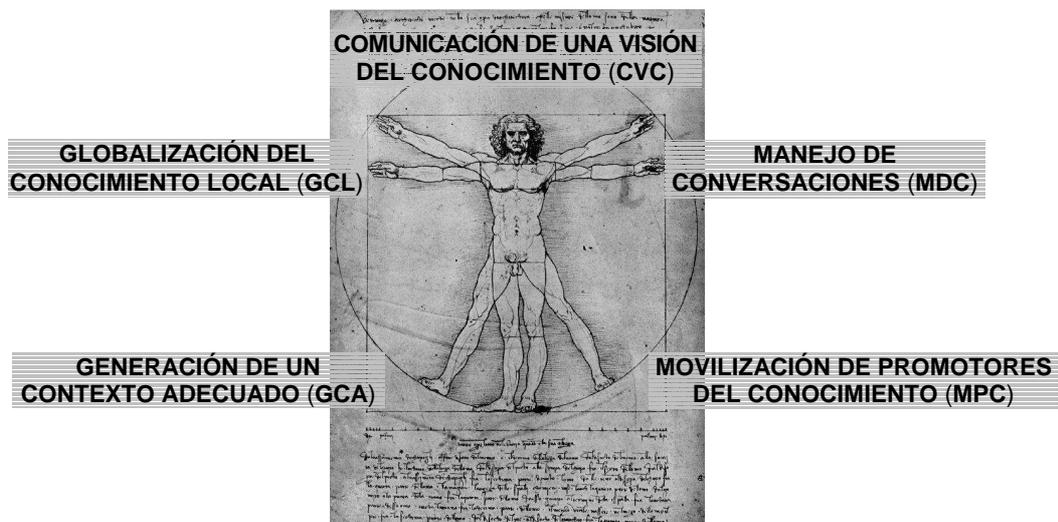


Fig. R - 04 - EL HOMBRE DE VITRUBIO Y LAS ACCIONES QUE FACILITAN EL CONOCIMIENTO

5. 2. - Representación del Conocimiento Mediante Redes Semánticas: bajo este encabezamiento, se representa el conocimiento asociado a diferentes aspectos del proceso evolutivo filogenético, de particular interés en relación con la generación de modelos ambientales. Se emplean diseños ascendentes o *bottom-up* para ilustrar las vías evolutivas y estructuras jerárquicas, de tipo *top-down*, organizadas en marcos (*frames*), con propósitos taxonómicos. En este caso, las flechas se dirigen hacia el marco progenitor; cada marco se identifica con un nombre, consignándose el padre en el caso de herencia simple. Se han listado los pares: atributo j / valor j , con $j = 1, 2, \dots, n$, adoptando la forma de comentario sintético; es decir, para el marco: Reino Monera, se consigna: células procarióticas, en lugar de atributo j : células / valor j : procarióticas. De modo similar, en el mismo marco, se anota, sin membranas nucleares, en vez de hacer atributo j : membranas nucleares / valor j : ausente; etc.

Por su valor conceptual y científico, precediendo a las propuestas de representación del conocimiento, basadas en diferentes diseños de redes semánticas, se desarrollan contenidos teóricos específicos, vinculados con la generación de los modelos ambientales que se incluyen en los apéndices: **FUNCIONES SIGMOIDEA Y LOGÍSTICA; NO-LINEALIDAD; BIFURCACIONES Y CAOS; MODELO DE INTERACCIONES TRÓFICAS EN UNA CADENA ALIMENTARIA LACUSTRE; QUASI-LINEALIZACIÓN; MODELOS A PARTIR DE MODELOS: ANÁLISIS NUMÉRICO DEL PROCESO DE COLMATACIÓN DEL EMBALSE DE TERMAS DE RÍO HONDO, BASADO EN UN MODELO HIDRÁULICO REDUCIDO; COMPLEJIDAD Y RESTAURACIÓN AMBIENTAL. PROPUESTA CONCEPTUAL Y METODOLÓGICA PARA EL ESTUDIO FORMAL DE ECOSISTEMAS DOMINADOS POR EL HOMBRE;** etc.

5. 2. 1. - Cianobacterias (*Cyanophyta*): constituyen formas primitivas en el proceso evolutivo hacia las plantas eucariotas, según la Teoría Endosimbionte. Se las clasificó inicialmente como algas¹. Las cianobacterias son los ancestros de los cloroplastos de las células vegetales (Koning, R. E., 1994).

Los 4,5 mil millones de años de antigüedad de la Tierra, pueden dividirse en dos etapas; la Era Precámbrica que abarca algo menos de los primeros 4 mil millones de años, con dominancia de procariotas y la Era Fanerozoica, desde hace algo más de 500 millones de años, en que los eucariotas multicelulares se hicieron los organismos dominantes. La Era Precámbrica es la del Reino Procariota; se divide en la Era Arcaica (entre 4,5 mil millones de años atrás y 2,5 mil millones de años atrás; es el período de las Bacterias Arcaicas o Arquibacterias) y la Era Proterozoica (entre 2,5 mil millones de años atrás y 500 millones de años atrás; es el período de las Cianobacterias).

¹ Las algas son plantas simples, clorofílicas pertenecientes a la división de las talofitas. Su clasificación se basa en sus diferentes características, tales como la naturaleza de las células móviles (flagelos), composición química de las reservas nutritivas acumuladas y pigmentos que poseen. Las clases en que se distribuyen son: cianofíceas (algas azules), identificadas con propiedad como cianobacterias; euglenofíceas; clorofíceas (algas verdes); crisofíceas; pirrofíceas; feofíceas (algas pardas) y rodofíceas (algas rojas). Pueden vivir en aguas dulces o saladas, libres o fijadas a superficies sumergidas; en suelos húmedos; paredes; troncos; nieve y fuentes termales. También pueden ser epífitas o simbioses e incluso parásitas. Su estructura es muy variada; las hay unicelulares; pluricelulares; móviles; inmóviles; etc.; suelen ser de tamaño microscópico y de contorno distinto y viven agrupadas en colonias o cenobios, filamentosos, esféricos o planos. Las unicelulares y otras de mayor tamaño que flotan libremente constituyen una parte importante del plancton. Las pluricelulares son de tamaño variable y con las células ordenadas de un extremo a otro formando filamentos continuos o ramificados, como un tejido, parecido al parénquima de las plantas superiores. Su tamaño varía desde longitudes microscópicas a las que miden cientos de metros. En las algas se observa mayor diversidad de estructuras que en cualquier otro grupo de plantas. Son frecuentes los tipos filamentosos y membranosos. Las algas verdes, pardas y rojas presentan todos los ejemplos de filamentos entrelazados para formar plantas masivas de forma específica. Estos grupos poseen formas de crecimiento organizado, productoras de tejidos especializados menos complejos que los de las plantas vasculares y organizados de diferente modo. Sus células contienen fundamentalmente celulosa y gelatinas pépticas; sólo las especies móviles más simples carecen de paredes definidas. Muchas de ellas, acumulan carbonato cálcico en sus tejidos. Las algas presentan una diferencia relativamente pequeña en sus tejidos y carecen de tejido leñoso, de floema y de otros tejidos característicos de las plantas superiores. No tienen verdaderos tallos, raíces y hojas. Se reproducen asexualmente (las unicelulares, por división o constricción y las pluricelulares por esporas inmóviles o zoosporas móviles) y también sexualmente, por medio de gametangios en los que se producen células sexuales (Madigan, M. T.; J. M. Martinko and J. Parker, 2002). El noventa por ciento del anhídrido carbónico que es absorbido por las plantas del planeta en su función clorofílica, es transformado mayoritariamente por algas marinas.

Las primeras manifestaciones de vida, aparecieron hace 3,5 mil millones de años y las Cianobacterias, lo hicieron, hace 3 mil millones de años. Como resultado de su metabolismo, el oxígeno gaseoso, se incorpora a la atmósfera, hace 2,5 mil millones de años. El proceso evolutivo, acompaña el cambio de las condiciones ambientales y los seres eucariotas, surgen hace 2 mil millones de años, para hacerse dominantes, en la Era Fanerozoica, tal como se expresó, hace aproximadamente 500 millones de años. Durante la Era Arcaica (Precámbrico), la atmósfera terrestre fue anaeróbica; es decir, desprovista de oxígeno gaseoso (O_2) y los primeros organismos fueron probablemente, similares a los que actualmente se conocen como Bacterias Arcaicas o Arquibacterias. Son células procariotas, sin núcleo; sin cloroplastos; sin mitocondrias; sin vacuolas; etc. Emplearon caminos metabólicos que les permitieron captar energía; fijar carbono; obtener nitrógeno; etc. Hoy se las encuentra en aguas termales; en episodios geotérmicos del fondo marino y en ambientes hostiles. Los fósiles más antiguos (microfósiles y estromatolitos), hallados en rocas sedimentarias, con más de 3 mil millones de años, muestran las formas ancestrales de las modernas Bacterias Arcaicas o Arquibacterias.

Las cianobacterias (*Phylum Cyanophyta*), organismos asociados a la eutrofización del Embalse Frontal de Termas de Río Hondo, Provincias de Santiago del Estero y de Tucumán, República Argentina, aparecen aproximadamente, hace 2,8 mil millones de años. Fueron los primeros organismos dominantes que emplearon la fotosíntesis oxigénica. La innovación evolutiva fue el sistema fotosintético II, con capacidad para desdoblar el agua y emplear sus electrones y protones en el proceso fotosintético. Como una consecuencia de esta nueva reacción, se produjo oxígeno gaseoso (O_2) en abundancia, cambiando la atmósfera terrestre. Conforme las Cianobacterias incrementaron el oxígeno atmosférico, el hierro en los sedimentos superficiales se oxidó produciendo óxido férrico rojo con cambio en el color de los sedimentos. Las cianobacterias modificaron las condiciones imperantes en la superficie terrestre e indujeron el cambio evolutivo asociado a los procesos bioquímicos de la respiración oxidativa, hace 2,5 mil millones de años. Este cambio determina el final de la Era Arcaica del Precámbrico.

La Era Proterozoica, es la Era de las Cianobacterias (*Cyanophyta*). Tal como se anotó, cambiaron la composición de la atmósfera terrestre y el color de los sedimentos. Crecieron dando lugar a los actuales estromatolitos fósiles del fondo oceánico. Dominaron las aguas superficiales, hasta tanto fueron desplazadas por los organismos eucariotas. Como se comentó, las cianobacterias dominaron la ecósfera entre 2,5 mil millones de años atrás y 500 millones de años atrás, lo que abarca 2 mil millones de años de desarrollo terrestre y consiguientemente, el más prolongado período de dominancia (más de la mitad de la duración de la vida sobre la Tierra). Generaron una atmósfera con aproximadamente 20 % de O_2 , permitiendo la evolución de las plantas modernas y de los animales. El ozono producido en la atmósfera superior, a partir de reacciones químicas del oxígeno liberado por la fotosíntesis cianobacterial, proporciona una pantalla a la radiación ultravioleta y es por ello, un estabilizador de las mutaciones. Las cianobacterias adecuaron el ambiente para la biodiversidad y la estabilización de la vida; las endosimbiontes, evolucionaron para convertirse en los cloroplastos de las algas eucariotas y de las plantas superiores.

La pared celular de las cianobacterias, es una estructura de cuatro capas; una interior que confina la célula; una segunda rígida (de color naranja en la **Fig. R - 05**), compuesta de mureína que es un peptidoglucano. Las capas externas (en amarillo), son de lipopolisacáridos. Algunas especies tienen una capa mucilaginoso (de color gris en la **Fig. R - 05**), que contribuye a mantener adheridas las células individuales en colonias o filamentos. La citoquinesis es un proceso iniciado en la membrana celular, seguido por un estrangulamiento que causa la división de una célula en dos. La pared celular está abierta en poros de 70 nm, que permiten la secreción de mucílagos y el movimiento de materiales. La membrana celular no difiere substancialmente de la de los eucariotas; es una estructura de tres capas. La externa y la interna (en rojo) son proteicas y la intermedia es de fosfolípidos (blanca). La innovación evolutiva de la membrana celular en cianobacterias, es su capacidad de invaginarse (en rojo) para crear un espacio (mesosomas) entre la membrana y la pared celular. Estas áreas de la membrana son ricas en proteínas encargadas de transferir electrones (fotofosforilación y fosforilación oxidativa). La membrana tilacoides (en gris azulado), tiene un sistema de transporte de electrones, necesario para las reacciones de fotosíntesis, en las que participa la clorofila- α . Los ficobilisomas (en gris azul) actúan como centros de reacción en la fotosíntesis, a manera de antenas de luz-energía.

La clorofila y la relativa abundancia de pigmentos de ficobilina (azul), explican el color verde azulado de las cianobacterias. El citoplasma o citosol entre las tilacoides, aloja pequeños granos de almidón cianoficeo, que es un carbohidrato polímero (gris plata en la **Fig. R - 05**), similar a la fracción amilopectina del almidón en las plantas superiores. La región central de la célula cianobacterial o centroplasma, es menos coloreada que el cromatoplasma; incluye el nucleóide o nucleoplasma que no debe confundirse con el núcleo celular verdadero. El nucleoplasma no tiene envoltura; es menos coloreado debido a la ausencia de tilacoides y contiene ADN circular o plásmidos. Éstos se hacen visibles por tinción (color lavanda en la ilustración). La transcripción y traducción del ADN, ocurre como en las eubacterias; la traducción se verifica en numerosos ribosomas (de color marrón). El análisis cladístico del rARN proporciona firme evidencia de que los cloroplastos son descendientes de las cianobacterias. Algunas de las proteínas traducidas por los ribosomas, son enzimas de fijación de carbono. Producidas con suficiente abundancia, forman los cuerpos poliédricos (de color amarillo en el esquema). Los gránulos de cianoficina (polímero compuesto por los aminoácidos arginina y asparagina) son estructuras de acumulación de proteínas (de color verde); los gránulos de polifosfatos, son productos de acumulación de fosfatos altamente polimerizados (de color azul en el esquema).

Las gotas de lípidos, son inclusiones de almacenamiento (de diferentes tamaños y de color negro en la ilustración). Las vacuolas de gas, no están confinadas por membranas, sino por tubos cilíndricos de proteína, lateralmente conectados (con forma de panal de abejas en el diagrama); son permeables al gas, mas no al agua. Las vacuolas aseguran flotabilidad a las células y los gránulos de almidón, hacen de lastre (balasto), permitiendo regular la posición de las cianobacterias en la columna de agua para optimizar los procesos de fotosíntesis y absorción de nutrientes.

Las cianobacterias son organismos esencialmente unicelulares, de hábitos terrestres y en este caso, prosperan cerca del agua, o bien acuáticos. Pueden tolerar la desecación por largos períodos merced a células de resistencia, llamadas akinetes o acinetos. Algunas viven en manantiales de aguas termales y otras como *Romera elegans* var. *Nivicola*, lo hacen en bancos de nieve. Las cianobacterias planctónicas son generalmente unicelulares y de pequeño tamaño, lo que facilita su flotación; se estima que realizan el 20 % de la producción fotosintética de los océanos. El centroplasma contiene también inclusiones en forma de vacuolas, no definidas por membranas lipídicas (de borde negro e interior blanco en el esquema). En algunos casos, una cubierta mucilaginosa (bordes grises en el diagrama), mantiene juntos individuos unicelulares, formando colonias. Las especies filamentosas pertenecientes a los órdenes *Stigonematales* y *Nostocales*, producen heterocistes, que son células del filamento adaptadas a la fijación de nitrógeno en medios aeróbicos, cuando disminuye el ión amonio (NH_4^+) en el ambiente. El nitrógeno es almacenado como cianoficina y son las células vegetativas, las que determinan la formación de heterocistes. Cuando en el medio aumenta la concentración de fosfatos solubles (condiciones de eutrofia), ocurre un aumento en la población de cianobacterias.

Un segundo tipo de células, mencionado previamente, es el akinete que tiene el aspecto de una célula que ha crecido sin dividirse. Acumula almidón de cianofíceas; gotas de lípidos para usos energéticos y cianoficina como fuente de nitrógeno. Los akinetes son también formas de resistencia que sobreviven en condiciones adversas, pudiendo permanecer en los sedimentos, por varios años y germinando como células vegetativas cuando el ambiente es favorable.

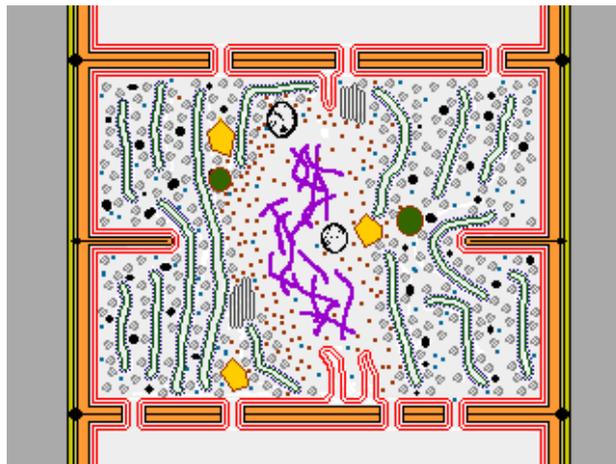


Fig. R – 05 – MODELO GRÁFICO DE LA ESTRUCTURA CELULAR DE UNA CIANOBACTERIA

La ramificación es otra forma de división del trabajo en cianobacterias filamentosas; puede ser de dos tipos: en *Nostocales* y *Oscillatoriales*, se tiene una falsa ramificación, donde las cadenas de células o tricomas son mantenidos juntos merced a una vaina. Una rotura en la cadena de células en el tricoma, produce una ramificación. En las *Stigonematales*, una célula simple se divide en dos direcciones, formando una ramificación verdadera, conectada. Las células llamadas esporas, son vegetativas y cumplen con funciones de dispersión; también lo hacen los nanócitos; las endósporas y las exósporas. Un fragmento multicelular de un tricoma, puede ser desprendido de una vaina como un hormogonio (Font Quer, P., 1982; Strasburger, E.; F. Noll; H. Schenk y A. F. W. Schimper, 1984).

Las relaciones evolutivas están mejor representadas por las nuevas clasificaciones, que por el sistema tradicional de dos reinos; el de las plantas y el de los animales (Whittaker, R. H., 1969) Conforme se desarrolla el conocimiento biológico, se hacen evidentes las dificultades para tratar los organismos unicelulares, con propiedades comunes a los dos reinos. Pueden sintetizarse los problemas clasificatorios, en relación con cuatro aspectos biológicos:

- 1) Los protistas, ejemplificados con el género *Euglena* como combinación de características vegetales y animales en organismos unicelulares, eventualmente forman colonias. En este reino donde sus individuos no exhiben diferenciación de tejidos, o mejor aún, formación de tejidos como integración de células, se incluyeron los hongos y la mayoría de las algas, excluyéndose las bacterias y las algas verde-azuladas;

- 2) Según E. Haeckel, el grupo *Monera*, subordinado al Reino Protista, comprende a las bacterias y a las algas verde-azuladas; éstas son funcionalmente plantas. Son protistas sin núcleo, que carecen de mitocondrias y plástidos; de membranas nucleares y huso mitótico; de retículo endoplasmático y aparato de Golgi; de vacuolas y flagelos evolucionados; etc. (De Robertis, E. D. P. y E. M. F. De Robertis, 1986). Los contrastes entre las células procarióticas de las bacterias y de las algas verde-azuladas, con las células eucarióticas de otros organismos, establecen una discontinuidad en el mundo viviente;
- 3) Los hongos, organismos no-fotosintéticos, instalados sobre un medio nutritivo, derivaron separadamente de los seres unicelulares. Los hongos inferiores, lo hicieron polifiléticamente de ancestros flagelados incoloros y los hongos superiores, como *Ascomycetes* y *Basidiomycetes*, de alguno de los grupos de hongos inferiores. En los más evolucionados, el protoplasma fluye por un sistema de tubos. Sus estructuras reproductivas difieren de las de las plantas superiores. Se los clasifica en el Reino *Protoctista*, o separadamente, en el Reino *Hongos*;
- 4) Los mecanismos nutricionales principales, son tres: fotosintético; absorptivo e ingestivo. Se corresponden con los productores (plantas); los reductores (saprófagos; ésto es, bacterias y hongos) y los consumidores (animales). La importancia de los reductores en los ciclos biogeoquímicos, excede la de los consumidores. En éstos, se observa la mayor evolución registrada en la Naturaleza, en términos de estructuras complejas diferenciadas, con tejidos altamente especializados de células sin pared, funcionando con elevados niveles metabólicos para soportar la actividad vital, controlada por mecanismos de regulación. La evolución se expresa finalmente en los comportamientos heredados y en la inteligencia humana.

Los reinos que define H. F. Copeland en su libro *The Classification of Lower Organisms* de 1956, son:

- 1) Reino *Mychota* o *Monera*: organismos unicelulares u organizados en colonias simples, sin núcleos o procarióticos. Comprende a las bacterias y a las algas verde-azuladas;
- 2) Reino *Protoctista*: organismos nucleados; eucariotas inferiores, sin las características de las plantas o de los animales. Incluye los protozoarios; las algas rojas y las pardas y los hongos;
- 3) Reino *Plantae*: organismos eucariotas; multicelulares, con cloroplastos en sus células. Los plástidos son de color verde brillante y contienen exclusivamente los pigmentos clorofila α ; clorofila β ; carotina y xantofila. Estos organismos producen azúcares; almidón y celulosa, verdaderos;
- 4) Reino *Animalia*: organismos eucariotas superiores; multicelulares que durante su desarrollo pasan por las etapas de blástula y gástrula. Son depredadores típicos, con tejidos sin pared celular y de alta complejidad estructural y funcional.

En el sistema de cinco reinos, se considera a los hongos como un tercer reino de organismos superiores, coordinado con las plantas superiores y los animales, ubicándose la línea divisoria entre ellos y el Reino *Protista* en la transición de unicelulares a multicelulares y multinucleados. Las algas superiores, se incluyen en el Reino *Plantae*. Se ha basado la clasificación, en tres niveles de organización: procariotas; eucariotas unicelulares y eucariotas multicelulares, multinucleados y tres direcciones evolutivas principales en relación con la nutrición: fotosintetizadores; absorbedores e ingestores. Estas direcciones filogenéticas, en el nivel de los organismos multicelulares, multinucleados, se expresan como divergencias evolutivas entre los tres reinos superiores. Éstos son polifiléticos, incluyendo cada uno, una línea evolutiva dominante hacia organismos superiores como el mayor subreino. En cada caso, los subreinos menores, son menos exitosos y presentan formas diferentes de organización (Whittaker, R. H., 1969).

La División o *Phylum Cyanophyta* puede incluir la División *Prochlorophyta*. Esta División comprende todos los procariotas de fotosíntesis oxigénica. Las cianofitas pueden ser divididas en dos clases. Las *Cyanophyceae* que incluyen todas las cianobacterias que poseen ficobilisomas y pigmentos de ficobilina. Las *Prochlorophyceae* comprenden las cianofíceas sin ficobilisomas ni pigmentos de ficobilina (Koning, R. E., 1994). La clase *Cyanophyceae* puede ser dividida en cinco órdenes: *Chroococcales*; *Pleurocapsales*; *Oscillatoriales*; *Nostocales* y *Stigonematales*:

El orden *Chroococcales* incluye cianobacterias unicelulares. En algunas especies, una envoltura mucilaginosa mantiene las células juntas, formando colonias. La dispersión ocurre por división celular; por formación de nanócitos o por brotación o gemación. Comprende los géneros *Cyanothece*; *Aphanothee*; *Merismopedia*; *Chroococcus*; *Gloeocapsa*; *Microcystis*; *Chamaesiphon* y *Eucapsis*.

El orden *Pleurocapsales* incluye formas unicelulares o pequeñas colonias. Algunas especies forman agrupaciones de células parenquimatosas con filamentos cortos adheridos. La dispersión se produce por división celular o mediante endósporas. Incluye los géneros *Cyanocystis*; *Chamaesiphon* y *Pleurocapsa*.

El orden *Oscillatoriales* comprende cianobacterias filamentosas que se dispersan formando hormogonios. Toda ramificación en los filamentos, es falsa. No se producen heterocistes ni akinetes. Comprende los géneros *Oscillatoria*; *Lyngbya*; *Microcoleus*; *Phormidium*; *Arthrospira* y *Spirulina*.

El orden *Nostocales* incluye cianobacterias filamentosas que se dispersan formando hormogonios. Toda ramificación en los filamentos, es falsa. Pueden producir heterocistes y akinetes. Abarca los géneros *Nostoc*; *Anabaena*; *Cylindrospermum*; *Aphanizomenon*; *Scytonema*; *Gloeotrichia* y *Rivularia*.

El orden *Stigonematales* incluye cianobacterias filamentosas que se dispersan formando hormogonios. Toda ramificación en los filamentos, es verdadera. Pueden producir heterocistes y akinetes. Abarca los géneros *Stigonema*; *Hapalosiphon* y *Fisherella*.

La clase *Prochlorophyceae* comprende el orden *Prochlorales* de cianobacterias sin ficobilisomas y con clorofila α y β ; consiguientemente, son de color verde-pasto. Los polisacáridos de almacenamiento son similares al almidón. Está ausente el péptido de almacenamiento cianoficina. Comprende los géneros *Prochloron*; *Prochlorococcus* y *Prochlorothrix* (Koning, R. E., 1994). La **Fig. R - 06** muestra ejemplares pertenecientes a la clase *Cyanophyceae*.

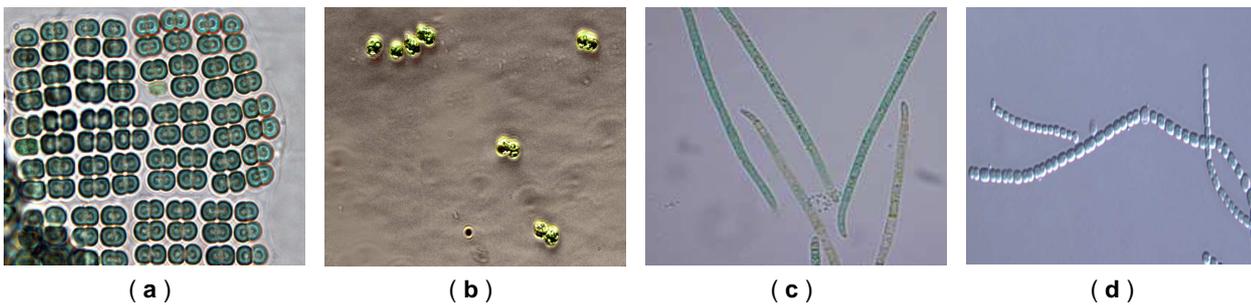


Fig. R - 06 - EJEMPLARES PERTENECIENTES A LA CLASE CYANOPHYCEAE: (a) MERISMOPEDIA SP.; (b) MICROCYSTIS AERUGINOSA; (c) OSCILLATORIA SP. Y (d) ANABAENA FLOS-AQUAE. FUENTES: CULTURE COLLECTION OF ALGAE (UTEX) - THE UNIVERSITY OF TEXAS AT AUSTIN, TEXAS, USA Y DIRECTORY OF ALGAL IMAGES - OHIO UNIVERSITY, ATHENS, OHIO, USA.

5. 2. 2. - Redes Semánticas del Tipo *Bottom-up*: la información precedente se emplea en la modelización gráfica del proceso evolutivo, correspondiéndose los marcos o *frames* con los reinos, los que se indican como celdas de una tabla de doble entrada. En ésta, las etiquetas de filas se refieren a características anatómicas, histológicas y citológicas. Se tiene una división principal entre procariontas y eucariotas (diferencia citológica) y dentro de los organismos eucariotas, en unicelulares y multicelulares (diferencia histológica). Las etiquetas de columnas atienden a los mecanismos nutricionales: fotosíntesis; absorción e ingestión.

La **Fig. R - 07**, ilustra un modo de representación del conocimiento, basado en la referida red semántica *bottom-up*. El primero y el último de los reinos (*Monera* y *Animalia*), son luego desagregados en redes semánticas del tipo *top-down*, cuyos marcos o *frames*, ubicados en el nivel inferior o *bottom level*, se corresponden con la categoría taxonómica *Phylum*. El concatenamiento hereditario se indica mediante flechas dirigidas desde hijos o generación filial a padres o progenitores. En el caso del Reino *Monera*, en mérito al interés que revisten las cianobacterias¹ en la modelización matemática de los procesos de eutrofización de lagos y embalses, el nivel inferior o *bottom level* de la red semántica, llega hasta Órdenes, con enunciación de Géneros.

¹ Organismos pancrónicos, pues apenas han variado a lo largo de 2700 millones de años, desde el Precámbrico a la fecha (ver apéndice sobre **CLAVE TENTATIVA DE ESPECIES DE MICROALGAS**). Revisten particular importancia en los episodios de "floreamiento algal" o *algae bloom* que se registran en el Embalse Frontal de Termas de Río Hondo, Provincias de Santiago del Estero y de Tucumán, Argentina, hacia el final de la zafra azucarera en que la contaminación por carga orgánica, alcanza los mayores valores, coincidiendo con el período de estiaje del sistema hidrológico Salí-Dulce, el que ocurre hacia fines del invierno, comienzos de primavera.

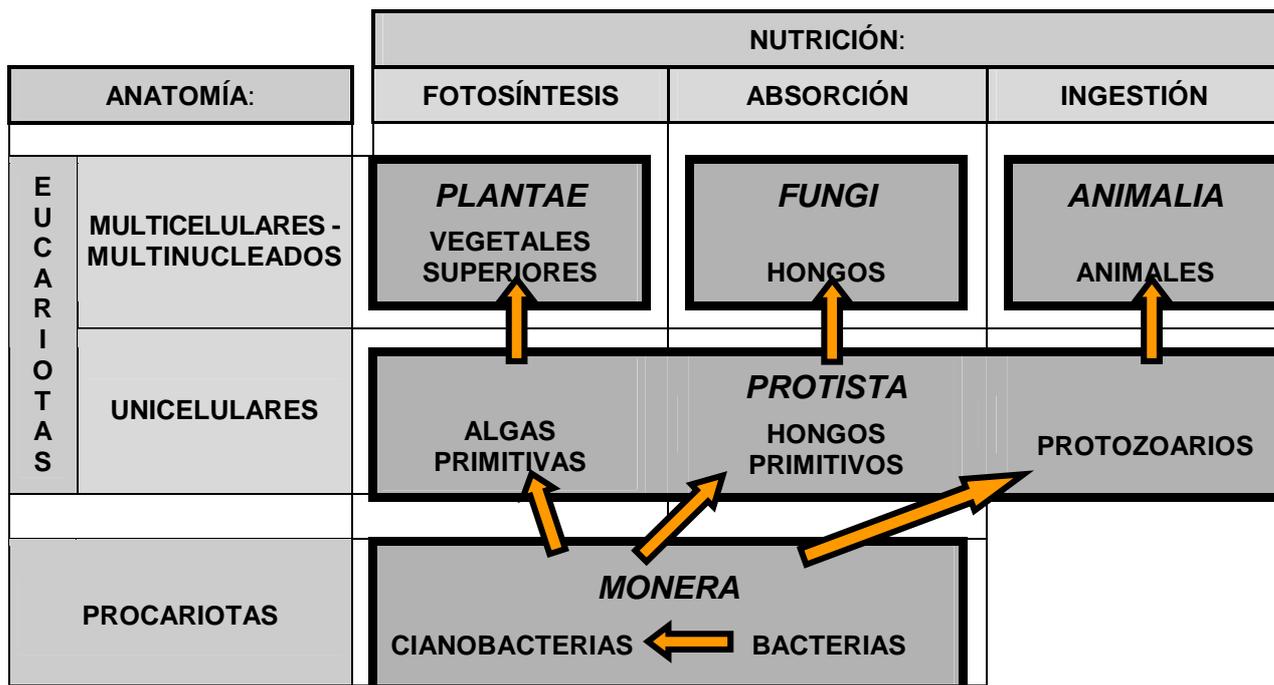


Fig. R - 07 - REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO, BASADA EN UNA RED SEMÁNTICA *BOTTOM-UP*, EN RELACIÓN CON EL PROCESO EVOLUTIVO ASOCIADO A LOS CINCO REINOS DE LA NATURALEZA (*MONERA*; *PROTISTA*; *PLANTAE*; *FUNGI* Y *ANIMALIA*). SE CONSIDERAN TRES NIVELES DE ORGANIZACIÓN (PROCARIOTAS; EUCARIOTAS UNICELULARES Y EUCARIOTAS MULTICELULARES Y MULTINUCLEADOS). EN CADA NIVEL SE PRESENTAN DIVERGENCIAS CON RESPECTO A TRES MODOS DE NUTRICIÓN (FOTOSINTÉTICO; ABSORTIVO E INGESTIVO). LAS FLECHAS INDICAN LA TENDENCIA O VÍA EVOLUTIVA

La ingestión no ocurre en el Reino *Monera* y los tres modos de nutrición, varían de manera continua a lo largo de las numerosas líneas evolutivas del reino *Protista*. En el nivel de los organismos multicelulares y multinucleados, las modalidades nutritivas, implican diferentes formas de organización, las cuales caracterizan a los tres reinos superiores: *Plantae*; *Fungi* y *Animalia*.

Las Figuras R - 08 y 09, representan redes semánticas de tipo *top-down*, correspondientes a la clasificación del mundo viviente desde Reino hasta *Phyla*, para los reinos *Monera* y *Animalia*, respectivamente. La categoría taxonómica *Phylum*, se ubica en los marcos o *frames* del nivel inferior o *bottom level*. Como se expresó, el concatenamiento hereditario se indica mediante flechas dirigidas desde hijos a padres. En el caso del Reino *Monera*, el nivel inferior o *bottom level* de la red semántica, llega hasta Órdenes, con enunciación de Géneros. Como se ha indicado precedentemente, por razones de claridad y sencillez, se han listado los pares: atributo j / valor j , con $j = 1, 2, \dots, n$, adoptando la forma de comentario sintético; es decir, para el marco: Reino *Monera*, se consigna: células procarióticas, en lugar de atributo j : células / valor j : procarióticas. De modo similar, en el mismo marco, se anota, sin membranas nucleares, en vez de hacer, atributo j : membranas nucleares / valor j : ausente; etc. Para el reino *Animalia*, se ejemplifica también, esta modalidad de representación cognitiva, ilustrando la ubicación evolutiva del Hombre (*Homo sapiens*), sujeto de la gestión del conocimiento.

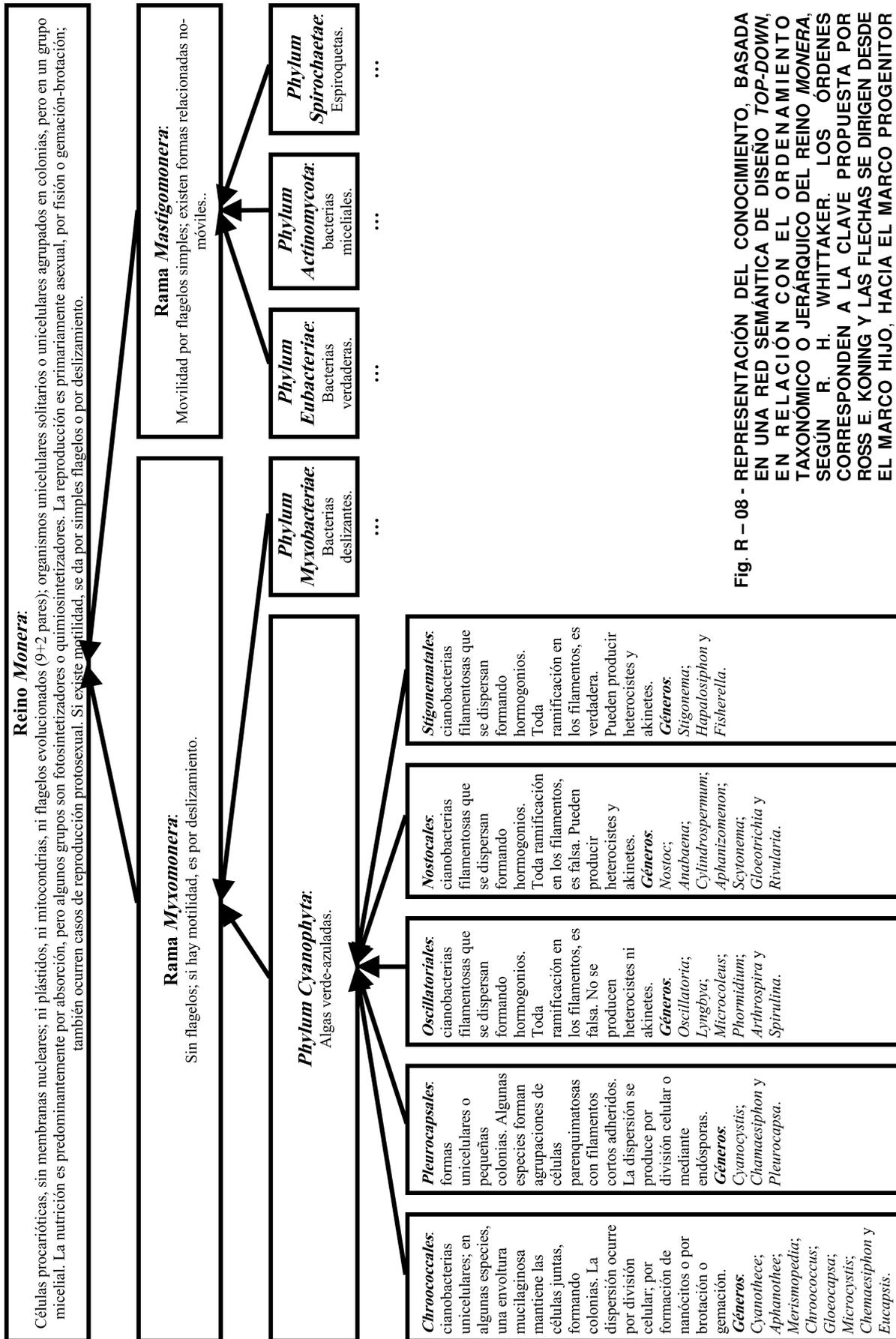


Fig. R - 08 - REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO, BASADA EN UNA RED SEMÁNTICA DE DISEÑO TOP-DOWN, EN RELACIÓN CON EL ORDENAMIENTO TAXONÓMICO O JERÁRQUICO DEL REINO MONERA, SEGUN R. H. WHITTAKER. LOS ÓRDENES CORRESPONDEN A LA CLAVE PROPUESTA POR ROSS E. KONING Y LAS FLECHAS SE DIRIGEN DESDE EL MARCO HIJO, HACIA EL MARCO PROGENITOR

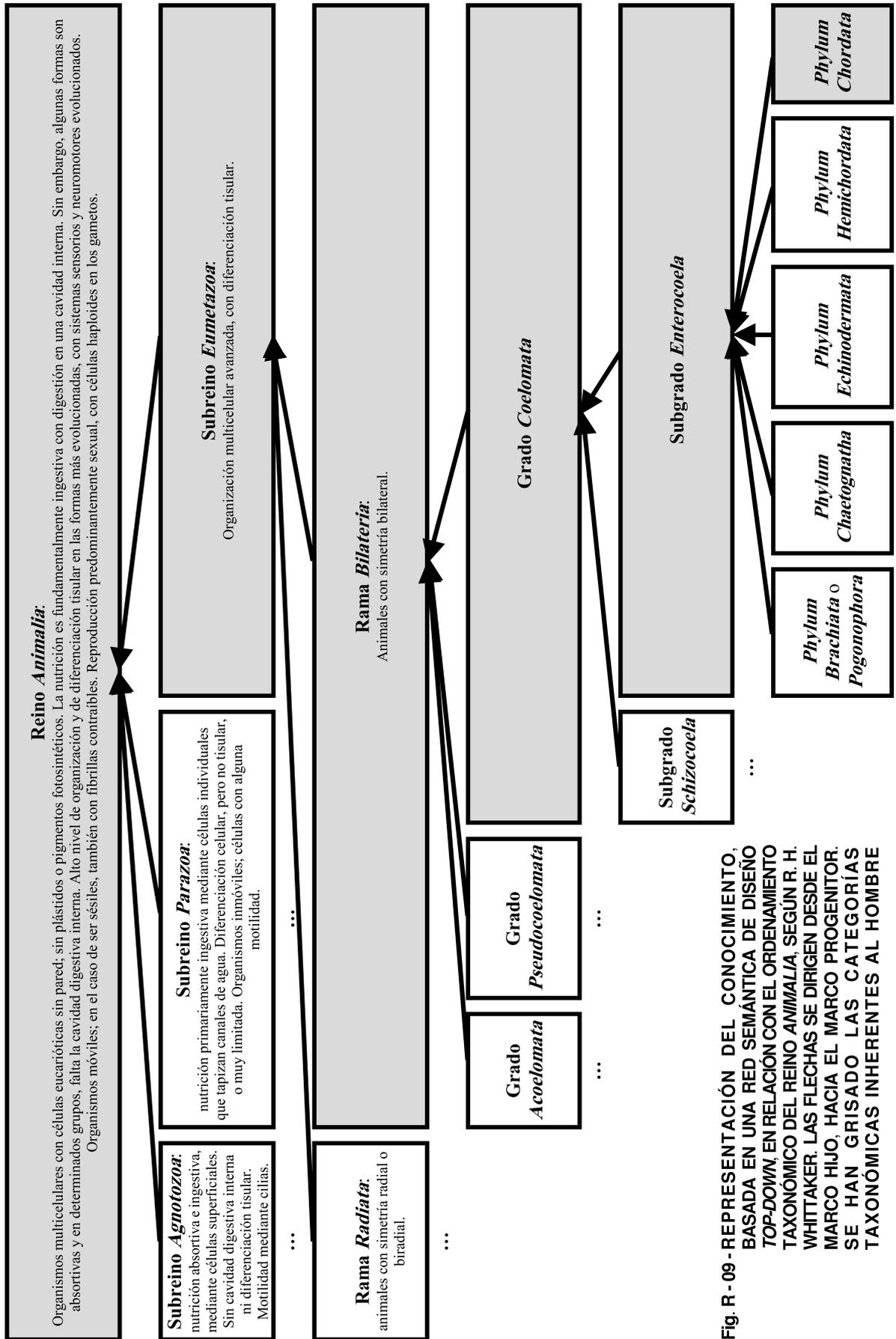


Fig. R - 09 - REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO, BASADA EN UNA RED SEMÁNTICA DE DISEÑO TOP-DOWN EN RELACIÓN CON EL ORDENAMIENTO TAXONÓMICO DEL REINO ANIMALIA, SEGÚN R. H. WHITTAKER. LAS FLECHAS SE DIRIGEN DESDE EL MARCO HIJO HACIA EL MARCO PROGENITOR. SE HAN GRISADO LAS CATEGORÍAS TAXONÓMICAS INHERENTES AL HOMBRE

5. 3. - Valor Instrumental y de Respaldo de los Apéndices: con el propósito de respaldar las afirmaciones que se formulan en el cuerpo principal de este documento, sin afectar su extensión y de desarrollar los contenidos de particular valor instrumental, se han incorporado cuatro capítulos de apéndices, sobre aspectos gnoseológicos; humanísticos; formales y biológicos. Se enuncian seguidamente los temas considerados:

5. 3. 1. - Aspectos Gnoseológicos:

- EL CONOCIMIENTO COMO INSTRUMENTO DE CREACIÓN DE VALOR;
- CONOCIMIENTO COTIDIANO Y CONOCIMIENTO CIENTÍFICO;
- REPRESENTACIÓN Y ORGANIZACIÓN DEL CONOCIMIENTO.

5. 3. 2. - Otros Aspectos Humanísticos:

- EL HOMBRE Y LA NATURALEZA;
- PROBLEMAS AMBIENTALES, ENFOQUE CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO;
- MARCO NORMATIVO LEGAL;
- EL NACIMIENTO DEL TIEMPO Y EL FIN DE LAS CERTIDUMBRES. TIEMPO, CAOS Y LAS LEYES DE LA NATURALEZA.

5. 3. 3. - Aspectos Formales:

- COMPLEJIDAD Y RESTAURACIÓN AMBIENTAL. PROPUESTA CONCEPTUAL Y METODOLÓGICA PARA EL ESTUDIO FORMAL DE ECOSISTEMAS DOMINADOS POR EL HOMBRE;
- ALGORITMOS GENÉTICOS;
- LÓGICA DIFUSA O BORROSA;
- ANALOGÍAS FÍSICAS;
- CAMPOS ESCALARES Y VECTORIALES;
- FUNCIONES SIGMOIDEA Y LOGÍSTICA, NO-LINEALIDAD, BIFURCACIONES Y CAOS;
- MODELO DE INTERACCIONES TRÓFICAS EN UNA CADENA ALIMENTARIA LACUSTRE;
- QUASI-LINEALIZACIÓN;
- ANÁLISIS NUMÉRICO DEL PROCESO DE COLMATACIÓN DEL EMBALSE DE TERMAS DE RÍO HONDO, BASADO EN UN MODELO HIDRÁULICO REDUCIDO³;
- MODELO ANALÓGICO-DIGITAL DE LA DIFUSIÓN DE CONTAMINANTES Y NUTRIENTES EN UN EMBALSE, EN CONDICIONES DE RÉGIMEN ESTACIONARIO⁴;
- BASES CONCEPTUALES Y METODOLÓGICAS PARA UN BALANCE COSTO-BENEFICIO AMBIENTAL Y SOCIAL;
- CÓDIGOS FUENTE EN LENGUAJE C DEL SISTEMA INFORMÁTICO DE CLASIFICACIÓN Y ORDENAMIENTO DE LOS ELEMENTOS OBJETO DE MODELIZACIÓN ESTRUCTURAL INTERPRETATIVA Y MENSAJES DE ERROR PARA EL USUARIO.

5. 3. 4. - Aspectos Biológicos:

- CLAVE TENTATIVA DE ESPECIES DE MICROALGAS.

³ Trátase de un modelo numérico obtenido a partir de un modelo físico; éste es, de un modelo a partir de un modelo, el que será objeto de análisis en el próximo capítulo sobre **ESTUDIO DE CASOS Y APLICACIONES EMPÍRICAS**.

⁴ Modelo numérico-gráfico obtenido a partir de un modelo físico electro-analógico; es un modelo obtenido a partir de un modelo, el que se tratará asimismo en el capítulo sobre **ESTUDIO DE CASOS Y APLICACIONES EMPÍRICAS**.

6. - ESTUDIO DE CASOS Y APLICACIONES EMPÍRICAS

6. 1. - Análisis Numérico del Proceso de Colmatación del Embalse de Termas de Río Hondo, Basado en un Modelo Hidráulico Reducido - Introducción: los Modelos Matemáticos, obtenidos a partir de la operación de Modelos Físicos, hidrológicos en escala reducida; electroanalógicos; etc., revisten interés práctico como estrategias indirectas, técnica y económicamente convenientes de generación de conocimientos (ver apéndice sobre **ANALOGÍAS FÍSICAS**). Se aprovechan las posibilidades de experimentación-intervención sobre dispositivos construidos respetando las Leyes de Semejanza, inherentes al Análisis Dimensional y se evitan riesgos ambientales, minimizándose los costos asociados a la evaluación de alternativas de manejo. Puede optimizarse de este modo, la inferencia de modelos matemáticos analíticos o numéricos. La Fig. ECAE - 01 esquematiza el proceso.

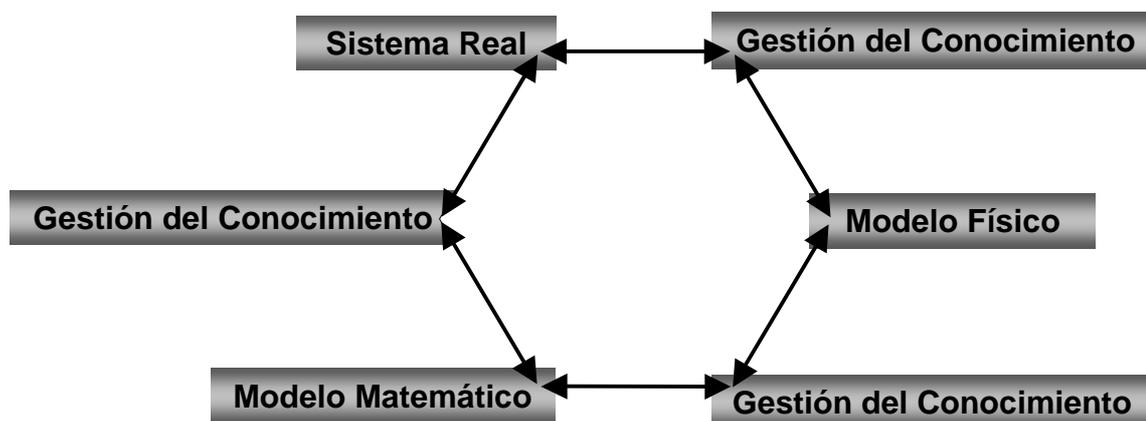


Fig. ECAE - 01 - PROCESO CÍCLICO DE INFERENCIA DE UN MODELO MATEMÁTICO A PARTIR DE LA OPERACIÓN Y EXPERIMENTACIÓN CON UN MODELO FÍSICO DE LA REALIDAD

Una aplicación empírica del proceso esquematizado en la Fig. ECAE - 01 es la simulación basada en el uso de modelos hidráulicos reducidos (ver apéndice sobre **ANÁLISIS NUMÉRICO DEL PROCESO DE COLMATACIÓN DEL EMBALSE DE TERMAS DE RÍO HONDO, BASADO EN UN MODELO HIDRÁULICO REDUCIDO**), la que permite evaluar la tasa del proceso de colmatación en lagos y embalses, como dependiente de la cantidad de material sedimentable que ingresa al reservorio; de la fracción o porcentaje que es retenido en la cubeta y de la densidad de los sedimentos depositados. La relación entre sedimentos acumulados e ingresados, mide la eficiencia de retención del lago o embalse. Conforme progresa la colmatación, decrece la razón: capacidad de la cubeta : caudal de entrada y la eficiencia de retención disminuye por aumento de la velocidad y por ende de la energía cinética de las partículas sedimentables y por disminución del tiempo de retención o residencia. El volumen que ocupa el sedimento, depende del peso específico del material, el que es función de su granulometría y de la edad de los depósitos. Los sedimentos más antiguos se consolidan, entre otras causas, por el peso de los aportes más recientes.

6. 2. - Objetivos del Modelo Ambiental:

- ❖ Diseñar y construir un modelo reducido hidráulico del Embalse de Termas de Río Hondo, con ajuste a las leyes de semejanza hidráulica, para analizar el proceso de colmatación;
- ❖ Operar el modelo, en el que prevalecen la gravedad y la viscosidad, introduciendo una suspensión acuosa de suelo sintético, procurando lograr isomorfismos conducentes a la adquisición de datos experimentales;
- ❖ Generar un modelo numérico del proceso de colmatación provocado experimentalmente.

6. 3. - Modelos a Partir de Modelos: con el modelo reducido hidráulico, se procura provocar un fenómeno análogo al que se desea estudiar, de modo que a cada punto del sistema en ensayo, corresponda otro en la realidad. Debido a las restricciones impuestas por la estacionalidad de los flujos; por la gravedad; por la presión atmosférica y por la rugosidad, los resultados son en general, aproximados. Se recurre al análisis dimensional para obtener las ecuaciones que establecen las relaciones entre masa; fuerza; tiempo; velocidad; etc. Una vez determinadas las variables Q_1, Q_2, \dots, Q_n que intervienen en el problema, se busca relacionarlas mediante una ecuación: $F(Q_1, Q_2, \dots, Q_n) = 0$; seleccionadas las variables relevantes, se aplica el Teorema de Buckingham que vincula las “ene” distintas magnitudes o entidades físicas Q definidas por k unidades dimensionales fundamentales mediante: $f(\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_{n-k}) = 0$, siendo: $\Pi = Q_1^a Q_2^b Q_3^c \dots Q_n^m$, los “ene” parámetros pueden agruparse libremente en los $n - k$ términos. En cada producto adimensional figuran $k + 1$ parámetros; de ellos se escogen k que se repiten en todos. Sólo varía el último. Como el número de unidades fundamentales independientes es tres (longitud; tiempo y masa), k se hace igual a tres. Además de los términos que dependen únicamente de las condiciones de contorno, hay uno dependiente de la presión y otros cuatro que caracterizan el sistema por la influencia predominante: gravedad; viscosidad; tensión superficial o elasticidad. Estos cinco términos adimensionales, son los números de Euler; Froude; Reynolds; Weber y Cauchy. Para que exista semejanza geométrica y dinámica entre la naturaleza y el modelo, es preciso que las distancias entre los elementos de un sistema, sean proporcionales a las correspondientes al otro y que la trayectoria de cada elemento sea geoméricamente semejante y proporcional a la trayectoria del correspondiente en el otro sistema, en la misma relación que las dimensiones lineales. Como en general no es posible la semejanza completa, al considerar todas las variables físicas, se toman las que predominan, consiguientemente, se elige uno de los siguientes números: Froude, $F = v^2/gL$; Reynolds, $R = vL/\nu$; Weber, $W = v^2L/(\tau/\rho)$ y Cauchy, $C = v^2/(\epsilon/\rho)$.

Cada perfil batimétrico determinado en el sistema real y trasladado al modelo, respetando las Leyes de Semejanza de la Mecánica de los Fluidos, se particiona según un espaciamiento variable que toma en cuenta puntos relevantes, en relación con los cuales, se registran los cambios de espesor de los sedimentos. Esta variación temporal se ajusta en cada caso, con una función estadística de regresión, generándose mapas de isolíneas para sus coeficientes. Se calculan por interpolación los valores correspondientes a cada nodo del retículo de elementos finitos, dispuestos sobre el plano de comparación de cota cero (0 m snm). El tratamiento discreto tridimensional empleado en la modelización numérica, utiliza paralelepípedos rectos de base cuadrada, superiormente limitados por superficies regladas. Éstas se corresponden en cada instancia temporal, con la situación del lecho. Los resultados de evaluar las funciones de regresión para la acumulación de sedimentos, son escalados y aplicados a cada nodo del reticulado espacial, obteniéndose de este modo, las cotas que se emplean en el cálculo de volúmenes.

El algoritmo descrito, permite calcular el volumen confinado entre cada superficie reglada y su proyección ortogonal sobre el plano horizontal. El volumen de sedimento acumulado en un determinado intervalo de tiempo $\Delta t = t_j - t_0$, se obtiene como diferencia entre los volúmenes de los paralelepípedos correspondientes. La máxima capacidad de embalse de agua del sistema, ocurre a *tiempo* $= t_0$ y para una unidad de área $= l^2$, está dada por la diferencia entre el volumen del paralelepípedo recto de sección cuadrada, de altura igual a la *cota* $z = cota\ máxima$ [m snm] y el del paralelepípedo de altura igual a la cota media de la superficie del fondo para $t = t_0$. En el límite, para $t \rightarrow \infty$, se cumple que el volumen del sedimento iguala a la capacidad inicial de embalse de líquido. La propuesta metodológica descrita, es aplicable a situaciones de envejecimiento de lagos y embalses por colmatación, con independencia de la causa generadora de sólidos en suspensión en los tributarios o afluentes; sea ésta, la erosión geológica y/o la de origen antrópico.

6. 4. - Correspondencia Entre los Pasos Seguidos en la Modelización y el Proceso Sistemático de Gestión del Conocimiento: en la generación del modelo matemático del envejecimiento por colmatación de un sistema lacustre (Wetzel, R. G., 2001), se han concretado acciones, directamente vinculadas con los elementos; entidades u objetos consignados en la **Tabla R - 01**. Así en lo concerniente al final, pero también al comienzo del proceso cognitivo, interpretado como cíclico y recursivo, la nivelación cruzada de conceptos (**NCC**), se manifiesta como el conocimiento científico-tecnológico (**STK**) {ciencias de la vida (**CDV**); ciencias físicas (**CFS**); otras disciplinas (**ODS**)} \Rightarrow {consultas en bases de datos (**CBD**); diseño de experimentos (**DDE**); muestreo para adquisición de datos (**MAD**)}, imprescindible para acometer el diseño y construcción del modelo físico y para pretender la inferencia del modelo matemático de expresión numérica, como producto final.

6. 4. 1. - Compartición del Conocimiento Tácito (CCT): se ha hecho, tanto para la propuesta de un diseño del modelo físico, como para el análisis de las posibilidades de inferencia de un modelo matemático, un reconocimiento y descripción del problema (**RDP**), juntamente con la enunciación y definición de los parámetros inicialmente considerados relevantes (**DDP**). El conocimiento tácito, oportunamente compartido por los integrantes del Centro de Ingeniería Ambiental (**CEDIA**) de la Facultad Regional Tucumán (**FRT**) de la Universidad Tecnológica Nacional (**UTN**), es altamente personal, de difícil formalización y comunicación (ver apéndice sobre **EL CONOCIMIENTO COMO INSTRUMENTO DE CREACIÓN DE VALOR**). El conocimiento tácito, está profundamente arraigado en la acción individual; la experiencia; los ideales; los valores o emociones individuales. Tiene una dimensión técnica, asociada a las habilidades o destrezas capturadas en el saber hacer y una dimensión cognitiva, relacionada con esquemas; modelos mentales; creencias y percepciones que reflejan una imagen de la realidad o lo que se considera que es, y una visión del futuro o lo que debería ser. No pudiendo ser articulados de modo sencillo, estos modelos conforman la manera en que se percibe el mundo o cosmovisión.

6. 4. 2. - Creación de Conceptos (CDC): en esta etapa, se efectuó una limitación espacio-temporal del sistema (**LET**) y una definición preliminar del número de sub-sistemas a considerar (**SSC**), analizándose también, el nivel de complejidad (**NDC**) más conveniente en función de la futura aplicación operativa del modelo y de las prescripciones que de él pudieran derivarse en materia de políticas ambientales para la Cuenca Superior del Río Salí-Dulce. También en conexión con la creación de conceptos (**CDC**), se efectuó una exposición de metas jerárquicamente ordenadas, proponiéndose objetivos y sub-objetivos (**JMO**) para el trabajo experimental y el de formalización.

6. 4. 3. - Justificación de Conceptos (JDC): se evaluó el requerimiento de datos para la elaboración de ambos modelos (**RDS**), contando con un relevamiento del sistema real (**RSR**) iniciado a comienzos de la década del 80', por la totalidad de los miembros del **CEDIA**, quienes cumplieron tareas de muestreo estacional durante varias campañas, tanto en el espejo del embalse, originalmente de aproximadamente 34200 hectáreas, como en las desembocaduras de los tributarios; de análisis químico, físico y biológico, conforme a las prácticas estandarizadas para evaluar el estado trófico y el ingreso de sólidos disueltos, suspendidos y acarreados al reservorio; de tratamiento estadístico de datos; de elaboración de modelos cuali-cuantitativos, particulares y generales; de edición de resultados; etc. Con el apoyo de los documentos oportunamente elaborados, se diseñaron diferentes experimentos (**DDE**), orientados a satisfacer entre otros aspectos, las semejanzas requeridas por la Mecánica de los Fluidos para la operación del modelo; entre ellas, las referidas a la composición granulométrica de la fracción sólida suspendida de suelo sintético. Se diseñaron estrategias para adquisición de datos experimentales (**AED**) y se actualizaron las bases de datos (**ABD**) propias y del sistema científico tecnológico en general.

Durante la etapa de justificación de conceptos (**JDC**), se ponderó también, la disponibilidad, cantidad y confiabilidad de los datos utilizables (**DCD**); se hizo un análisis de la información y también una revisión de conocimientos (**AIR**), para seguidamente, formular las hipótesis de trabajo, incorporando diagramas conceptuales de los procesos en que intervienen las variables de estado (**DVP**) consideradas relevantes.

6. 4. 4. - Construcción de un Prototipo (CDP): es ésta la fase de las formalizaciones; de las operaciones matemáticas {estimación de parámetros espacio-temporales (**PET**), en general mediante métodos estadísticos y de simulación; formulación mediante ecuaciones (**ECS**) de los procesos dinámicos objeto de estudio. La tarea de expresar ecuacionalmente las manifestaciones observadas, puede considerarse como transformaciones de unas formas en otras, interpretables como isomorfismos, lo que implica modificación de formas, sin pérdidas de información; modelos de la investigación operativa (**MIO**); del análisis y de la dinámica de sistemas (**MAS**); del tratamiento estadístico de datos (**TED**); de optimización (**MDO**); de simulación (**MDS**); codificación computacional (**COC**); etc.}. Se encara en esta instancia, el análisis de sensibilidad (**ADS**), evaluando la correspondencia entre entradas y salidas del modelo, para identificar los parámetros y las variables de estado que provocan diferencias significativas en el comportamiento de los resultados. Se encara, si corresponde la re-calibración de los 4 a 8 parámetros, con respecto a los cuales el modelo es más sensitivo (**RPS**).

6. 4. 5. - Nivelación Cruzada de Conceptos (NCC): tanto en el caso del modelo físico, donde se han hecho variar las condiciones experimentales, dentro del rango correspondiente a los cambios esperables en el sistema real, como en el modelo matemático, la verificación se encaró con nuevos datos obtenidos por muestreo en el Embalse Frontal de Termas de Río Hondo y en las desembocaduras de los tributarios (**VDM**). A efectos de evaluar la capacidad predictiva del modelo matemático, se realizó el tratamiento estadístico de las corridas de simulación (**TEC**), empleando valores generados pseudoaleatoriamente. Se hizo la revisión del modelo (**RDM**) y posteriormente se generó un conjunto de soluciones (**GCS**), haciéndose el análisis de las pruebas y resultados (**APR**); evaluándose y calificándose las soluciones (**ECS**).

A partir de la validación y análisis final de los resultados (**VAR**), se formularon las recomendaciones y prescripciones estratégicas y tácticas (**EYT**), para aplicar el modelo en condiciones espacio-temporales, abióticas y bióticas (**CAB**) y socioeconómicas (**CSE**) específicas. El **ANÁLISIS NUMÉRICO DEL PROCESO DE COLMATACIÓN DEL EMBALSE DE TERMAS DE RÍO HONDO, BASADO EN UN MODELO HIDRÁULICO REDUCIDO**, luego de haber sido sometido a operaciones de revisión (**ODR**) y aplicado durante diez años, puede ser considerado adecuado para la gestión del sistema de recursos naturales (**MRN**) al que se aplica.

6. 5. - Modelización Analógico-Digital de la Difusión de Contaminantes y Nutrientes, en Condiciones de Régimen Estacionario, en el Embalse Frontal de Termas de Río Hondo, República Argentina - Nota Introductoria: tal como se desarrolla en el apéndice correspondiente, se analiza y diseña una metodología de modelización de los procesos difusivos en condiciones de régimen estacionario, de contaminantes y nutrientes de origen superficial y puntual, aportados por los tributarios del Embalse Frontal de Termas de Río Hondo (Provincias de Tucumán y Santiago del Estero, República Argentina).

El modelo analógico-digital, genera isolíneas de potencial V (curvas equipotenciales) o bien superficies reticuladas, que se corresponden con la dispersión espacial de contaminantes y nutrientes, en el medio líquido, cuando se emplea la concentración C como parámetro distribuido. En los procesos de difusión y mezclado, en medio isótropo, con conductividad eléctrica σ , independiente de la posición \mathbf{r} , es posible emplear un sistema análogo de conducción eléctrica continua ohmica, descrito por la ecuación de Laplace ($\nabla^2 V(\mathbf{r}) = 0$). El modelo electro-analógico bidimensional, objeto del presente análisis, fue construido en escala, empleando papel semiconductor, respetando la planimetría del Embalse Frontal de Termas de Río Hondo, cuando el espejo alcanza la cota máxima (275 m snm). Se obtuvieron valores de tensión o potencial eléctrico y de este modo, se generaron soluciones para la ecuación de Laplace $\nabla^2 C(\mathbf{r}) = 0$, que describe la distribución espacial de la concentración C de contaminantes y nutrientes, con coeficiente de difusión o mezclado D , independiente de la posición \mathbf{r} .

El dispositivo experimental empleado, incluyó además del modelo electro-analógico, un pantógrafo; un voltímetro; un conversor analógico-digital y dos programas computacionales para controlar las tensiones aplicadas en los electrodos, en función de los caudales máxicos aportados por los tributarios y gestionar la adquisición de datos. Se generaron archivos de ternas de puntos, pertenecientes a las soluciones del problema. Éstas se presentaron gráficamente, como resultado del post-procesamiento, para diferentes condiciones del año hidrológico (ver apéndice sobre **MODELIZACIÓN ANALÓGICO-DIGITAL DE LA DIFUSIÓN DE CONTAMINANTES Y NUTRIENTES, EN CONDICIONES DE RÉGIMEN ESTACIONARIO, EN EL EMBALSE FRONTAL DE TERMAS DE RÍO HONDO, REPÚBLICA ARGENTINA**).

6. 6. - Correspondencia Entre los Pasos Seguidos en la Modelización Electro-Analógica y el Proceso Sistemático de Gestión del Conocimiento: en la generación del modelo analógico-digital de la difusión de contaminantes y nutrientes, en condiciones de régimen estacionario, se han satisfecho operaciones, directamente vinculadas con los elementos; entidades u objetos consignados en la **Tabla R - 01**. Como se expresó precedentemente (parágrafo 6. 4.), en lo concerniente al final, pero también al comienzo del proceso cognitivo, interpretado como cíclico y recursivo, la nivelación cruzada de conceptos (**NCC**), se manifiesta como el conocimiento científico-tecnológico (**STK**), imprescindible para acometer el diseño; construcción y operación del modelo físico y para pretender la inferencia del modelo matemático de expresión numérica, como producto final.

6. 6. 1. - Compartición del Conocimiento Tácito (CCT): se ha hecho para la propuesta de diseños de modelos electro-analógicos y para el análisis de las posibilidades de inferencia de modelos numérico-gráficos, un reconocimiento y descripción del problema (**RDP**), juntamente con el listado y definición de los parámetros inicialmente considerados relevantes (**DDP**).

El conocimiento tácito, altamente personal, de difícil formalización y comunicación, como se ha observado, fue compartido merced a un ejercicio de intento de unificación de códigos entre los miembros del grupo de desarrollo, cuyos integrantes, con diferente experiencia y formación profesional, sostenían enfoques e intereses, no necesariamente coincidentes.

6. 6. 2. - Creación de Conceptos (CDC): de modo similar a lo anotado en correspondencia con el párrafo 6. 4. 2., se efectuó una limitación espacio-temporal del sistema (**LET**) y una definición preliminar del número de sub-sistemas a considerar (**SSC**), analizándose también, el nivel de complejidad (**NDC**) y la jerarquía de metas; objetivos y sub-objetivos (**JMO**), más convenientes para la futura aplicación del modelo y de las prescripciones ambientales que de él pudieran derivarse.

6. 6. 3. - Justificación de Conceptos (JDC): se evaluó el requerimiento de datos para la elaboración del modelo electro-analógico y del modelo numérico-gráfico (**RDS**), disponiéndose de relevamientos físico-químico-biológicos del sistema real (**RSR**). Se diseñaron experimentos (**DDE**), para comparar las ventajas técnico-económicas de modos alternativos de encarar la modelización. Se diseñaron estrategias computacionales para adquisición de datos experimentales (**AED**) y se actualizaron las bases de datos (**ABD**) del **CEDIA**.

De modo similar a lo expresado precedentemente, durante la etapa de justificación de conceptos (**JDC**), se evaluó, la disponibilidad, cantidad y confiabilidad de los datos utilizables (**DCD**); se hizo un análisis de la información y también una revisión de conocimientos (**AIR**), para formular las hipótesis de trabajo, incorporando diagramas conceptuales de los procesos en que intervienen las variables de estado (**DVP**) consideradas relevantes.

6. 6. 4. - Construcción de un Prototipo (CDP): se estimaron parámetros espacio-temporales (**PET**); se formalizaron mediante ecuaciones (**ECS**) los procesos difusivos objeto de estudio. Se desarrollaron modelos para el tratamiento estadístico de datos (**TED**); para la simulación (**MDS**); para la codificación computacional (**COC**); etc. Se hicieron pruebas de análisis de sensibilidad (**ADS**), evaluando la correspondencia entre entradas y salidas del modelo, para identificar los parámetros y las variables de estado que provocan diferencias significativas en el comportamiento de los resultados, re-calibrándose los parámetros, con respecto a los cuales el modelo fue más sensitivo (**RPS**).

6. 6. 5. - Nivelación Cruzada de Conceptos (NCC): en el modelo electro-analógico, se modificaron las condiciones experimentales, respetando los rangos probables en el sistema real y en el modelo matemático, la verificación se encaró con nuevos datos obtenidos por muestreo en el Embalse Frontal de Termas de Río Hondo y en las desembocaduras de los tributarios (**VDM**). La capacidad predictiva del modelo numérico-gráfico, se ponderó tratando estadísticamente las corridas de simulación (**TEC**), con valores generados pseudoaleatoriamente. Se hizo la revisión del modelo (**RDM**), generándose un conjunto de soluciones (**GCS**), haciéndose el análisis de las pruebas y resultados (**APR**); evaluándose y calificándose las soluciones (**ECS**). A partir de la validación y análisis final de los resultados (**VAR**), se formularon las recomendaciones y prescripciones estratégicas y tácticas (**EYT**), para aplicar el modelo en condiciones espacio-temporales, abióticas y bióticas (**CAB**) y socioeconómicas (**CSE**) específicas. Se lo sometió a revisión (**ODR**), considerándose adecuado para la gestión del sistema de recursos naturales (**MRN**) al que se aplica.

6.7. - Identificación de los Sujetos del Conocimiento (SDC) en los Casos Estudiados: el individuo cognoscente (**ICO**) es un miembro activo del grupo de trabajo o grupo de investigación, directamente vinculado a las actividades propias de la modelización en alguna de sus numerosas facetas; el grupo de conocimiento (**GDC**) es el equipo humano del **CEDIA**; la organización como sujeto del conocimiento (**OSC**), es la Facultad Regional Tucumán (**FRT**) de la Universidad Tecnológica Nacional (**UTN**) y el contexto y/o medio externo beneficiario del conocimiento (**CME**), es la comunidad organizada. Todos los sujetos del conocimiento, poseen, como se ha expresado previamente, conocimiento tácito (**CTA**), que es el que disponen personal y privadamente y conocimiento explícito (**CEX**), que es el que se hace de dominio público, merced a su formalización-representación y transmisión. El conocimiento explícito es sistemático; puede expresarse en palabras y números y es fácilmente comunicable y compartido en forma de procedimientos codificados, fórmulas, datos firmes o principios; es asimilable a la información.

Los sujetos del conocimiento (**SDC**), precedentemente identificados, realizan o en conexión con las aplicaciones empíricas antes consideradas, realizaron, la creación y/o adquisición del conocimiento (**CAC**); su representación; codificación y registro (**RCR**); la transferencia y compartición de éste (**TCC**) y finalmente su ajuste; refinamiento y actualización (**ARA**).

6.8. - Acciones Orientadas a Facilitar el Conocimiento: se ha señalado anteriormente, el valioso aporte de Georg Von Krogh; Kazuo Ichijo y Ikujiro Nonaka, quienes en su libro “Enabling Knowledge Creation: How to Unlock the Mystery of Tacit Knowledge and Release the Power of Innovation” (“Facilitando la Creación de Conocimiento: Como Revelar el Misterio del Conocimiento Tácito y Liberar el Poder de la Innovación”), identifican un conjunto de acciones destinadas a allanar la experiencia de conocer. En relación con los casos objeto de estudio, debe reconocerse la permanente comunicación de una visión del conocimiento (**CVC**), por parte del equipo de conducción y de los miembros del **CEDIA**, también comprometidos con la docencia universitaria. Tal como se expresa en el apéndice sobre **EL CONOCIMIENTO COMO INSTRUMENTO DE CREACIÓN DE VALOR**, el **CEDIA** que publica su producción desde 1972, orienta su esfuerzo a brindar en el ámbito regional, respuestas a los requerimientos de fundamentos científico-tecnológicos para la toma de decisiones en materia de políticas y gestión ambiental. El **CEDIA** adhiere a la normativa internacional sobre higiene y seguridad en el trabajo y realiza búsquedas sistemáticas de oportunidades para la provisión de sus servicios, detectando necesidades sociales y ambientales. Recurre a las tecnologías de la información y de la comunicación para las acciones de transferencia, propiciando la gestión de la calidad (Normas ISO 9000) y la gestión ambiental (Normas ISO 14000). Alienta asimismo, la superación humana y profesional de sus integrantes, trabajadores del conocimiento; participa regularmente desde su fundación, en las Jornadas Nacionales de Investigación Tecnológica y organiza Seminarios Regionales, como ámbito institucional de manejo de conversaciones (**MDC**).

La formación de Recursos Humanos calificados, constituye una línea de acción prioritaria que el **CEDIA** instrumenta a través del trabajo diario, y en la modalidad de educación formal, con la Carrera de Especialización en Higiene y Seguridad en el Trabajo y con las Carreras de Postgrado en Ingeniería Laboral y en Ingeniería Sanitaria. La experiencia ha confirmado el valor de esta estrategia como recurso de movilización de promotores del conocimiento (**MPC**). Se reconoce explícitamente y se expresa con hechos, la conveniencia de generar un contexto adecuado (**GCA**), ante todo en materia de relaciones humanas, como requisito imprescindible para la generación de conocimientos. Admitiendo las ventajas asociadas a un medio ambiente y a condiciones de trabajo satisfactorias, normalmente se hace necesario conciliar demandas con restricciones presupuestarias.

Las modalidades de difusión ya señaladas: Foros y Seminarios Regionales; Jornadas Nacionales de Investigación Tecnológica; concurrencia y presentación de trabajos en Congresos Nacionales e Internacionales; publicaciones en libros y revistas; etc., son alternativas de globalización del conocimiento local (GCL).

En el apéndice sobre **EL CONOCIMIENTO COMO INSTRUMENTO DE CREACIÓN DE VALOR**, se expresa que la estrategia se corresponde con la visión del conocimiento, ofreciendo un mapa mental del mundo en el que se vive; del mundo en que se debería vivir y del conocimiento que se debe buscar y crear, en relación con la tecnología; la sociedad; la cultura; las normas políticas y legales y la economía. La transmisión de conocimiento explícito y tácito, reconoce tres pasos, el de estimulación; el de empaque-envío y el de recreación en destino. En todas las experiencias de creación de conocimiento, es posible emplear con fines de mapeo, una matriz 5 x 5 referida a cada acción facilitadora del conocimiento y a cada paso de la creación de éste. Las acciones facilitadoras del conocimiento o factores facilitadores del conocimiento, se consignan como etiquetas o rótulos de filas de la matriz y los pasos de la creación del conocimiento se presentan como etiquetas o rótulos de columnas de la matriz (ver **Tabla ECAE - 01**).

Tabla ECAE - 01 - MATRIZ 5 X 5 PARA EL MAPEO DE LA CREACIÓN DE CONOCIMIENTOS ASOCIADA A LA GENERACIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS A PARTIR DE MODELOS FÍSICOS

ACCIONES FACILITADORAS DEL CONOCIMIENTO:	PASOS DE LA CREACIÓN DEL CONOCIMIENTO:				
	COMPARTICIÓN DEL CONOCIMIENTO TÁCITO:	CREACIÓN DE CONCEPTOS:	JUSTIFICACIÓN DE CONCEPTOS:	ELABORACIÓN DE PROTOTIPOS:	INTER-NIVELACIÓN DEL CONOCIMIENTO:
GENERACIÓN DE UNA VISIÓN DEL CONOCIMIENTO:	+++	+++	++	++	+++
CONDUCCIÓN DE CONVERSACIONES:	++	++	++	++	+++
MOVILIZACIÓN DE GESTORES DEL CONOCIMIENTO:	+	+	++	+	++
CREACIÓN DEL CONTEXTO ADECUADO:	++	++	++	++	++
GLOBALIZACIÓN DEL CONOCIMIENTO LOCAL:	+	+	++	++	+++

Referencia: el número de signos + , indica la intensidad de la interacción percibida, en correspondencia con cada celda de la matriz: + poco significativa; ++ significativa; +++ muy significativa.

6.9. - Un Cambio de Escala; del *Oikos* al *Xósmos*. Según el diccionario de la lengua de la Real Academia Española, la palabra ecología, se forma con eco-, del griego οἶχο-, que significa casa; morada o ámbito vital y -logía, también del griego λογία, tratado; estudio; ciencia. Es la ciencia que estudia las relaciones de los seres vivos entre sí y con su entorno (Real Academia Española, 1992). Los mecanismos de elaboración de modelos matemáticos ambientales, desde la perspectiva de la Gestión del Conocimiento, constituyen el tema central de esta Tesis, intento de formalización de algunos aspectos del discurrir de la vida, en la trama del espacio y del tiempo (ver apéndice sobre **EL NACIMIENTO DEL TIEMPO Y EL FIN DE LAS CERTIDUMBRES. TIEMPO, CAOS Y LAS LEYES DE LA NATURALEZA**) o del espacio-tiempo.

El educador y astrónomo Sten F. Odenwald reflexiona con sabiduría sobre la experiencia emocionalmente significativa del conocimiento del mundo, en su sentido más amplio. Cuando se siguen de manera sistemática los caminos de la Naturaleza, resulta que las partículas y la materia no constituyen el confin más básico, sino que éste es aquel en el que toda la realidad conocida, se disuelve en la confluencia de los campos cuánticos reverberantes, que interaccionan en el espacio-tiempo, para dar la substancia de una piedra; el color del ocaso o el aroma de una rosa (Odenwald, S. F., 2002). Aún el espacio-tiempo, puede resolverse en última instancia, a partir de su propia esencia cuántica, como una tela de araña de las partículas que actúan recíprocamente y están compuestas de espacio puro. Hay un germen de verdad en la afirmación que, el Universo tiene más del carácter de un pensamiento que de una máquina (ver Fig. ECAE - 02).



Fig. ECAE - 02 - Conglomerado de estrellas

Los nodos en los campos que llamamos materia, son la estela de una realidad más fundamental; son como la resaca que deja en la playa el océano del Universo. Las raíces profundas de las partículas elementales, se introducen en la roca madre del espacio-tiempo, cuya geometría controla en última instancia, sus características y el modo como operan recíprocamente. Como en un árbol sano y frondoso, su copa es visible pero su sistema radicular, permanece oculto. La observación nocturna de los extensos espacios vacíos entre las estrellas; de las nebulosas; de las nubes de polvo cósmico, como imperceptibles puntos de calor en el frío del Universo, mueve a imaginar un extenso paisaje de campos cuánticos que curvan el espacio-tiempo y dirigen los movimientos de la materia, entretejiendo el vacío como tela de araña suspendida sobre la nada. La masa de los cuerpos, objeto de la modelización matemática que nos ocupa, está determinada por campos sin masa, que se disuelven en el ir y venir de una red de gravitones, en las bases mismas del espacio y del tiempo.

Volviendo a la propuesta del **PRÓLOGO**, tal vez, efectivamente vivamos en la más probable de todas las burbujas cósmicas posibles; por ello, debemos admitir que el camino debe recorrerse con paso reverente, en la certeza de que se nos es dado, atisbar apenas, la deslumbrante complejidad del mundo que moramos. Planteado el cambio de escala, del οἶχος al χόσμος, cabe preguntarse sobre si el modo de generación de modelos matemáticos cosmológicos¹, responde a la propuesta metodológica de la Gestión del Conocimiento, precedentemente analizada.

¹ De Cosmología, del latín cosmos y éste del griego χόσμος, mundo; universo y -logía. Es el conocimiento filosófico de las leyes generales que rigen el mundo físico y es también, parte de la Astronomía que trata de las leyes generales, del origen y de la evolución del Universo.

6. 9. 1. - Introducción y Aproximación Histórico-Conceptual a Algunos Temas de Interés de la Cosmología: según Simon Singh, si a alguien puede atribuirse la creación de la Teoría del Big Bang, es al sacerdote belga Georges Lemaître, que basó su idea del *día sin ayer*, en mínima evidencia empírica, proponiéndosela a Albert Einstein quién inicialmente la desestimó, para adoptarla decididamente, antes de haber transcurrido diez años (Singh, S., 2005).

El Padre Lemaître, PhD en Física, adhirió a la hipótesis hoy confirmada, de la expansión positivamente acelerada del Universo. Basó su afirmación en la observación del desplazamiento al rojo o *red shift*, de la emisión luminosa de los objetos exteriores a nuestra galaxia. Trabajaba por entonces en el Observatorio Astronómico de la Universidad de Cambridge, cuyo Director era el Profesor Sir Arthur Eddington. Lemaître publicó sus cálculos en los *Annales de la Societe Scientifique de Bruxelles* en 1927, sin mayor eco. Sin embargo, como resultado de las observaciones sistemáticas de Edwin Hubble en 1929, sobre el desplazamiento al rojo o *Doppler effect*, de la emisión de otras galaxias, Eddington sugirió a la Royal Astronomical Society, publicar una traducción al inglés, del artículo de Lemaître en su *Monthly Notices* de marzo de 1931.

Lemaître escribió que hay dos formas de buscar la verdad; la ciencia y la religión, habiendo él, optado por ambas (Midbon, M., 2000). Cabe acotar que Duncan Aikman periodista del *New York Times* destacó en un artículo publicado en 1933 que Georges Lemaître había expresado repetidamente a sus audiencias, que no existe conflicto entre la religión y la ciencia, y que su concepción es interesante e importante, no por que se trate de un sacerdote católico; tampoco por que sea uno de los más distinguidos físico-matemáticos de su tiempo, sino por ambas razones² (ver Figs. ECAE - 03 y 04).

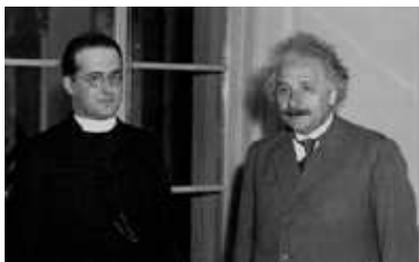


Fig. ECAE - 03 - RP Georges Lemaître PhD y Profesor Albert Einstein

Fig. ECAE - 04 - Luego de algunos cientos de miles de años a partir del Big Bang, conforme la materia fue dispersándose; enfriándose y perdiendo densidad, los electrones se unieron con los núcleos, formando átomos de hidrógeno y helio. El gas resultante, se agrupó bajo la influencia de la gravedad; condensó formando galaxias y las actuales estrellas. Estas comenzaron su existencia, a partir de los constituyentes formados en los tres primeros minutos (Weinberg, S., 1993)



² “‘There is no conflict between religion and science,’ Lemaître has been telling audiences over and over again in this countryHis view is interesting and important not because he is a Catholic priest, not because he is one of the leading mathematical physicists of our time, but because he is both.”

En *The Structure of Scientific Revolutions*, Thomas Kuhn, sostiene que teorías inexactas o erróneas, pueden ser aceptadas por un largo tiempo, aún bajo el peso de evidencias contradictorias (Kuhn, T. S., 1996). El cambio se opera cuando aparece una nueva teoría o paradigma, donde globalmente la realidad cobra un nuevo sentido. La nueva teoría es aceptada, si una nueva generación de científicos, crece con ella. La generación anterior, normalmente mantiene su adhesión al viejo paradigma (ver **Figs. ECAE - 05 y 06**).

George Gamow, uno de los principales defensores de la Teoría del Big Bang y sus colaboradores Ralph Alpher y Robert Herman, predijeron en 1948 la probable existencia de la Cosmic Microwave Background, como un remanente energético de la explosión. En 1978 Robert Wilson y Arno Penzias, recibieron el Premio Nóbel por el descubrimiento del eco del Big Bang.



Fig. ECAE - 05 - La Tierra fotografiada desde la superficie de la Luna

Fig. ECAE - 06 - Vista de un rincón del Universo, resultante del procesamiento de imágenes captadas por el Telescopio Espacial Hubble (Kerrod, R., 2003)

Albert Einstein en 1950, enseñaba que la partícula material, no constituye un concepto fundamental en la teoría de campos y que el campo gravitatorio, debe negar un estatus particular a la materia. En 1952, sostenía que el hombre elude precisar la noción de espacio, ante la dificultad de concebirlo; sin embargo, en 1975 Abdus Salam expresó que el Universo y su topología cuántica, están determinados por la ubicación de los gravitones y los patrones de interacción espacio-temporales que éstos generan (Odenwald, S. F., 2002).

La colisión entre dos partículas puede emplearse como definición de un punto en el espacio-tiempo, admitiendo, según afirmaba Robert Dicke en 1964, que no todos los puntos en el espacio-tiempo de cuatro dimensiones precisan tener una definición física. El vacío cósmico, del que sólo se tiene un conocimiento subjetivo, no impone condiciones dinámicas a la materia. También en 1964, John Wheeler anotaba que de todo lo que se dispone para dar entidad a una partícula, es del espacio-tiempo.

La realidad esencial está dada por un conjunto de campos y por la dinámica cuántica de ellos, según expresó Steven Weinberg en 1982, quien en 1987 consideraba a las cuatro dimensiones de la Relatividad General, como componentes de un conjunto de grados de libertad, necesarios para conformar una integración de los campos de la Física. En una teoría de la gravedad, sostenía en 1988 Michael Green, confirmando las afirmaciones de Albert Einstein de 1930, no puede separarse la estructura del espacio-tiempo, de las partículas asociadas con la fuerza gravitatoria.

La Teoría del Big Bang (así llamada peyorativamente por Fred Hoyle, quien discrepaba con ella y propuso el modelo de creación continua), en su versión original, no explica la expansión cósmica acelerada descubierta en 1998. En su versión actual, no se expide sobre el momento de la creación del Universo, lo que es tarea de la Mecánica Cuántica o de la Metafísica. El Cosmos se ha expandido, enrarecido y enfriado; el Big Bang se visualiza no como un evento singular, sino como un proceso en marcha, de ganancia de orden. Desde la perspectiva de la vida sobre la Tierra, la Historia Cósmica comienza con la Inflación de un Universo informe y vacío.

Durante la Inflación, la radiación se dispersó aleatoriamente. Las partículas subatómicas, condensaron y las ondas sonoras atravesando la mezcla amorfa, la organizaron, dando a la materia control sobre la radiación. La autoorganización de la materia, dio lugar a cuerpos de tamaño creciente; fragmentos de subgalaxias; galaxias majestuosas; conglomerados de galaxias y grandes murallas de galaxias. El Universo que conocemos, de cuerpos celestes diferenciados, separados por vastos espacios vacíos, es el resultado de un desarrollo cosmológico reciente, iniciado en un denso y caliente plasma de partículas cargadas y fotones. Varios miles de millones de años atrás, la materia fue cediendo el control a la aceleración cósmica; ésta provoca la separación de las grandes estructuras.

6.9.2. - Acústica Cósmica: nuevas observaciones de las microondas de la radiación cósmica de fondo o *Cosmic Microwave Background* (CMB), muestran que el Universo inicial resonó con oscilaciones armónicas. En el comienzo, imperando condiciones extremas, érase la luz y la materia ionizada emitió radiación, la que quedó como energía remanente. Hoy, unos $13,7 \cdot 10^9$ años después, los fotones entonces liberados constituyen la CMB, ubicua y constante, detectada por Arno Penzias y Robert Wilson en 1965 (Hu, W. and M. White, 2004).

La CMB se ha ido enfriando como consecuencia de la expansión del Universo, siendo actualmente, extremadamente fría; comparable con la radiación emitida por un cuerpo a $2,7 \text{ }^\circ \text{K}$. El análisis de sus variaciones posibilita conocer la edad, composición y geometría del Cosmos. Cuando la radiación estaba aún atrapada en la materia, el sistema firmemente acoplado de fotones, electrones y protones se comportaba como un gas simple, con los fotones dispersando electrones. Las perturbaciones en la densidad del gas, se propagaron como las ondas sonoras, a modo de sucesiones de compresiones y rarefacciones; las primeras calentaron el gas y las segundas, lo enfriaron. De este modo los disturbios mecánicos en el Universo inicial, resultaron en patrones térmicos diferenciados por las fluctuaciones.

Iniciada la Inflación, 10^{-36} segundos después del Big Bang, el plasma primordial de fotones y partículas cargadas, se extendió más allá del horizonte definido por el borde de la región, que un observador hipotético hubiera visto conforme el Universo se expandía. Durante la Recombinación, 380000 años después del Big Bang, cuando el Universo se enfrió lo suficiente, se formaron los primeros átomos de hidrógeno, registrando la radiación de microondas cósmicas de fondo (CMB), los patrones de variación de densidad causados por las ondas sonoras.

Trescientos millones de años después del Big Bang, durante la Reionización por la influencia atractiva de la gravedad, se formaron las primeras estrellas y desde entonces hasta ahora $13,7 \cdot 10^9$ años, se fueron constituyendo las grandes estructuras, siendo probablemente la energía oscura o *dark energy* el mayor componente del Cosmos actual. Debido a que la Inflación produjo simultáneamente todas las perturbaciones de densidad, en el primer momento de la Creación, las fases de todas las ondas sonoras, la fundamental y sus armónicas o sobretonos, están sincronizadas.

La onda sonora fundamental oscilando en el plasma original, comprimió ciertas regiones y enrareció otras, provocando zonas de máxima y mínima temperatura en la radiación CMB. En oportunidad de la Recombinación, la fundamental, dio origen a un desplazamiento negativo máximo. Con los armónicos ocurrió otro tanto. La geometría del Universo depende de su densidad de energía, habiéndose comprobado que el valor medio está muy próximo a la densidad crítica que es de $20^{-29} \text{ g cm}^{-3}$.

Como sucede actualmente, en el Universo original, la materia se manifestó en dos categorías principales: bariones o *baryons* (protones y neutrones) o materia ordinaria y materia oscura fría o *dark mater* que ejerce acciones gravitatorias, pero no ha sido directamente observada, pues no interactúa con la materia ordinaria o con la luz, de un modo manifiesto. Un 70% de la densidad crítica no logra explicarse mediante los balances de masa y energía; por ello se postula además, la existencia de energía oscura o *dark energy*, cuya influencia relativa ha crecido con la expansión del Universo. Fue inicialmente propuesta por Albert Einstein en 1917, cuando introdujo en sus ecuaciones la constante cosmológica para contrabalancear la influencia de la gravedad. Las densidades energéticas de la materia oscura y de la energía oscura, tal como se determinan de la radiación CMB, están en concordancia con las observaciones astronómicas.

La influencia de la materia oscura se observa en la modulación de las señales acústicas en la radiación CMB. Luego de la Inflación las regiones más densas de materia oscura, con la misma escala que la onda fundamental, arrastraron a los bariones y a los fotones por efecto de la atracción gravitacional, hacia los mínimos o valles de la onda sónica, provocando una concentración de materia oscura.

6. 9. 3. - Ordenes de Magnitud del Universo: se han relevado cientos de miles de galaxias, cuyo agrupamiento ocurrió a partir de las fluctuaciones iniciales (Strauss, M. A., 2004). El Universo está estructurado en todas las escalas, estando las estrellas agrupadas en galaxias. El sol (ver **Figs. ECAE - 07 y 08**) es una estrella entre varios cientos de miles de millones en la Vía Láctea, un disco aplanado, con un diámetro de 100000 años luz³, que es una de las decenas de miles de millones de galaxias del Universo observable. La galaxia vecina más próxima, se encuentra a una distancia de dos millones de años luz. Entre el cinco y el diez por ciento de las galaxias están agrupadas en conglomerados de hasta mil galaxias, con un volumen cuyo diámetro es de unos pocos millones de años luz.

³ La velocidad de la luz en el vacío según la Teoría de la Relatividad es una constante para todos los observadores y se representa mediante la letra *c* (del latín *celeritas*). El valor de la velocidad de la luz se asigna arbitrariamente, y a partir de él se obtienen patrones para la medida del tiempo y del espacio. En el Sistema Internacional de Unidades se toma el valor: $c = 299792458 \text{ m s}^{-1} \cong 300000 \text{ km s}^{-1}$. Como en un año se tienen 31536000 s , la luz recorrería $946080000000 \text{ km} \cong 9,5 \cdot 10^{12} \text{ km}$; redondeando, 10^{13} km . En el caso de la Vía Láctea, siendo su diámetro del orden de 10^5 años luz, éste equivale a 10^{18} km , es decir un trillón de kilómetros.

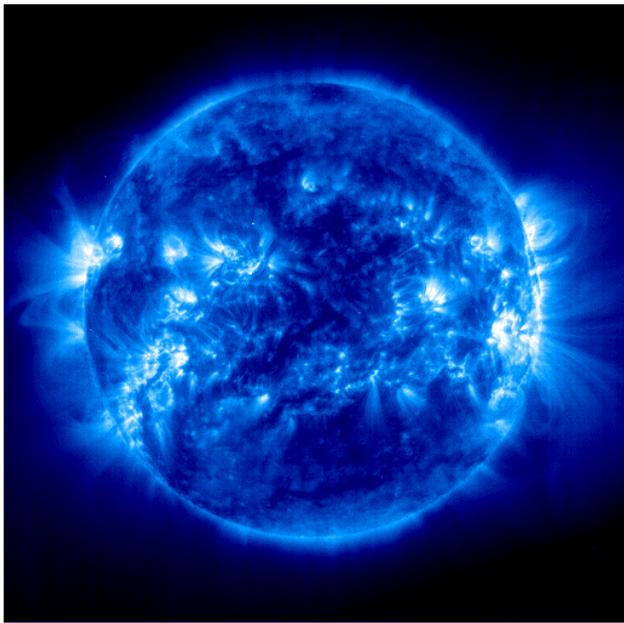


Fig. ECAE - 07 - Corona solar, cuya temperatura alcanza $1,3 \cdot 10^6$ °K. Se observan manchas solares y eyecciones de masa de la corona

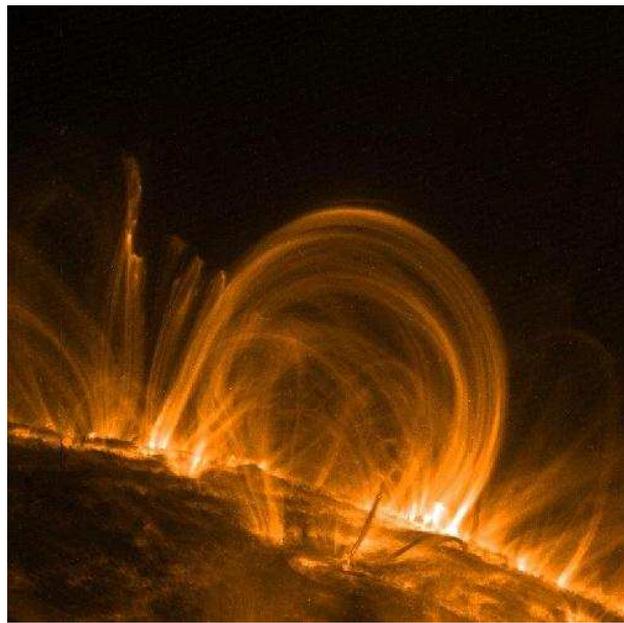


FIG. ECAE - 08 - Campos magnéticos del Sol, donde se acumula energía para ser luego liberada. Las líneas magnéticas se unen y cancelan en un proceso de reconexión, forzando la salida de plasma

Las galaxias forman filamentos; es el caso de la Gran Muralla de una longitud superior a los setecientos millones de años luz. Cuando una región tiene una densidad superior al promedio, ejerce una mayor atracción gravitacional; captura materia vecina a expensas de las regiones con menor densidad que el promedio y genera espacios vacíos. En el escenario de la materia oscura fría, las primeras estructuras que se formaron, fueron pequeñas galaxias y fragmentos de éstas. Con el paso del tiempo, la acción gravitatoria conformó grandes estructuras como la Gran Muralla, de constitución relativamente reciente. En el escenario de la materia oscura caliente, se considera que ésta se movió rápidamente en el Universo naciente, dando lugar a conglomerados de pequeña escala. Luego aparecieron grandes láminas y filamentos de decenas o centenas de millones de años luz, los que posteriormente se fragmentaron para formar galaxias; equivale a afirmar que la Gran Muralla es antigua.

La densidad media de materia en el Universo es de $2,5 \cdot 10^{-27}$ kg m⁻³ y la materia oscura es casi toda de la variedad fría. Si se explora la presencia de galaxias en regiones esféricas, de mil millones de años luz de diámetro, la densidad de galaxias, fluctúa alrededor de una parte en diez, con respecto a $2,5 \cdot 10^{-27}$ kg m⁻³, en concordancia con la simplificación propuesta por Albert Einstein, en oportunidad de aplicar la Teoría General de la Relatividad al Universo, identificada como Principio Cosmológico, de que el Universo en promedio es homogéneo e isótropo. La radiación CMB revela fluctuaciones de una parte en cien mil; éstas extrapoladas al presente, concuerdan con las observaciones.

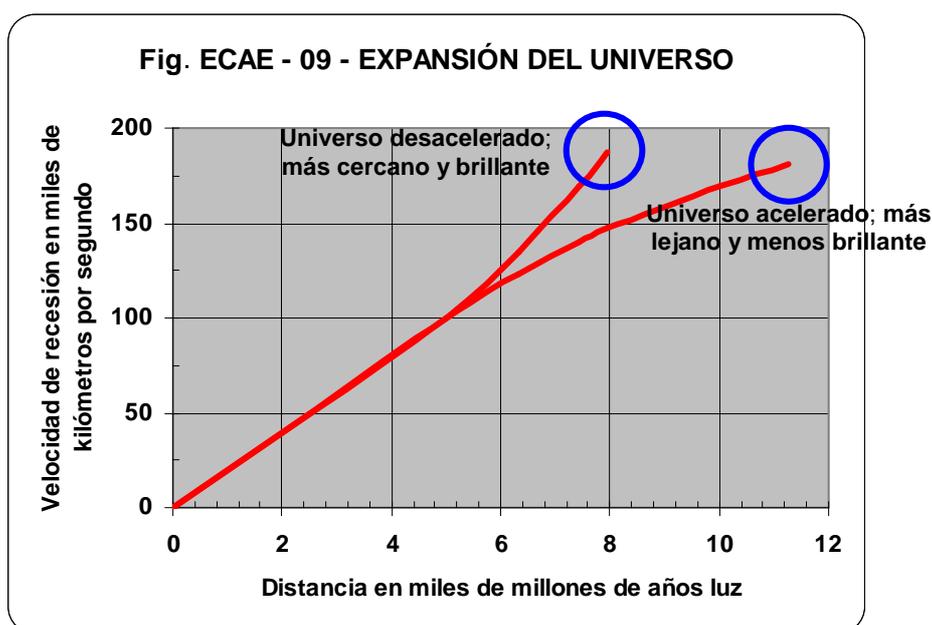
6.9.4. - Desplazamiento al rojo o *Doppler red shift*. la detección en 1998 del desplazamiento al rojo y consiguiente pérdida de brillo de la luz proveniente de Supernovas (explosiones estelares que por un breve tiempo brillan como diez mil millones de Soles) que explotaron hace miles de millones de años, condujo a la conclusión de la aceleración y no de la desaceleración de la expansión del Universo, descubierta hace unos setenta y cinco años por el astrónomo Edwin Hubble, tal como se expresó antes (Riess, A. G. and M. S. Turner, 2004).

Hubble observó el alejamiento de otras galaxias con respecto a la nuestra, donde las más distantes, lo hacen más rápidamente que las más cercanas, de acuerdo con la ley que postula que la velocidad relativa es igual a la distancia multiplicada por la constante de Hubble.

La Teoría General de la Relatividad, que identifica a la gravedad como una fuerza atractiva aplicable a todas las formas de materia y energía, predice que la expansión del Universo se frenará con una tasa determinada por la densidad de su materia y energía. Sin embargo la Teoría General de la Relatividad, admite la posibilidad de formas de energía con propiedades extrañas, asociadas a la producción de una gravedad repulsiva, energía oscura o *dark energy*. La confirmación de la fase de transición o momento en que la expansión cambió del frenado o *slowdown* a la aceleración o *speedup*, por confrontación entre atracción gravitatoria y repulsión gravitatoria, estimada en hace aproximadamente cinco mil millones de años, permitirá posiblemente, conocer la naturaleza de la energía oscura y probablemente, la suerte final del Universo.

Se presume que en el pasado distante, la densidad de la materia prevalecía y consiguientemente la atracción gravitatoria, determinante de la formación de estructuras cósmicas; operaba la desaceleración de la expansión iniciada durante la Inflación del Universo. Alcanzado un determinado tamaño, con una energía oscura de densidad lentamente cambiante o constante, se produjo la expansión positivamente acelerada, confirmada por la velocidad de recesión o retirada de las galaxias.

Se recurre a las Supernovas Ia, que son probablemente el producto de explosiones termonucleares de estrellas enanas blancas o *white dwarfs* de 1,4 veces la masa del Sol, de luminosidad intrínseca conocida, expresada como radiación producida por segundo, para determinar la velocidad de recesión mediante el desplazamiento al rojo o *red shift* de la luz proveniente de la galaxia a la que pertenece (ver FIG. ECAE - 09 - EXPANSIÓN DEL UNIVERSO).



La energía del vacío, matemáticamente equivalente a la constante cosmológica propuesta por Einstein en 1917, es la entidad que se conceptúa adecuada para explicar la aceleración causada por la energía oscura. Una nueva ley de gravedad emerge desde la Teoría de Supercuerdas, como intento unificador de las fuerzas de la Naturaleza. Considerada como aplicable a lo más pequeño, puede tener consecuencias macroscópicas (Dvali, G., 2004). La Teoría predice que el Universo tiene dimensiones extra, hacia las cuales la gravedad, a diferencia de la materia ordinaria, puede escapar. Esta fuga curvaría el espacio-tiempo continuo, causando la aceleración de la expansión cósmica. El fenómeno tendría un pequeño pero observable efecto sobre el movimiento planetario (ver apéndice: **NOTAS SOBRE ALGUNOS ASPECTOS DE LA TEORÍA DE SUPERCUERDAS Y DEL MODELO ESTÁNDAR DE LA MATERIA**).

Una Teoría Cuántica de la gravedad probablemente subsuma a la Relatividad. La característica de la Teoría de Super Cuerdas, que posibilita un tratamiento diferente de la fuerza gravitacional, es su espacio de diez dimensiones. Éstas no son necesariamente extremadamente pequeñas; son ocultas para el observador, pues la naturaleza de sus propias partículas está atrapada en el espacio tridimensional. La única partícula que elude el confinamiento, es la que transmite la fuerza de gravedad, el gravitón; por ello la ley de gravitación, cambia. Se afirma que un volumen completamente vacío, exento de toda materia, contendría una energía equivalente a $10^{-26} \text{ kg m}^{-3}$, para respaldar la noción de energía oscura. Si el espacio fuera de cuatro dimensiones, la superficie de control en la que se distribuirían las líneas de fuerza de la gravedad, sería tridimensional y por ende, la densidad de las líneas de fuerza, decrecería con el cubo de la distancia. La gravedad sería menor que en un mundo tridimensional. En escala cosmológica, entonces, el debilitamiento de la acción gravitatoria, conduciría a la expansión acelerada. Según la Teoría de Super Cuerdas, las dimensiones adicionales son compactas, curvadas en círculos minúsculos, finitos. Se asumió originalmente que su longitud era la de Plank; ésto es, del orden de 10^{-35} m . Actualmente se acepta hasta una longitud de 0,2 mm.

El Universo observable puede ser una superficie tridimensional o membrana (*membrane* o abreviadamente *brane*), en un cosmos multidimensional. Como se ha expresado, la materia ordinaria está confinada a la *brane*, pero algunas fuerzas como la gravedad pueden escapar. La atracción gravitatoria resulta del flujo de gravitones o vibración de minúsculas cuerdas como bucles o lazos cerrados, entre dos cuerpos. Los electrones, protones y fotones son cuerdas abiertas cuyos extremos están adheridos a la membrana o *brane* que constituye el Universo Humano. Los gravitones, son libres y pueden explorar con limitaciones, el espacio deca-dimensional, pues no tienen extremos ligados a la membrana, sino formando bucles.

El Universo tridimensional o *brane* está poblado de partículas virtuales cargadas unas con energía positiva y otras con energía negativa. Existen de a pares y en ausencia de gravitones están aleatoriamente alineadas. Cuando un gravitón entra o sale de la *brane*, las partículas virtuales se polarizan, lo que genera una fuerza gravitacional opuesta al movimiento del gravitón. Si el gravitón se mueve a lo largo de la *brane*, no afecta a las partículas virtuales, las que no impiden su manifestación. Además, los gravitones con reducido momento o con gran longitud de onda, entran o salen libremente de la membrana; ésto ocurre entre galaxias lejanas, donde los gravitones escapan a otras dimensiones, debilitando la atracción gravitatoria entre ellas y por ende favoreciendo la expansión acelerada. En el caso del Sistema Solar, por ejemplo, el Sol ejerce una fuerza de atracción sobre la Tierra, emitiendo gravitones virtuales, de momento elevado o corta longitud de onda. Éstos están impedidos de abandonar la membrana, comportándose como si las dimensiones extra, no existieran.

6. 9. 5. - Etapas cognitivas e incertidumbre: en los párrafos precedentes se pone de manifiesto que las mismas leyes físicas que rigen en la Tierra y en el Sistema Solar, lo hacen describiendo las características fundamentales y el comportamiento de la materia y de la energía en todo el Universo. Se ha señalado también, que un atributo general de las nuevas teorías científicas, es que si deben reemplazar teorías anteriores exitosas; entonces, deben contenerlas. Tal es el caso de la Teoría General de la Relatividad que incluye a la Mecánica Clásica o Newtoniana. Vale asimismo, la prudente observación de Alfred North Whitehead (1861-1947), en el sentido de que no se dispone de verdades completas, siendo todas, verdades a medias. Es tratándolas como enteras verdades, que se invoca el mal⁴.

Si se evalúan las consecuencias del Principio de Incertidumbre de Heisenberg, cabe inquirir, extendiéndolo más allá de la Mecánica Cuántica, si necesariamente, la adquisición de todo conocimiento, es intrusiva y está afectada de similar incertidumbre. Aún en el terreno de la Matemática, ciudadela o bastión de la certeza o de la verdad en sentido lógico, el teorema demostrado por el matemático austriaco Kurt Gödel (1906-1978) a comienzos de la década de los '30, prueba que dentro de todo sistema formal, independientemente de cuán satisfactoriamente esté estructurado, hay siempre interrogantes que no pueden ser respondidos con certeza, existiendo contradicciones y errores encubiertos, susceptibles de ser hechos evidentes (Hofstadter, D. R., 1999). En consecuencia, el acceso al conocimiento implica intrusión y sólo puede aspirar a aproximarse a la certidumbre, independientemente del esfuerzo humano por obtener saberes completos (ver apéndice sobre **EL NACIMIENTO DEL TIEMPO Y EL FIN DE LAS CERTIDUMBRES. TIEMPO, CAOS Y LAS LEYES DE LA NATURALEZA**). Se conoce dentro de límites, no absolutamente, aún pudiendo ajustarse los límites de modo de satisfacer las necesidades que se planteen.

Curiosamente, a pesar de la incertidumbre; a pesar de ser la exactitud un atributo elusivo, el saber es perfectible y permite al hombre, operar sobre el mundo. Debe recordarse como se expresó en el **PRÓLOGO**, que el camino ha de reconocerse con paso reverente, en la certeza de que se nos es dado, atisbar apenas, la deslumbrante complejidad del mundo que moramos.

Pitágoras, a quién asocia Charles Van Doren con la invención de la Matemática, afirmó que las cosas son números y los números son cosas, dando así comienzo a una línea de pensamiento, hoy plenamente vigente, sobre la estrecha conexión entre el mundo material y las Ciencias Formales. Son sin embargo, las cosas y los números, de naturaleza diferente (Van Doren, C. 1992). El mundo o mas bien el Universo, es inteligible en términos matemáticos, estableciéndose de este modo un vínculo entre la realidad visible o la invisible; las variadas manifestaciones de la morfogénesis y la mente humana (Stewart, I., 1998).

La línea más famosa de la novela *Candide* de Francis Marie Arouet, llamado Voltaire (1694-1778) es la final: "debemos cultivar nuestro jardín." Ésa es la respuesta de Cándido al filósofo y maestro Pangloss, quién intenta repetidas veces probar que el hombre vive en el mejor de todos los mundos posibles, no importa qué infortunios sufra o que desastres le acontezcan⁵. Desde que *Candide* fuera publicado en febrero de 1759, esa línea ha parecido expresar cierta reticencia a verse involucrado; casi una negativa quietista a ser distraído por el gran caos de los acontecimientos terrenales. Y esta lectura del mundo, tiene sentido, aún si Cándido no hubiera vivido una existencia de penurias.

⁴ *There are no whole truths; all truths are half truths. It is trying to treat them as whole truths that plays the devil.*

⁵ Voltaire se vale maliciosamente del personaje de Pangloss, para aludir irónicamente al optimismo de Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716).

De hecho, la prescripción precedente es la suma de su sabiduría; su reconocimiento de que no importa que recurso se elija para explicar el mundo. El jardín aún necesita ser cultivado (Klinkenberg, V., 2004). Impregnada de similar escepticismo es la expresión que vertiera el 30 de septiembre de 1859, Abraham Lincoln (1809-1865), en el sentido de que todo pasará⁶.

En la elaboración de los modelos cosmológicos, teóricos o empíricos, asociados con el tránsito o cambio de escala del *οἶχος* al *χόσμος*, están presentes los pasos del proceso de gestión del conocimiento, donde el conocimiento tácito es compartido [(1) compartición del conocimiento tácito], creándose y justificándose conceptos o entidades abstractas [(2) creación de conceptos y (3) justificación de conceptos], las que se relacionan y vinculan funcional o ecuacionalmente, mediante estructuras formales calibradas [(4) construcción de prototipos], para ser luego verificadas y validadas [(5) nivelación cruzada de conceptos].

6.9.6. - Afirmaciones y formulaciones científicas: cuando una idea fluye hacia la siguiente y cada una se vincula con el todo, ocurre el aprendizaje humano. El conocimiento y la comprensión se fundan en la articulación con el todo, de cada idea y de cada descubrimiento; en la significación que aportan, conforme se opera un mejor y más abarcador ajuste de los hechos y fenómenos objeto de modelización (Jester, J. *et al.*, 2002). La más hermosa experiencia que el hombre puede vivir, según Albert Einstein, es la del misterio; fuente de todo arte verdadero y de toda ciencia. Quién es ajeno a esta emoción y no se detiene ante él, a reflexionar maravillado y temeroso, está como muerto; sus ojos están cerrados⁷.

Antes de aceptar la validez de una idea o afirmación científico-fáctica, se intenta probar que es falsa. Intervienen en este proceso, la observación; la experimentación y el trabajo teórico, como aplicación rigurosa de la razón. Sólo luego de numerosos intentos fallidos de falsación, se acepta la probable certidumbre de esta aserción. La construcción de la ciencia, no es ajena al descubrimiento; a la iluminación-penetración; a la intuición y a la creatividad. La imaginación es más importante que el conocimiento⁸, sostenía también Albert Einstein.

En el arte, el hombre es el jurado; en la ciencia, lo es la naturaleza, que actúa como filtro de todas las teorías, dando lugar a un refinamiento recursivo. La fortaleza de la ciencia, reside en su vulnerabilidad. Thomas Samuel Kuhn (1922-1996) en su obra *The Structure of Scientific Revolutions*, originalmente publicada en 1962, enfatiza la tensión entre la necesidad humana, de que la ciencia construya un sistema de creencias que permita interpretar el mundo y el requerimiento ocasional y probablemente penoso de dismantelar drásticamente, el sistema de creencias vigente (Kuhn, T. S., 1996). El enfoque de Kuhn, implica un cambio en el debate filosófico, reemplazando el modelo formalista por el abordaje historicista, según el cual, la ciencia se desarrolla siguiendo determinadas fases: 1) Establecimiento de un paradigma; 2) Ciencia normal; 3) Crisis; 4) Revolución científica y 5) Establecimiento de un nuevo paradigma. Es fundamental en esta concepción la noción de "paradigma"; sobre el particular Kuhn expresa: "Considero a los paradigmas como realizaciones científicas universalmente reconocidas que, durante cierto tiempo, proporcionan modelos de problemas y soluciones a una comunidad científica".

⁶ *And this, too, shall pass away.*

⁷ *The most beautiful thing we can experience is the mysterious. It is the source of all true art and all science. He to whom this emotion is a stranger, who can no longer pause to wonder and stand rapt in awe, is as good as dead, his eyes are closed.*

⁸ *Imagination is more important than knowledge.*

En palabras de Kuhn, ciencia normal significa investigación basada firmemente en una o más realizaciones científicas pasadas, realizaciones que alguna comunidad científica particular reconoce, durante cierto tiempo, como fundamento para su práctica posterior. Expresa asimismo que revoluciones científicas, se consideran aquellos episodios de desarrollo no acumulativo en que un antiguo paradigma es reemplazado, completamente o en parte, por otro nuevo e incompatible. La ciencia es una forma de ver o de pensar el mundo y una forma de vincularse con el cosmos, mediante la identificación y caracterización de patrones o *patterns*. La ciencia empírica se configura a partir de la percepción; de la observación y de la descripción precisa de los patrones que exhibe la naturaleza; exige asimismo, creatividad; capacidad para formular conjeturas y para abrirse al descubrimiento. Las leyes empíricas proporcionan modelos descriptivos y por ende no explicativos, del comportamiento de los sistemas naturales. Permiten predecir sus manifestaciones futuras, siempre que se mantengan las condiciones experimentales. La comprensión de estas leyes, debe darse en el marco de principios científicos generales, a partir de los cuales, sea posible deducirlas.

Como se ha consignado en el apéndice sobre **CONOCIMIENTO COTIDIANO Y CONOCIMIENTO CIENTÍFICO**, las formulaciones teóricas, hipotético-deductivas, permiten deducir leyes, las que están sujetas a posterior verificación empírica o experimental. La invención de leyes naturales hipotéticas, a partir de las cuales puedan derivarse reglas empíricas verificables, es un proceso que caracteriza a las formulaciones científicas teóricas (ver **NOTAS SOBRE ALGUNOS ASPECTOS DE LA TEORÍA DE SUPERCUERDAS Y DEL MODELO ESTÁNDAR DE LA MATERIA**).

Una teoría es una proposición o bien la representación de un cuerpo de conocimientos, cuidadosamente construido, que toma en consideración todos los datos relevantes; la comprensión y los saberes disponibles sobre como se manifiesta y opera la naturaleza (Bak, P., 1996). Hace también predicciones corroborables, en relación con los resultados de futuras observaciones y experimentos. Una teoría es el producto calificado, del desarrollo avanzado de una idea, sólidamente vinculada con el conocimiento experimental o empírico y con el conocimiento teórico, susceptible de ser contrastada con la naturaleza. Las ideas se corresponden con la noción de cómo algo debe ser y toda idea que conduzca a predicciones formal o experimentalmente comprobables, es una hipótesis. Ésta puede anticiparse a una teoría científica o bien puede ser deducida o basarse en una teoría existente. Una teoría satisfactoriamente corroborada, es la que ha superado numerosas pruebas conceptuadas como fundamentales y discriminantes. Ocupa un espacio en una jerarquía de conocimiento científico. Los modelos formales, conectan las teorías con el comportamiento de los sistemas complejos objeto de estudio y cuando siendo de reconocida importancia, superan exitosamente las pruebas extensivas e intensivas a las que se los somete, adquieren la categoría de leyes. Los principios científicos, base de toda modelización, como la navaja de Occam u *Occam's razor* o principio de parsimonia, son una guía en la construcción de nuevas teorías (ver el apéndice **SOBRE COMPLEJIDAD Y RESTAURACIÓN AMBIENTAL; PROPUESTA CONCEPTUAL Y METODOLÓGICA PARA EL ESTUDIO FORMAL DE ECOSISTEMAS DOMINADOS POR EL HOMBRE**). La ciencia es viva y por ende dinámica. Las ciencias fácticas y las ciencias del hombre, están sujetas a la revisión permanente que les imponen la observación y las pruebas experimentales, diseñadas conforme al rigor y a las exigencias formales que requiere la aplicación del método científico.

El progreso de la ciencia y de la Física de modo particular, se refleja en un tratamiento que es comparativamente más contraintuitivo, en contraposición con las ideas en general basadas en el sentido común, que acompañaron su inicio. La filogénesis humana, como mecanismo evolutivo, no precisó convivir con la naturaleza dual, ondulatoria y particulada de la luz y la materia.

Los requisitos de la supervivencia, no ejercieron en este aspecto, una presión evolutiva sobre el *Homo sapiens*; ésto es, nuestros ancestros no tuvieron necesidad de adaptarse a velocidades superiores a las de vigencia de la Mecánica Newtoniana, no precisaron más que las tres dimensiones espaciales y el tiempo como variables distinguibles. La aventura del presente, en la expresión del ilustre novelista suizo de origen alemán, Hermann Hesse (1877-1962), exige que para nacer haya que romper un mundo (Hesse, H., 2003).

6. 9. 7. - Formalización y formalismo: formalizar un lenguaje, equivale a especificar, mediante un metalenguaje, la estructura de aquel. A tal efecto, se precisa por medio del metalenguaje, exclusivamente la forma de las expresiones del lenguaje. Estas expresiones del lenguaje formalizado, pueden referirse a cualquier contenido; pueden ser las del lenguaje filosófico, o las de un sistema filosófico determinado o bien las de un lenguaje científico como el de la Matemática o la Lógica o ser parte de tales lenguajes (Ferrater Mora, J., 1999).

La formalización de un lenguaje se lleva a cabo de acuerdo con ciertos requisitos; tales como la enumeración de todos los signos no definidos; la especificación de las condiciones en que una fórmula dada pertenece al lenguaje; el enunciado de los axiomas usados como premisas; la exposición de las reglas de inferencia aceptadas para efectuar deducciones; etc. No obstante la posibilidad de formalizar cualesquiera lenguajes, los mejores resultados se han obtenido con los lenguajes lógico-matemáticos, donde no hay estricta línea divisoria entre formalizar y aportar; descubrir; inferir o deducir una prueba.

Por Kurt Gödel, tal como se expresó precedentemente, se sabe que, dado un sistema lógico, puede probarse que habrá siempre en él, por lo menos un teorema indecidible. La formalización del lenguaje, puede convertir el teorema en decidible, pero entonces habrá en algún subsistema lógico contenido, por lo menos un teorema, no decidible y así sucesivamente con cualesquiera subsistemas. Los resultados lógicos de Gödel no se oponen a la formalización; muestran simplemente lo que sucede al llevarla a cabo; ésto es, la imposibilidad de convertir la lógica que es un sistema de convenciones, en un absoluto. Sin embargo, el marco de la Lógica, sigue siendo el único en el cual puede insertarse la Matemática (Hofstadter, D. R., 1999).

El término formalismo, puede entenderse en varios sentidos; de modo muy general, designa la tendencia a ocuparse principalmente, si no exclusivamente, de caracteres formales o de existencia objetiva. Si, en cambio, el término forma tiene sentido moderno, el formalismo equivale a prestar atención preponderante, o exclusiva a los aspectos ideales de la realidad. En un sentido también general, pero menos ambiguo, se emplea el vocablo formalismo como caracterización de varias disciplinas filosóficas, donde como estudio de las estructuras generales de un objeto o de una ciencia, se contrapone a la consideración material del contenido del objeto o de la ciencia. Por ser la Lógica una disciplina estrictamente formal, puede decirse que su característica más general es el formalismo⁹.

⁹ Se usan adverbios latinos como términos técnicos; entre ellos, figuran los vocablos *formaliter* o formalmente y *eminenter* o eminentemente. Se enuncia algo *formaliter* cuando se dice de un modo propio, de acuerdo con su significado preciso. Una definición de una cosa *formaliter* es una definición de la naturaleza específica de la cosa. Un término entendido *formaliter* es un término entendido como tal. Se enuncia algo *metaphorice* o metafóricamente cuando se dice de un modo impropio y traslativo; se enuncia algo *materialiter* o materialmente cuando se dice que pertenece al objeto completo y se enuncia algo *virtualiter* o virtualmente cuando se hace referencia a la causa capaz de producirlo.

6.9.8. - El Lenguaje de la Matemática: la Matemática es la ciencia de los patrones o *patterns*, en el sentido de modelos, que hace visible lo invisible; ciencia de las estructuras abstractas, en las que aún no lográndose capturar todo lo que es cognitivamente aprensible, se gana en comprensión, la que contribuye a la conformación de un todo mayor. Es el lenguaje en que está escrito el gran libro de la naturaleza, según Galileo Galilei (1564-1642); es la llave abstracta que abre el cerrojo del universo físico, afirmaba en 1986 John Polkinhorne, catedrático de la Universidad de Cambridge. Nikolai Ivanovich Lobachevsky (1792-1856), creador de la Geometría Hiperbólica, sostenía que no existe rama de la Matemática, aún abstracta, que alguna vez no se aplique a la modelización de fenómenos del mundo real (Devlin, K., 2002).

George Pólya (1887-1985), padre de las estrategias para la solución de problemas, basadas en entender el problema; configurar un plan; ejecutar el plan y mirar hacia atrás, expresaba que la capacidad de soslayar una dificultad; de seguir un camino indirecto cuando el directo no aparece, es lo que ubica al animal inteligente sobre el torpe, lo que coloca al hombre por encima de los animales más inteligentes y a los hombres de talento por encima de sus compañeros, los otros hombres. Un principio básico en la ciencia, es que ninguna conjetura debe aceptarse sin motivos que la justifiquen; ha de actuarse enunciando y probando estas conjeturas o explicaciones tentativas, dadas a fenómenos observados, y para probarlas, debe emplearse un método adecuado (Arcos, R., 1998).

El método inductivo implica llegar a una conclusión probable basándose en muchos casos particulares, sin embargo, inductivamente no es posible alcanzar certeza en las conclusiones. Ésto sólo se consigue con el único instrumento que en el mundo del pensamiento opera válidamente: el proceso de deducción lógica. Se trata del llamado método deductivo, basado en los principios de la Lógica, adecuadamente reunidos y coordinados entre sí; consiste en partir de proposiciones generales para llegar a conclusiones particulares. Lo que es equivalente a expresar que se parte de los postulados para alcanzar los teoremas. En Matemática se enfatiza el razonamiento deductivo, y casi exclusivamente por el uso de él, pueden obtenerse las pruebas que respaldan las conclusiones. Este aspecto caracteriza y distingue a la Matemática como sistema deductivo.

El ideal anhelado por Platón, de una ciencia en la que todo se define y se demuestra, no es alcanzable, pues definir un objeto o un ente de naturaleza cualquiera, implica presentarlo en sus relaciones con otros que, a su vez, deben ser definidos o comúnmente tenidos por conocidos. Demostrar una proposición cualquiera, significa derivarla de otra, que a su vez debe ser demostrada y por eso, deducida de una precedente y así sucesivamente. Una demostración es un encadenamiento de proposiciones que permite obtener la conclusión o tesis a partir de ciertas proposiciones o condiciones iniciales llamadas premisas, supuestas verdaderas. La demostración es un proceso de razonamiento deductivo, que va desde las premisas hasta la conclusión, de tal forma que no se cometan errores a lo largo su desarrollo. En la demostración directa, se forma una cadena de proposiciones para deducir la conclusión o tesis, a partir de un conjunto de premisas (hipótesis + resultados de la teoría), de tal modo que la última es la conclusión, y cada una de ellas es una premisa o una consecuencia válida de una o varias que la preceden. Deben tenerse inicialmente, claramente diferenciadas, la hipótesis como condiciones de partida y la tesis como lo que se quiere demostrar de la proposición. Cuando se quiere demostrar que una proposición universal es falsa, bastará con demostrar que su negación es verdadera. Este argumento se basa en una tautología o regla de inferencia. En el método de demostración indirecta, se parte de la negación de la conclusión y por medio de argumentos válidos, se llega a la negación de la hipótesis.

Una proposición compuesta es una tautología si y sólo si su valor de verdad es verdadero, independientemente de que los valores de verdad de sus proposiciones componentes, sean falsos o verdaderos. Una proposición compuesta es una contradicción si y sólo si su valor de verdad es falso, independientemente de que los valores de verdad de sus proposiciones componentes, sean falsos o verdaderos. Se dice que una proposición compuesta es una falacia, si ella no es una tautología ni una contradicción. La combinación de proposiciones, hecha conforme a las reglas de la Lógica Booleana como matematización avanzada del silogismo aristotélico; de la Lógica Proposicional, inspirada en el legado de los filósofos estoicos; del Álgebra de Predicados o de la Lógica Matemática, en general, ha sido analizada en el capítulo de **MATERIALES Y MÉTODOS** y aplicada en el de **RESULTADOS**. La conclusión operatoria del planteo lógico-matemático, se expresa en proposiciones compuestas, más complejas, tal lo presentado en este capítulo de **ESTUDIO DE CASOS Y APLICACIONES EMPÍRICAS**.

En síntesis, proposición es todo enunciado al que se le asigna un solo valor de verdad; verdadero o falso, pero no ambos. Los patrones lógicos emergentes de la combinación de proposiciones, son patrones de verdad que cuentan con el respaldo de las tablas homónimas. En los patrones de verdad, se fundamentan las reglas para combinar proposiciones; una prueba o deducción válida, es entonces, una sucesión de proposiciones, donde cada una se deduce de la precedente mediante *modus ponens* o implicación o bien es una de las premisas. En la Lógica de Predicados, tal como se ha visto en oportunidad de presentar los fundamentos de unas de las estrategias de representación del proceso de adquisición del conocimiento, planteadas en la formalización de la **HIPÓTESIS** de la presente **TESIS**, el estudio de los patrones de deducción, es precedido y depende de los patrones lingüísticos empleados en la construcción de las proposiciones, como elementos básicos de la argumentación o razonamiento. Estos bloques constructivos o *building blocs*, enuncian propiedades o bien tienen entidad de predicados. La Lógica de Predicados, extiende la Lógica Proposicional, conmutando el enfoque de proposiciones a oraciones o fórmulas que responden a una gramática.

Toda verdad matemática, expresada como: $si A \Rightarrow B$, donde A equivale a un postulado o axioma¹⁰ (lo valioso en griego), se sustenta en la prueba o demostración y todos los hechos matemáticos se prueban por deducción, a partir de un conjunto inicial de axiomas. En esto se basa el método axiomático, tal que lo que se deduce a partir de un cuerpo suficientemente completo y consistente (sin contradicciones) de axiomas creíbles y simples, argumentando o razonando correctamente, es verdadero (Devlin, K., 2000). Si la teoría se desarrolla empleando el método axiomático, las definiciones que van apareciendo y las proposiciones o teoremas que se van demostrando, se apoyan en los conceptos primitivos y en los axiomas, o bien, en definiciones y proposiciones que se derivan de aquellos.

Cuando se transforman patrones de un ámbito formal a otro, para poder operar más natural y fácilmente, se mantienen los atributos intrínsecos del sistema original, tal como sucede con el Cálculo Operacional. En Matemática como en otros ordenes de la vida, frecuentemente cuenta el modo en que se expresa lo que se intenta transmitir. Interesan las verdaderas implicaciones por ser la forma básica de la mayoría de los teoremas. Esta estructura de los teoremas se simboliza por hipótesis \Rightarrow tesis o hipótesis \Rightarrow conclusión. En una implicación correcta, cuando la hipótesis es verdadera, la conclusión debe serlo; por ello, se considera la hipótesis como una condición suficiente para la conclusión y ésta, como condición necesaria para la hipótesis. Cuando la hipótesis se cumple, es información suficiente para saber que la conclusión se cumple.

¹⁰ Del latín *axiōma*, y este del griego *ἀξίωμα*; es una proposición tan clara y evidente que se admite sin necesidad de demostración.

7. - DISCUSIÓN DE RESULTADOS

7.1. - Modelización Estructural Interpretativa: se presenta la Gestión del Conocimiento en relación con la generación de modelos ambientales, como un proceso lógico y por tanto, matemáticamente formalizable. Se han empleado la modelización estructural interpretativa y las redes semánticas, como estrategias de análisis-síntesis y representación por estructuración y mapeo del conocimiento. Estos recursos metodológicos de elaboración de modelos, constituyen formulaciones de naturaleza hipotético-deductiva, comprobables o contrastables con la realidad.

En el caso de la modelización estructural interpretativa, el procedimiento iterativo de particionamiento, se interrumpe cuando el conjunto correspondiente se reduce a dos elementos como máximo. En todos los casos, en que se considera que p_j se ubica en el *lift set* de p_i , se analiza la pertenencia al *nonfeedback set* $NF(p_i)$ o bien al *feedback set* $F(p_i)$, circunscribiéndose el análisis al ámbito del sistema ecológico o ambiental objeto de estudio. La aplicación iterativa del procedimiento informático de partición de conjuntos, conduce a un listado ordenado de elementos clave. Se han realizado sobre la matriz de alcanzabilidad, las particiones, de la relación; de nivel; en digrafos separados; de L_k en subconjuntos disjuntos y fuertes y de los subconjuntos fuertemente conexos en S , para obtener la forma canónica y finalmente el modelo estructural interpretativo. Ambas metodologías, la modelización estructural interpretativa y las redes semánticas, importan formalizaciones, ajenas a toda pretensión de representación mental, propia de la Neurofisiología o de la Psicología de la Inteligencia.

Se ha señalado en el capítulo de **MATERIALES Y MÉTODOS** que cuando un digrafo o un subconjunto de un digrafo, tiene una matriz universal; es decir, todos sus elementos son unos, por matriz de alcanzabilidad, se dice fuertemente conexo o conectado. El digrafo es susceptible de ser condensado, reemplazando los componentes fuertemente conexos o los de un ciclo (secuencia $\{p_1, p_2, p_3, \dots, p_n\}$ cerrada, tal que p_n está conectado con p_1), por un elemento simple o sustituto, conceptualizado como componente fuerte del digrafo. Si en la **Fig. R - 02 - MODELIZACIÓN ESTRUCTURAL INTERPRETATIVA DE LAS RELACIONES ENTRE ENTIDADES (OBJETOS Y PROCESOS) ASOCIADAS A LA GENERACIÓN DE MODELOS AMBIENTALES**, se opera en los bloques la anotada condensación; si se fusionan los bloques correspondientes a disponibilidad, cantidad y confiabilidad de los datos (**DCD**) y análisis de la información y revisión de conocimientos (**AIR**) y nivel de complejidad (**NDC**), con los de su mismo nivel jerárquico y se elimina el bloque de operaciones de revisión (**ODR**), por ser todos los lazos de realimentación de esta naturaleza, se obtiene primero la **Tabla DR - 01 - CONDENSACIÓN DE LAS ETIQUETAS O RÓTULOS DE BLOQUES CORRESPONDIENTES A LA MODELIZACIÓN ESTRUCTURAL INTERPRETATIVA DE LAS RELACIONES ENTRE ENTIDADES (OBJETOS Y PROCESOS) ASOCIADAS A LA GENERACIÓN DE MODELOS AMBIENTALES**; luego la **Tabla DR - 02 - LISTADO ORDENADO DE ELEMENTOS, OBJETO DE MODELIZACIÓN ESTRUCTURAL INTERPRETATIVA, IDENTIFICADOS POR SUS CÓDIGOS O DESIGNACIONES BREVES** y finalmente, la **Fig. DR - 01 - MODELIZACIÓN ESTRUCTURAL INTERPRETATIVA SIMPLIFICADA DE LAS RELACIONES ENTRE ENTIDADES (OBJETOS Y PROCESOS) ASOCIADAS A LA GENERACIÓN DE MODELOS AMBIENTALES**.

Tabla DR - 01 - CONDENSACIÓN DE LAS ETIQUETAS O RÓTULOS DE BLOQUES CORRESPONDIENTES A LA MODELIZACIÓN ESTRUCTURAL INTERPRETATIVA DE LAS RELACIONES ENTRE ENTIDADES (OBJETOS Y PROCESOS) ASOCIADAS A LA GENERACIÓN DE MODELOS AMBIENTALES

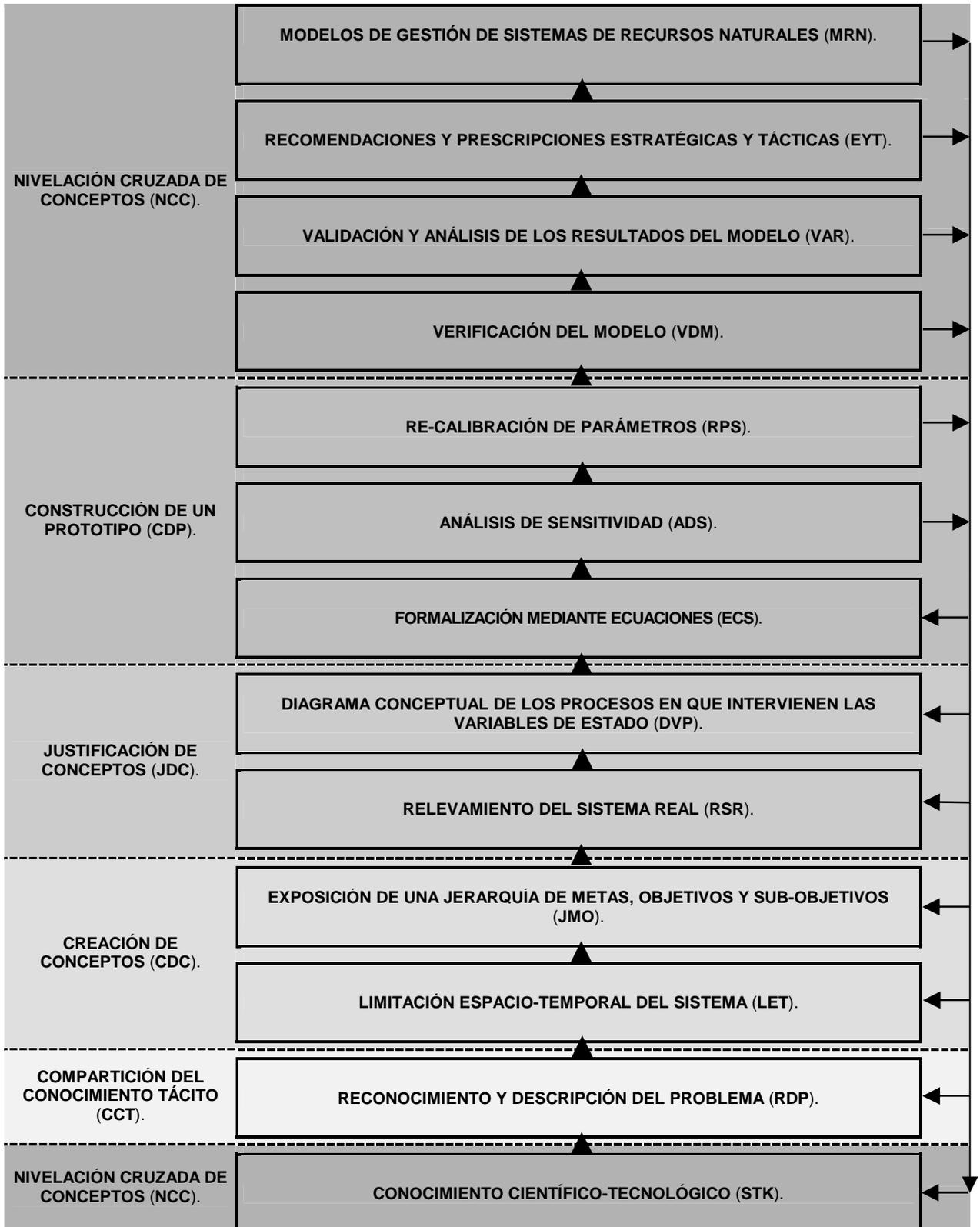
ETIQUETAS O RÓTULOS DE BLOQUES ORIGINALES:	ETIQUETAS O RÓTULOS DE BLOQUES CONDENSADOS:
MODELOS DE GESTIÓN DE SISTEMAS DE RECURSOS NATURALES (MRN).	MODELOS DE GESTIÓN DE SISTEMAS DE RECURSOS NATURALES (MRN).
RECOMENDACIONES Y PRESCRIPCIONES ESTRATÉGICAS Y TÁCTICAS (EYT), PARA APLICAR EL MODELO EN CONDICIONES ESPACIO-TEMPORALES ABIÓTICAS Y BIÓTICAS (CAB) Y SOCIOECONÓMICAS (CSE) ESPECÍFICAS.	RECOMENDACIONES Y PRESCRIPCIONES ESTRATÉGICAS Y TÁCTICAS (EYT).
GENERACIÓN DE UN CONJUNTO DE SOLUCIONES (GCS); ANÁLISIS DE LAS PRUEBAS Y RESULTADOS (APR); EVALUACIÓN Y CALIFICACIÓN DE LAS SOLUCIONES (ECS) Y VALIDACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL MODELO (VAR).	VALIDACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL MODELO (VAR).
VERIFICACIÓN DEL MODELO (VDM); TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE LAS CORRIDAS DE SIMULACIÓN (TEC) Y REVISIÓN DEL MODELO (RDM).	VERIFICACIÓN DEL MODELO (VDM).
RE-CALIBRACIÓN DE LOS 4 A 8 PARÁMETROS, CON RESPECTO A LOS CUALES EL MODELO ES MÁS SENSITIVO (RPS).	RE-CALIBRACIÓN DE PARÁMETROS (RPS).
ANÁLISIS DE SENSITIVIDAD (ADS).	ANÁLISIS DE SENSITIVIDAD (ADS).
OPERACIONES MATEMÁTICAS (ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS ESPACIO-TEMPORALES (PET); FORMALIZACIÓN MEDIANTE ECUACIONES (ECS); MODELOS DE LA INVESTIGACIÓN OPERATIVA (MIO); DEL ANÁLISIS Y DE LA DINÁMICA DE SISTEMAS (MAS); DEL TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE DATOS (TED); DE OPTIMIZACIÓN (MDO); DE SIMULACIÓN (MDS); CODIFICACIÓN COMPUTACIONAL (COC)).	FORMALIZACIÓN MEDIANTE ECUACIONES (ECS).
FORMULACIÓN DE HIPÓTESIS Y DIAGRAMA CONCEPTUAL DE LOS PROCESOS EN QUE INTERVIENEN LAS VARIABLES DE ESTADO (DVP) CONSIDERADAS RELEVANTES.	DIAGRAMA CONCEPTUAL DE LOS PROCESOS EN QUE INTERVIENEN LAS VARIABLES DE ESTADO (DVP).
REQUERIMIENTO DE DATOS (RDS); RELEVAMIENTO DEL SISTEMA REAL (RSR); DISEÑO DE EXPERIMENTOS (DDE); ADQUISICIÓN EXPERIMENTAL DE DATOS (AED); ACTUALIZACIÓN DE BASES DE DATOS (ABD); DISPONIBILIDAD, CANTIDAD Y CONFIABILIDAD DE LOS DATOS (DCD) Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN Y REVISIÓN DE CONOCIMIENTOS (AIR).	RELEVAMIENTO DEL SISTEMA REAL (RSR).
EXPOSICIÓN DE UNA JERARQUÍA DE METAS, OBJETIVOS Y SUB-OBJETIVOS (JMO).	EXPOSICIÓN DE UNA JERARQUÍA DE METAS, OBJETIVOS Y SUB-OBJETIVOS (JMO).
LIMITACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL SISTEMA (LET); NÚMERO DE SUB-SISTEMAS CONSIDERADOS (SSC) Y NIVEL DE COMPLEJIDAD (NDC).	LIMITACIÓN ESPACIO-TEMPORAL DEL SISTEMA (LET).
RECONOCIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA (RDP) Y DEFINICIÓN DE PARÁMETROS (DDP).	RECONOCIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA (RDP).
CONOCIMIENTO CIENTÍFICO-TECNOLÓGICO (STK) {CIENCIAS DE LA VIDA (CDV); CIENCIAS FÍSICAS (CFS); OTRAS DISCIPLINAS (ODS)} ⇒ {CONSULTAS EN BASES DE DATOS (CBD); DISEÑO DE EXPERIMENTOS (DDE); MUESTREO PARA ADQUISICIÓN DE DATOS (MAD)}.	CONOCIMIENTO CIENTÍFICO-TECNOLÓGICO (STK).

Tabla DR - 02 - LISTADO ORDENADO DE ELEMENTOS, OBJETO DE MODELIZACIÓN ESTRUCTURAL INTERPRETATIVA, IDENTIFICADOS POR SUS CÓDIGOS O DESIGNACIONES BREVES

Orden:	Códigos (en negrita, el que identifica al bloque):	Ubicación:
1	MRN	F - N - N - P
2	EYT , CAB, CSE	F - N - N - D
3	GCS, APR, ECS, VAR	F - N - P
4	VDM , TEC, RDM	F - N - D
5	RPS	F - P
6	ADS	F - D
7	PET, ECS , MIO, MAS, TED, MDO, MDS, COC	P
8	DVP	D - N - N - P
9	RDS, RSR , DDE, AED, ABD, DCD, AIR	D - N - N - D
10	JMO	D - N - P
11	LET , SSC, NDC	D - N - D
12	RDP , DDP	D - P
13	STK {CDV, CFS, ODS} ⇒ {CBD, DDE, MAD}	D - D

Referencias: N ≡ Non-feedback Set; F ≡ Feedback Set; V ≡ Vacancy Set; D ≡ Drop Set; P ≡ Elemento de Partición .

Fig. DR - 01 - MODELIZACIÓN ESTRUCTURAL INTERPRETATIVA SIMPLIFICADA DE LAS RELACIONES ENTRE ENTIDADES (OBJETOS Y PROCESOS) ASOCIADAS A LA GENERACIÓN DE MODELOS AMBIENTALES



En el capítulo de **INTRODUCCIÓN**, se ha expresado que atendiendo al punto de vista cuántico, no es posible emitir sentencia sobre un sistema, sin perturbarlo. Esta perturbación, que no es irrelevante, ni tampoco completamente mensurable, constituye una interacción material real, aun cuando se circunscriba a una mera observación del sistema, el que es interferido por el observador, dado que no es posible obtener conocimiento a partir de un ente u objeto estrictamente aislado. Luego de los pasos de observación, se conocen algunas de las características últimamente observadas del objeto, sin embargo, las que fueron interferidas por la última observación, no se conocerán o se conocerán de manera imprecisa. Este criterio, se emplea para justificar por que no puede lograrse una descripción completa y sin brechas de la realidad objeto de observación, a pesar de que es posible elaborar modelos mentales, completos y sin brechas.

Según Jacques Lacan, el sujeto está articulado en estructuras similares a las estructuras del lenguaje. El análisis del habla del sujeto revela que se halla entre dos niveles; el nivel consciente, sostenido por el lenguaje de la cultura y el nivel inconsciente, alimentado por el lenguaje que formal y estructuralmente está constituido por conjuntos o series de significantes organizados en formas metonímicas¹ y metafóricas². Los complejos hilos que ligan el nivel consciente con el inconsciente, están asimismo organizados estructuralmente según un modelo lingüístico, el que puede representarse topológicamente, empleando una cinta de Möbius (Ferrater Mora, J., 1999; Rey, P., 1990). El enfoque topológico, además de encararse desde el punto de vista de la Matemática, puede ser hecho desde la presentación, vinculada con el aplanamiento de las superficies y el aflojamiento de los dibujos; práctica sutil, que consiste en el vaivén entre lo que es plano y lo que está en el espacio. El proceso requiere tiempo según Jacques Lacan y consiguientemente, la topología obliga a una disciplina temporal. Expresa que el ideal de simplicidad y lentitud equivale al “desconfundimiento como estado de gracia”, que ocurre “cuando los ángeles pueden pasar” o “cuando se oye volar una mosca” (Soury, P., 1984).

“Cuando una hormiga se mueve en la superficie de una esfera, no puede pasar del interior al exterior de la misma, siguiendo un camino sobre la superficie, sin traspasarla. Del mismo modo, si una hormiga se mueve en la superficie de una semiesfera, no puede pasar de un lado al otro de la superficie, recorriendo un camino sobre la misma, sin franquear el borde de la semiesfera. Una superficie que goza de esta propiedad se llama bilátera.” La cinta de Möbius³ es una superficie unilátera, tal como muestra la **Fig. DR - 02**, no-orientable, de número cromático 6. “Se ve que el borde de la cinta está formado por una sola línea cerrada. Una hormiga puede pasar de un lado al otro, marcando una línea sobre la cinta sin franquear el borde” (Fréchet, M. y Ky F., 1974). Lo anotado, ha tenido expresión plástica en el grabado sobre madera de 1963 de Maurits Cornelis Escher (Hofstadter, D. R., 1999). Si la **Fig. R - 02** y la **Fig. DR - 01** se visualizan como cintas de Möbius; ésto es, como la consecuencia de una torsión de medio giro y luego del empalme de sus extremos, se tiene el resultado que esquematiza la **Fig. DR - 03**, donde el objeto topológico ilustra a la manera de las conexiones entre los niveles consciente e inconsciente señalados por Jacques Lacan, las vinculaciones e interacciones que ocurren permanentemente entre el conocimiento tácito y el explícito, durante el proceso cíclico y recursivo de generación de modelos ambientales.

¹ La metonimia (del griego *meta*, después y *onoma*, nombre) o trasnominación, es una figura retórica que consiste en designar una cosa con el nombre de otra, cuando están ambas reunidas por alguna relación.

² La metáfora (del griego *metaphora*, traslación) o alegoría, es una figura de retórica por la cual se transporta el sentido de una palabra a otra, mediante una comparación mental.

³ Augustus Möbius (1790-1868), fue alumno de Karl Friedrich Gauss (1777-1855). Puso en marcha la Topología como disciplina matemática, aportando una definición precisa del concepto de transformación topológica. La Topología comprende el estudio de las propiedades de los objetos matemáticos o figuras, que permanecen invariantes a través de las transformaciones de una figura en otra, de tal forma que dos puntos próximos o adyacentes cualesquiera, en la figura original, permanecen próximos o adyacentes en la figura transformada. La cinta de Möbius, se debe a éste y a la colaboración de otro alumno de Gauss, llamado Johann Listing.

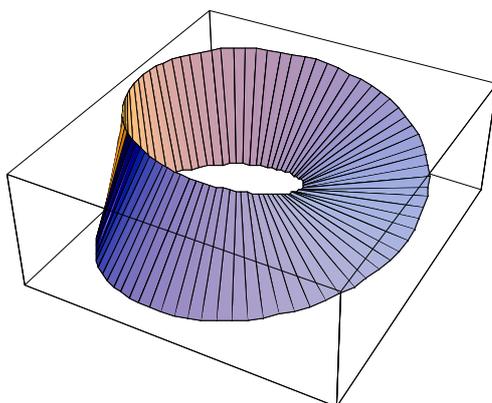


Fig. DR - 02 - CINTA DE MÖBIUS, SUPERFICIE UNILÁTERA, NO-ORIENTABLE, DE NÚMERO CROMÁTICO 6

Para facilitar la visualización, en la Fig. DR - 03, se han substituido los rótulos de los bloques originales, empleados en la Fig. DR - 01, por sus correspondientes designaciones breves, consignadas en la Tabla R - 01 sobre elementos; entidades u objetos del proceso de modelización.

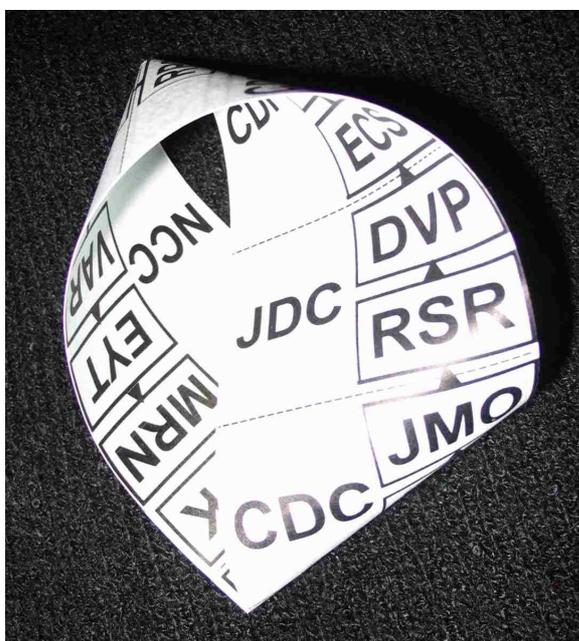


Fig. DR - 03 - OBJETO TOPOLÓGICO QUE ILUSTRAS LAS VINCULACIONES E INTERACCIONES QUE OCURREN ENTRE EL CONOCIMIENTO TÁCITO Y EL CONOCIMIENTO EXPLÍCITO, DURANTE EL PROCESO CÍCLICO Y RECURSIVO DE GENERACIÓN DE MODELOS AMBIENTALES. PARA FACILITAR LA VISUALIZACIÓN, SE HAN SUBSTITUIDO LOS RÓTULOS DE LOS BLOQUES ORIGINALES, EMPLEADOS EN LA FIG. DR - 01, POR SUS CORRESPONDIENTES DESIGNACIONES BREVES

7.2. - Representación del Conocimiento Mediante Redes Semánticas: el mapeo puede interpretarse como una modelización de las vinculaciones entre elementos u objetos o entidades cognitivas representativas de los constituyentes del sistema objeto de estudio. Estas representaciones que se han resuelto empleando redes semánticas o mapas conceptuales, basados en diagramas de bloques, pueden hacerse, recurriendo al empleo de grafos de flujo de señales.

El grafo de diseño *top-down*, en relación con el ordenamiento taxonómico o jerárquico del reino *Animalia*, según R. H. Whittaker, donde las flechas se dirigen desde el marco hijo, hacia el marco progenitor y donde se han grisado las categorías taxonómicas inherentes al hombre, tiene el propósito de ilustrar un procedimiento lógico de representación de contenidos cognitivos. No es tema de tratamiento, la validez biológico-evolutiva de la referida clasificación. Ésta tuvo en oportunidad de su publicación, un alto impacto y una marcada influencia sobre la comunidad científica (Whittaker, R. H. 1969). Es aún actualmente, de reconocido mérito académico-pedagógico. Si se accede al National Center for Biotechnology Information⁴ o NCBI de EE. UU. o a otra base de datos similar, puede obtenerse una secuencia, desde reino, hasta especie, tal como se ilustra:

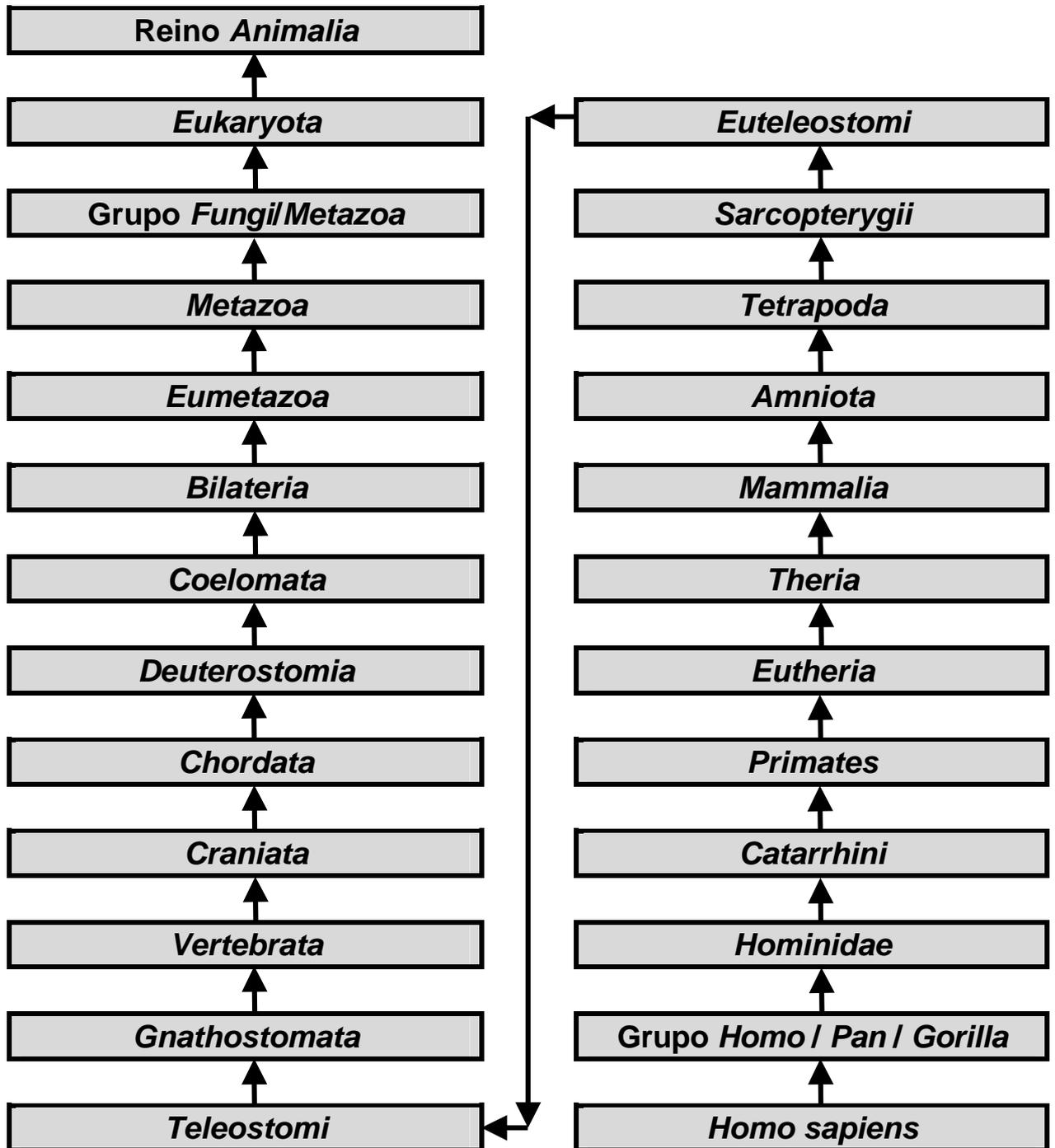
Organismo celular; *Eukaryota*; Grupo *Fungi/Metazoa*; *Metazoa*; *Eumetazoa*; *Bilateria*; *Coelomata*; *Deuterostomia*; *Chordata*; *Craniata*; *Vertebrata*; *Gnathostomata*; *Teleostomi*; *Euteleostomi*; *Sarcopterygii*; *Tetrapoda*; *Amniota*; *Mammalia*; *Theria*; *Eutheria*; *Primates*; *Catarrhini*; *Hominidae*; Grupo *Homo/Pan/Gorilla*; *Homo sapiens*.

Este ordenamiento de lo general a lo particular, cuando es confrontado con los atributos y sus correspondientes valores, propuestos por la bibliografía, exhibe algunas discordancias⁵ (Loriente Escallada, F., 1964). Aún así, el propósito presente, continúa siendo el de emplear la lógica de primer orden o cálculo de predicados de primer orden con igualdad, para representar los mundos en términos de objetos o entes con identidad individual y predicados sobre objetos. Es decir, se pretende recurrir a propiedades de los objetos o relaciones entre objetos, así como al uso de conectivos y cuantificadores, para escribir oraciones sobre lo que ocurre en el contexto objeto de estudio, en el intento de representarlo.

La **Fig. DR - 04** , ilustra sobre una representación del conocimiento, mediante una red semántica simple de diseño *top-down*, en relación con un ordenamiento taxonómico desde el reino *Animalia*, hasta el género *Homo*, según el National Center for Biotechnology Information, USA. Las referencias que la acompañan, describen de manera enunciativa y sintética, los atributos discriminantes y sus valores, en el caso de las categorías taxonómicas consideradas.

⁴ El NCBI (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi?db=Taxonomy>), fue establecido en 1988 como un proveedor de información en el dominio de la Biología Molecular; crea bases públicas de datos; conduce investigaciones en Bioinformática, desarrolla herramientas de software para analizar datos genómicos y distribuye información biomédica, para la mejor comprensión de los procesos moleculares que afectan la salud humana y/o son causa de enfermedades (Attwood, T. K. and D. J. Parry-Smith, 1999).

⁵ Puede observarse que la secuencia de lo general a lo particular, propuesta por el ordenamiento taxonómico de tipo *top-down* del National Center for Biotechnology Information (NCBI), remeda en alguna medida, la marcha del peregrino; “dos pasos hacia adelante, uno hacia atrás”.



REFERENCIAS:

Reino *Animalia*: organismos multicelulares con células eucarióticas sin pared, envueltas en membranas; sin plástidos o pigmentos fotosintéticos. La nutrición es fundamentalmente ingestiva, con digestión en una cavidad interna. Sin embargo, algunas formas son absorptivas y en determinados grupos, falta la cavidad digestiva interna. Alto nivel de organización y de diferenciación tisular en las formas más evolucionadas, con sistemas sensorios y neuromotores evolucionados. Organismos móviles; en el caso de ser sésiles, también con fibrillas contraíbles. Reproducción predominantemente sexual, con células haploides en los gametos.

Se conocen aproximadamente un millón de especies animales; éstos subsisten a base de complejos orgánicos, derivados directa o indirectamente de las plantas, los que son transformados químicamente y metabolizados para obtener energía funcional y materiales necesarios en su desarrollo. Los procesos bioquímicos requieren oxígeno y los productos finales son anhídrido carbónico; agua y urea o ácido úrico.

Eukaryota: del griego *eu* ≡ bien y *karion* ≡ núcleo; se trata de organismos con envoltura nuclear bien definida; ADN combinado con proteínas; cromosomas múltiples; nucleolos; división mitótica y/o meiótica; ribosomas 80S(60S+40S); endomembranas; mitocondrias; exocitosis y endocitosis (De Robertis, E. D. P. y E. M. F. De Robertis, 1986).

Grupo Fungi/Metazoa: este grupo abarca a los hongos (del latín *fungus*; plural *fungi*), organismos talófitos, sin clorofila y a los metazoarios, que son los animales pluricelulares o con tejidos. Los metazoarios, comprenden a todos los representantes del reino *Animalia*, con excepción de los unicelulares o acelulares, los *Protozoos* o protozoarios. Las células que forman el cuerpo de un metazoo, están organizadas en capas o grupos, constituyendo tejidos o sistemas de órganos especializados en el desempeño de distintas funciones fisiológicas. Las células pierden su independencia después del desarrollo, cuando dejan de ser elementos embrionarios y pasan a ser células del cuerpo del adulto.

Subreino Eumetazoa: organización multicelular avanzada, con diferenciación tisular y sistemas de órganos coordinados. Estos animales tienen boca y tubo digestivo (Loriente Escallada, F., 1964).

Rama Bilateria: animales con simetría bilateral con respecto a un plano mediano o sagital, desde la superficie dorsal a la ventral, que los divide en dos mitades equivalentes.

Grado Coelomata: dotados de una cavidad de origen mesodérmico, provista de un revestimiento epitelial. Los eucelomados, tienen una verdadera cavidad secundaria, delimitada por una capa de naturaleza celular, el peritoneo. El celoma es el espacio interior del cuerpo que contiene el aparato digestivo y otros órganos o vísceras. Los celomados se dividen en dos grandes grupos; los protóstomos y los deuteróstomos.

Subgrado Deuterostomia: son los animales cuyo desarrollo embrionario se caracteriza por una segmentación indeterminada del huevo. La boca es una neoformación en el extremo opuesto al blastóporo. En el Subgrado *Enterocoela*, el celoma y el mesodermo se desarrollan a partir de evaginaciones de la pared del arquenterón o cavidad o tubo digestivo primitivo del embrión, formado durante la gastrulación; por esta razón se lo llama, celoma enterocélico.

Phylum Chordata: es un fílum superior del reino animal; poseen médula espinal o cordón nervioso y tienen en síntesis, tres características distintivas: notocordio o cordón celular axial de soporte; cordón nervioso dorsal y hendiduras branquiales pares, al principio de la vida embrionaria. Estas hendiduras no funcionan y se cierran pronto, desarrollándose más tarde los pulmones.

Craniata: el encéfalo está encerrado por el cráneo que es parte del esqueleto y consta en el hombre, de ocho huesos: un occipital; dos parietales; un frontal; dos temporales; un etmoides y un esfenoides. Los craniados, son cordados vertebrados, pues poseen columna vertebral con vértebras articuladas que además, de la función estructural, protege la médula espinal. Junto al cráneo, existe una serie de arcos viscerales pares, tales como los huesos del oído medio y los cartílagos de la laringe (Loriente Escallada, F., 1964).

Subfílum Vertebrata: constituyen un subfílum del fílum **Chordata**; poseen cráneo; vértebras; cerebro y arcos viscerales. Los del grupo gnatóstomos tienen mandíbulas; este grupo comprende las superclases Peces y Tetrápodos, con las clases Anfibios; Reptiles; Aves y Mamíferos.

Superclase Gnathostomata: estos animales se caracterizan por poseer mandíbulas y apéndices pares. El grupo incluye las superclases Peces y Tetrápodos; ésta con las clases Anfibios; Reptiles; Aves y Mamíferos.

Teleostomi: referencia al significado evolutivo de un grupo con numerosas especies, que incluye peces con esqueleto óseo; boca terminal; cráneo profundo y angosto, con una fisura ventral; con fisura ótico-occipital; etc.

Euteleostomi: condición por la que el cuerpo entero o una parte del mismo, está constituida por un número fijo de células, que es el mismo en cualquier adulto. Este fenómeno de constancia celular, se llama eutelia.

Es una propiedad de ciertos tejidos, relacionada con los factores que regulan la división celular. La multiplicación cesa, tras un número fijo de generaciones celulares. El número de núcleos de las células musculares y de las fibras, pero no de las fibrillas, se fija pronto y no aumenta con el crecimiento posterior. Un feto de unos 13 cm desde el vertex al coxis, tiene tantas fibras y núcleos musculares como un hombre adulto. El número de glomérulos en cada riñón, se fija antes del nacimiento y el crecimiento posterior de los glomérulos, se debe al aumento de tamaño de las células.

Sarcopterygii: incluye a peces con aletas pares con lóbulos óseos y musculares basales; con dientes con esmalte y a los tetrápodos, pues desde que se reconoció claramente que los tetrápodos evolucionaron a partir de peces sarcopterígeos, se produjo una expansión taxonómica. Las relaciones precisas entre todos los *Sarcopterygii*, son motivo de debate. Los primeros peces hoy fósiles, con aletas lobuladas y con aleta caudal asimétrica, fueron veloces nadadores. Aparecieron en el Devónico y todos los linajes se definieron hacia finales de este período. Las formas actualmente vivientes, tienen aleta caudal simétrica. Las aletas son muy flexibles y potencialmente útiles para soportar el cuerpo en tierra.

Tetrapoda: del griego, con cuatro pies. Se considera al taxón, como una superclase del subtipo vertebrados, cuyos miembros, dotados de patas características, viven sobre la tierra.

Amniota: poseen membranas extraembrionarias protectoras especializadas durante las primeras fases del desarrollo. Estas membranas, envuelven el feto y permiten que el individuo prospere fuera del agua. Se distinguen las siguientes membranas: amnios; corion o cerosa y alantoides. El saco vitelino, también se encuentra en los *Amniota*. En los mamíferos, las membranas corion y alantoides se unen más o menos íntimamente y se asocian con el revestimiento uterino de la madre. A través de la membrana corioalantoides, se realizan intercambios nutritivos; excretorios y respiratorios entre la circulación alantoria del embrión y los vasos uterinos de la madre.

Clase Mammalia: clase de vertebrados cuyas crías se alimentan de leche segregada de manera singular por glándulas maternas. Son homeotermos y tienen corazón con cuatro cámaras y pelos en la piel.

Theria: subclase de mamíferos que abarca a los Pantóteros y a los Simetrodotes.

Subclase Eutheria: infraclase de mamíferos de la subclase *Theria*, son los mamíferos placentarios, de caja cerebral grande. Las crías nacen en un estado relativamente avanzado de desarrollo.

Orden Primates: orden de mamíferos de la cohorte de Ungiculados, con desarrollo del cerebro; de manos prensiles; de la visión y con aparato locomotor de gran agilidad. La superfamilia *Hominoidea*, comprende dos familias, la *Pongidae* o de los póngidos o monos antropomorfos: gibones y siamangs (Hilobátinos) y los gorilas; chimpancés y orangutanes (Póngidos) y la *Hominidae* o de los homínidos con los representantes fósiles *Australopithecinae* y actuales de la humanidad o *Homininae*.

Infraorden Catarrhini: infraorden de *Primates*, son los llamados monos del viejo mundo (simios y monos africanos y asiáticos). Se caracterizan por tener el hocico más o menos recto y los orificios nasales dirigidos hacia el frente.

Hominidae: familia zoológica a la que pertenece el ser humano.

Grupo Homo/Pan/Gorilla: asocia a los miembros del género *Homo*; del género *Pan*, que es el que corresponde a los chimpancés y del género *Gorilla*, de los gorilas.

Homo sapiens: todos los hombres tienen, independientemente de su raza, cromosomas homólogos. Las diferencias raciales, son atribuibles a los alelos de los diferentes *loci* de los cromosomas correspondientes. Un alelo determinado puede existir o faltar en cualquier raza, pero de ordinario, se encuentran en todas las razas. Las diferencias raciales son imputables a cambios en las frecuencias cuantitativas alélicas.

Fig. DR - 04 - REPRESENTACIÓN DEL CONOCIMIENTO, MEDIANTE UNA RED SEMÁNTICA SIMPLE DE DISEÑO TOP-DOWN, EN RELACIÓN CON UN ORDENAMIENTO TAXONÓMICO DESDE EL REINO ANIMALIA, HASTA EL GÉNERO HOMO, SEGÚN EL NATIONAL CENTER FOR BIOTECHNOLOGY INFORMATION, USA

8. - CONCLUSIONES Y RESUMEN

Se planteó como objetivo general, presentar la generación de modelos ambientales como una actividad inherentemente vinculada a la Gestión del Conocimiento. El proceso de generación de modelos ambientales y por ende del conocimiento que implican, puede ser representado empleando la modelización estructural interpretativa o bien redes semánticas o conceptuales, donde se vinculan elementos u objetos cognitivos mediante relaciones contextuales de causalidad o de herencia de atributos. Las dos metodologías de modelización cualitativa han sido desarrolladas, considerando los fundamentos formales lógico-matemáticos propios de ambas. Se las ha aplicado a la representación y a la organización sistemática de las transformaciones que ocurren durante la elaboración de modelos ambientales, planteándose su empleo en correspondencia con el estudio de casos y de aplicaciones empíricas.

La formalización del proceso de generación de conocimientos, mediante modelización estructural interpretativa, emplea grafos orientados o digrafos, basados en la interacción entre elementos, vinculados mediante relaciones contextuales de causalidad. Cada paso de la metodología de modelización, es una transformación de una forma en otra, interpretable como un isomorfismo (modificación de forma, sin pérdida de información), asociado al cambio-morfogénesis del modelo. El grafo orientado o dirigido, es representable mediante una matriz binaria, donde por razones de simplificación, se eliminan las líneas que se infieren por transitividad, obteniéndose un digrafo con un número mínimo de líneas o aristas.

Una matriz de adyacencia con un número mínimo de aristas o líneas, es única, en el sentido de su correspondencia con un digrafo único. Una única matriz de alcanzabilidad corresponde a una dada matriz de adyacencia. Sin embargo, no hay una única matriz de adyacencia para una dada matriz alcanzabilidad; interesa determinar la matriz de adyacencia transitiva, con un número mínimo de aristas. La aplicación iterativa del procedimiento informático de partición de conjuntos, conduce a un listado ordenado de elementos. Se han realizado sobre la matriz de alcanzabilidad o clausura transitiva de la matriz de adyacencia, las particiones: de la relación; de nivel; en digrafos separados; en subconjuntos disjuntos y fuertes y de los subconjuntos fuertemente conexos (operándose una condensación de bloques), con el propósito de obtener la forma canónica y finalmente el modelo estructural interpretativo.

La Teoría General de Sistemas, sintetizada en sus aspectos relevantes en un apéndice, implica enlaces estructurales funcionales entre saberes, donde la modelización holística trata el proceso dialéctico como un desarrollo genético, siendo el concepto fundamental, formador del sistema, el de célula generadora. Los lenguajes de representación requieren una relación sistemática entre oraciones y hechos; son compositivos o de composición, pues el significado de una oración es función del significado de sus partes y los mecanismos de razonamiento se basan en la representación de los hechos, no en los hechos mismos. Un adecuado razonamiento garantiza que las nuevas configuraciones simbolicen hechos derivados de aquellos representados por configuraciones previas. La lógica de primer orden o cálculo de predicados de primer orden con igualdad, representa los mundos en términos de objetos o entes con identidad individual y predicados sobre objetos; es decir, propiedades de los objetos o relaciones entre objetos, así como el uso de conectivos y cuantificadores, mediante los cuales se pueden escribir oraciones sobre todo lo que ocurre en el universo, a un mismo tiempo.

En el cálculo de predicados de primer orden, todos los hechos se refieren a objetos; a propiedades y a relaciones; no se afirma que el mundo está formado realmente por objetos y relaciones, sino que al esquematizarlo de este modo, se facilita la tarea de razonar sobre él. En las redes semánticas, la atención está puesta en las categorías de los objetos y en las relaciones que existen entre éstos, para definir la naturaleza de la red. A partir de las aseveraciones que se hacen en el lenguaje de las interacciones, se proponen los equivalentes en lógica de primer orden. La representación y estructuración del conocimiento, se apoya en el empleo de nodos cognitivos, como entidades de acumulación de información, vinculadas con un concepto o conocimiento determinado, donde la información se incorpora de modo consciente, como saber significativo y perdurable, que puede recuperarse para ser aplicado o modificado por enriquecimiento o transformación, o bien para establecer conexiones con otros nodos. La representación del conocimiento basada en marcos, es una relación de orden total; por consiguiente, sin lazos de realimentación. En caso de emplearse lazos, la relación es de orden parcial y la vinculación jerárquica, prevalece sólo localmente. Si un marco tiene más de un progenitor en el nivel inmediato superior (vinculación horizontal), se plantea una situación de conflicto que debe ser resuelta (resolución del conflicto).

El conocimiento, cuya creación efectiva depende de la existencia de un contexto facilitador¹, extrae del caos un esquema de orden, un cosmos. Es creencia o parecer cierto o verdadero, justificado; es tácito o es explícito, verificándose en éste, una alternancia expresable simbólicamente, recurriendo a la cinta de Möbius como objeto topológico unilátero. La generación de modelos ambientales, es el resultado de un proceso de Gestión del Conocimiento, donde el conocimiento tácito es compartido [(1) compartición del conocimiento tácito], creándose y justificándose conceptos o entidades abstractas [(2) creación de conceptos y (3) justificación de conceptos], las que se relacionan y vinculan funcional o ecuacionalmente, mediante estructuras formales calibradas [(4) construcción de un prototipo], para ser luego verificadas y validadas [(5) nivelación cruzada de conceptos].

En síntesis, la generación de conocimientos asociada al proceso de elaboración de modelos ambientales, puede ser visualizada, interpretada y representada mediante modelización estructural interpretativa, vinculando los elementos u objetos cognitivos utilizando relaciones contextuales de causalidad o empleando redes semánticas o conceptuales de herencia de atributos.

¹ Se identifican cinco acciones facilitadoras del conocimiento: (1) inculcar o infundir una visión del conocimiento; (2) manejar las conversaciones; (3) movilizar a los promotores del conocimiento; (4) generar el contexto adecuado y (5) globalizar el conocimiento local.

BIBLIOGRAFÍA

- Agua y Energía Eléctrica, Sociedad del Estado. 1986. *Estudio de la Colmatación del Embalse Río Hondo (Santiago del Estero)*. Recursos Hídricos – Sedimentología Fluvial. Buenos Aires (Argentina). 27 páginas.
- Allen, T. F. H. and T. W. Hoekstra. 1992. *Toward A Unified Ecology*. Complexity in Ecological Systems Series, Columbia University Press. New York, NY, USA. 384 páginas.
- Álvarez Chávez, V. H. 1993. *Técnicas para Escribir, Leer y Estudiar*. Errepar S. A. Buenos Aires, Argentina. 264 páginas.
- Anshen, R. N. 1999. *What World Perspectives Means*. Epílogo de *Physics and Philosophy. The Revolution in Modern Science* de Werner Heisenberg. World Perspectives Series, Volume XIX. En colaboración con un Consejo de Editores integrado por Niels Bohr, Richard Courant, Hu Shih, Ernest Jackh, Robert M. Maciver, Jacques Maritain, J. Robert Oppenheimer, I. I. Rabi, Sarvepalli Radhakrishnan y Alexander Sachs. Páginas: 209-213.
- Arcos, R. 1998. *El Pensamiento y el Lenguaje en la Matemática*. Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela. 106 páginas.
- Asheim, G. B. 1991. *Defining sustainability when resource management does not have deterministic consequences*. Department of Economics, University of Oslo. Oslo, Norway.
- Atkinson, K. E. 1978. *An Introduction to Numerical Analysis*. John Wiley & Sons, Inc. New York, NY, USA.
- Attwood, T. K. and D. J. Parry-Smith. 1999. *Introduction to Bioinformatics*. Addison Wesley Longman Limited - Cell and Molecular Biology in Action Series. Dorchester, Dorset, UK. 218 páginas.
- Audi, R. (General Editor). 1999. *The Cambridge Dictionary of Philosophy*. Second Edition. Cambridge University Press (Press Syndicate of the University of Cambridge, Cambridge, UK). New York, NY, USA. 1001 páginas.
- Avrami, M. and V. Paschkis. 1942. "Application of an Electric Model to the Study of Two-Dimensional Heat Flow". *Trans. Am. Inst. Chem. Engrs.* 38: 631-634.
- Bak, P. 1996. *How Nature Works: The Science of Self-Organized Criticality*. Copernicus Books. New York, NY, USA. 320 páginas.
- Beck, M. B. 1987. "Water Quality Modeling: a Review of the Analysis of Uncertainty". *Water Resources Research*, 23 (8): 1393-1442.
- Beck, M. B. (Editor). 2002. *Environmental Foresight and Models. A Manifesto*. Elsevier Health Sciences. Oxford, UK. 500 páginas.
- Beckman, T. 1997. *A Methodology for Knowledge Management*. International Association of Science and Technology for Development (IASTED). Artificial Intelligence and Soft Computing Conference. Banff, Canada.
- 1998. *Designing Innovative Business Systems Through Reengineering*. Tutorial at the 4th World Congress on Expert Systems. Mexico City, Mexico.
- Bender, E. A. 1978. *An Introduction to Mathematical Modeling*. A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons. New York, NY, USA. 256 páginas.
- Bousso, R. and J. Polchinski. 2004. "The String Theory Landscape". *Scientific American*. Volume 291, Number 3: 60-69.
- Brune, G. M. 1953. "Trap Efficiency of Reservoirs". *Transactions, American Geophysical Union*. Volume 34: 407-418.

- Calvino, I. 1996. *Por que leer los Clásicos*. Tusquets Editores, S. A. (Fábula). Barcelona, España. 278 páginas.
- Çambel, A. B. 1993. *Applied Chaos Theory. A Paradigm for Complexity*. Academic Press, Inc. San Diego, California, USA. 246 páginas.
- Chaisson, E. J. 2002. *Cosmic Evolution: The Rise of Complexity in Nature*. Reprint Edition. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts, USA. 288 páginas.
- Chapra, S. C. 1996. *Surface Water Quality Modeling*. 1st edition. McGraw-Hill Science/Engineering/Mathematics. New York, NY, USA. 784 páginas.
- Cherrett, J. M. and A. D. Bradshaw. 1989. *Ecological Concepts: The Contribution of Ecology to an Understanding of the Natural World*. British Ecological Society Symposium, London 1988. Blackwell Science Inc. Oxford, UK. 385 páginas.
- Chomsky, N. 1957. *Syntactic Structures*. Second Edition. Walter de Gruyter, Inc. New York, NY, USA. 117 páginas.
- Chow, V. T.; D. R. Maidment and L. W. Mays. 1994. *Hidrología Aplicada*. McGraw-Hill. Santafé de Bogotá, Colombia. 584 páginas.
- Common, M. and C. Perrings. 1992. "Towards an Ecological Economics of Sustainability". *Ecological Economics*, 6 (1): 7-34.
- Daly, H. 1990. "Toward some Operational Principles of Sustainable Development". *Ecological Economics*, 2: 1-7.
- Damasio, A. R. et al. 2001. *Unity of Knowledge. The Convergence of Natural and Human Science*. New York Academy of Sciences. New York, NY, USA. 289 páginas.
- Davenport, T. H. and L. Prusak. 1998. *Working Knowledge: How Organizations Manage What They Know*. Harvard Business School Press. Harvard, New Jersey, USA. 224 páginas.
- Davenport, T. O. 1999. *Human Capital: What It Is and Why People Invest It*. Jossey-Bass Inc., Publishers. San Francisco, California, USA. 251 páginas.
- Davis, H. F. and A. D. Snider. 1979. *Introduction to Vector Analysis*. Fourth Edition. Allyn and Bacon, Inc. Boston Massachusetts, USA; 340 páginas.
- De Robertis, E. D. P. y E. M. F. De Robertis. 1986. *Biología Celular y Molecular*. "El Ateneo" Pedro García S. A. Librería, Editorial e Inmobiliaria. Buenos Aires, Argentina. 628 páginas.
- Devlin, K. 2000. *The Language of Mathematics: Making the Invisible Visible*. A W. H. Freeman/Owl Book, Henry Holt and Company, LLC. New York, NY, USA. ISBN: 0-805-07254-3. 352 páginas.
- Dreyfus, H. L. 1979. *What Computers can't do: the Limits of Artificial Intelligence*. Revised Edition. Harper and Row. New York, NY, USA.
- Dvali, G. 2004. "Out of the Darkness". *Scientific American*. Volume 290, Number 2: 56-63.
- Durant, W. 1953. *The Story of Philosophy. The lives and opinions of the world's greatest philosophers from Plato to John Dewey*. Washington Square Press Publication – Simon & Schuster Inc. New York, NY, USA. 543 páginas.
- Einstein, H. A. 1972. *Sedimentation*. Symposium to Honor Professor H. A. Einstein. Edited and Published by Hsieh Wen Shen. Fort Collins, Colorado, USA.
- Erickson, P. A. 1994. *A Practical Guide to Environmental Impact Assessment*. Academic Press. San Diego, Ca, USA. 266 páginas.
- Ferrater Mora, J. 1999. *Diccionario de Filosofía*. Nueva edición revisada, aumentada y actualizada por el Profesor Josep-Maria Terricabras. Editorial Ariel, S. A. Barcelona, España. 3830 páginas (Cuatro Tomos).

- Ferreira, C. A. 1987. *Mapeo y Análisis Expeditivo del Área de las Desembocaduras de los Tributarios al Embalse de Río Hondo*. Grupo Ciencias del Ambiente, Higiene y Seguridad Laboral, Facultad Regional Tucumán, Universidad Tecnológica Nacional – Corporación del Río Dulce. S. M. de Tucumán, Argentina. 17 páginas.
- Font Quer, P. 1982. *Diccionario de Botánica*. Editorial Labor, S. A. Barcelona, España. 1244 páginas.
- Ford, A. 1999. *Modeling the Environment: An Introduction to System Dynamics Models of Environmental Systems*. Island Press. Washington, D.C., USA. 416 páginas.
- Fowler, A. C. 1997. *Mathematical Models in the Applied Sciences* (Cambridge Texts in Applied Mathematics). Cambridge University Press. New York, NY, USA. 402 páginas.
- Fréchet, M. y K. Fan. 1974. *Introducción a la Topología Combinatoria*. Editorial Universitaria de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. 62 páginas.
- Frege, G. 1879. *Begriffsschrift, eine der Arithmetischen Nachgebildete Formelsprache des Reinen Denkens*. Halle, Berlin. Reprinted in English translation in van Heijenoort (1967). Berlin, DE.
- Frost, S. E., Jr. 1989. *Basic Teachings of the Great Philosophers. A Survey of Their Basic Ideas*. Anchor Books. A Division of Random House, Inc. New York, NY, USA. 301 páginas.
- Fry, J. C. (Editor) 1994. *Biological Data Analysis: A Practical Approach*. Reprint edition. Oxford University Press, Practical Approach Series. Oxford, UK. 448 páginas.
- Gaylord, R. J. and K. Nishidate. 1996. *Modeling Nature. Cellular Automata Simulations With Mathematica*. Telos, The Electronic Library of Science – Springer-Verlag, New York, Inc. Santa Clara, California, USA. 260 páginas.
- Gibbons, M. 1999. “Science’s New Social Contract with Society”. *Nature*, 402 (Supplement 2): C 81 – C 84.
- Gillman, M. and R. Hails. 1997. *An Introduction to Ecological Modelling. Putting Practice into Theory*. Blackwell Science Ltd. Oxford, UK. 202 páginas.
- Glass, L. and M. C. Mackey. 1988. *From Clocks to Chaos - The Rhythms of Life*. Princeton University Press. Princeton, New Jersey (USA). 248 páginas.
- Glasson, J.; R. Therivel and A. Chadwick. 1994. *Introduction to Environmental Impact Assessment: Principles and Procedures, Process, Practice and Prospects. The Natural and Built Environment Series, 1*. UCL Press. London, UK. 342 páginas.
- Glenn, J. C. 1999. *Futures Research Methodology*. American Council for the United Nations University. Washington, D. C., USA [CD-ROM].
- Gödel, K. 1930. *Über die Vollständigkeit des Logikkalküls*. Ph. D. Thesis, University of Vienna. Wien, Österreich.
- Gödel, K. 1931. “Über Formal Unentscheidbare Sätze der Principia Mathematica und Verwandter Systeme I”. *Monatshefte für Mathematik und Physik*, 38:173-198.
- Goldberg, D. E. 1989. *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Addison-Wesley Pub. Co. Reading, Massachusetts, USA. 412 páginas.
- Goleman, D. 1997. *Emotional Intelligence. Why it can matter more than IQ*. Reprint Edition. Bantam Books. New York, NY, USA. 352 páginas.
- Greene, B. 1999. *The Elegant Universe. Superstrings, Hidden Dimensions, and the Quest for the Ultimate Theory*. W. W. Norton & Company, Inc. New York, NY, USA. 448 páginas.
- 2005. “One Hundred Years of Uncertainty”. *The New York Times*, published: April 8, 2005.

- Grubb, P. J. and J. B. Whittaker (Editors). 1989. *Toward a More Exact Ecology*. The Second Jubilee Symposium to Celebrate the 75th Anniversary of the British Ecological Society, St Catherine's College, Oxford 13-15 September 1988. Published as the 30th Symposium of the British Ecological Society. Blackwell Scientific Publications. Cambridge, UK. 468 páginas.
- Haimes, Y. Y. 1977. *Hierarchical Analysis of Water Resources Systems. Modeling and Optimization of Large Scale Systems*. McGraw-Hill Inc. New York, NY, USA. 478 páginas.
- Hanley, N.; J. F. Shogren and B. White. 1997. *Environmental Economics in Theory and Practice*. Oxford University Press, Inc. Oxford, U. K. 464 páginas.
- Harary, F.; R. Z. Norman and D. Cartwright. 1965. *Structural Models: An Introduction to the Theory of Directed Graphs*. John Wiley & Sons. New York, NY, USA.
- Harary, F., 1969. *Graph Theory*. Addison-Wesley. Reading, Massachusetts, USA.
- Hartwick, J. M. 1977. "Intergenerational equity and the investing of rents from exhaustible resources". *American Economic Review*, 67 (5): 972-974.
- Hawthorne, R. W. and A. P. Sage. 1974. *On Identification of System Structure, Proceedings of the Southeastern Symposium on System Theory. New Orleans, LU, USA. February 1974*. New Orleans, LU, USA.
- Hedlund, G. 1994. "A Model of Knowledge Management and the N-Form Corporation". *Strategic Management Journal*, Vol. 15, Special Issue (Summer): 73-90.
- Heisenberg, W. 1999. *Physics and Philosophy. The Revolution in Modern Science*. Introduction by F. S. C. Northrop. Prometheus Books – Great Minds Series. New York, NY, USA. 213 páginas.
- Hernández Fernández, H. 1993. *Estructurando el Conocimiento Matemático, en Didáctica de la Matemática. Artículos para el Debate*. Edición de la Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador. 84 páginas.
- Hesse, H. 2003. *Demian*. Arenal. San Salvador de Jujuy, Argentina. ISBN: 987-20748-1-X. 127 páginas.
- Hester, J. et al. 2002. *21st Century Astronomy*. W. W. Norton & Company, Inc. New York, NY, USA. ISBN: 0-393-97400-6. 620 páginas.
- Hoffmann, C. et al. 1991. "Dispersión por Cizallamiento en Grandes Masas de Agua". *VII Congreso Argentino de Fisicoquímica*. Córdoba, Argentina, 22-25/04/91. 9 páginas.
- 1993. "Sobre el Modelo de Dos Capas para Describir la Dispersión por Deslizamiento en Lagos". *VIII Congreso Argentino de Fisicoquímica*. Mar del Plata, Argentina, 19-22/04/93. 7 páginas.
- Hofstadter, D. R. 1999. *Gödel, Escher, Bach: an Eternal Golden Braid. A Metaphorical Fugue on Minds and Machines in the Spirit of Lewis Carroll*. Basic Books, a Member of the Perseus Books Group. New York, NY, USA. 777 páginas.
- Holland, J. H. 1996. *Hidden Order. How Adaptation Builds Complexity*. Helix Books, Addison-Wesley Publishing Company, Inc. Reading, Massachusetts, USA. 185 páginas.
- Holsapple, C. and K. D. Joshi. 1998. *Knowledge Management: a Three Fold Framework*. Kentucky Initiative for Knowledge Management, Research Paper N° 118, College of Business and Economics, University of Kentucky. Kentucky, USA.
- Honderich, T. 1995. *The Oxford Companion to Philosophy*. Oxford University Press. Bath, UK. 1009 páginas.
- Hu, W. and M. White. 2004. "The Cosmic Symphony". *Scientific American. Volume 290, Number 2*: 32-41.

- Hume, D.; D. F. Norton (Editor) and M. J. Norton (Editor). 2000. *A Treatise of Human Nature: Being an Attempt to Introduce the Experimental Method of Reasoning into Moral Subjects*. Oxford Philosophical Texts. Oxford University Press. Oxford, England, UK. 632 páginas.
- Husserl, E. 1913. *Ideen zu Einer Reinen Phänomenologie un Phänomenologischen Philosophie*. Traducción castellana: 1949. *Ideas Relativas a una Fenomenología Pura y una Filosofía Fenomenológica*. Fondo de Cultura Económica. México D. F., México.
- Infante Macías, R. 1978. *Teoría de la Decisión*. Universidad Nacional de Educación a Distancia. Ministerio de Educación y Ciencia. Madrid, España. 779 páginas.
- Jeffers, J. N. R. 1988. *Practitioner's Handbook on the Modelling of Dynamic Change in Ecosystems*. John Wiley and Sons. Guilford, UK. 181 páginas.
- Jørgensen, S. E. 1988. *Fundamentals of Ecological Modelling*. Elsevier Science Publishers B. V. Amsterdam, The Netherlands. 391 páginas.
- Kaplan, D. and L. Glass. 1995. *Understanding Nonlinear Dynamics*. Springer-Verlag. Castleton on Hudson, NY (USA). 420 páginas.
- Kerrod, R. 2003. *Hubble - The Mirror on the Universe*. Firefly Books Ltd. Richmond Hill, Ontario, Canada. ISBN: 1-55297-781-1. 192 páginas
- Klepper, O. and E. M. T. Hendrix. 1994. "A Method for Robust Calibration of Ecological Models under Different Types of Uncertainties". *Ecological Modelling*, 74: 161-182.
- Klinkenborg, V. 2004. "Candide's Advice". *The New York Times*. New York, NY, USA. Published: June 18, 2004.
- Kobayashi, H. 1981. *Modeling and Analysis. An Introduction to System Performance Evaluation Methodology*. Addison-Wesley Publishing Company. Reading, Massachusetts, USA. 446 páginas.
- Koning, R. E. 1994. *Cyanophyta. Plant Physiology Information*. Eastern Connecticut State University is one of four universities of the Connecticut State University System Website: http://koning.ecsu.ctstateu.edu/plant_biology/cyanophyta.html. Willimantic, Connecticut, USA.
- Korfmacher, K. S. 2001. "The Politics of Participation in Watershed Modeling". *Environmental Management*, 27 (2): 161-176.
- Krauss, L. M. and M. S. Turner. 2004. "A Cosmic Conundrum". *Scientific American. Volume 291, Number 3*: 53-59.
- Kuhn, T. S. 1996. *The Structure of Scientific Revolutions*. University Of Chicago Press; 3rd edition. Chicago, Illinois, USA. ISBN: 0226458083. 226 páginas.
- Lagmanovich, D. 1997. *Libro de Estilo para Universitarios*. INSIL, Cuadernos de Orientación Lingüística, Comunicación y Sociedad N° 2. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional de Tucumán. San Miguel de Tucumán, Argentina. 91 páginas.
- Liebmann, G. 1953. "Electric Analogues". *Brit. J. Appl. Phys.* 4: 193-199.
- Locasio de Mitrovich, C.; A. Villagra de Gamundi, B. C. Tracanna; C. Seeligmann y C. Butí. 1997. "Situación Actual de la Problemática Limnológica de los Embalses de la Provincia de Tucumán (Argentina)". *Lilloa* 39 (1): 81-93.
- Loriente Escallada, F. (Director Editorial). 1964. *Enciclopedia Salvat de la Ciencia y de la Tecnología*. Editorial Salvat. Hospitalet, Barcelona, España. 15 volúmenes.
- Luce, R. D. and H. Raiffa. 1985. *Games and Decisions. Introduction and Critical Survey*. Dover Publications, Inc. Mineola, NY, USA. 509 páginas.

- Madigan, M. T.; J. M. Martinko and J. Parker. 2002. *Brock Biology of Microorganisms* (10th Edition). Prentice Hall Inc. New York, NY, USA. ISBN: 0130662712. 1104 páginas.
- Makowski, M. and A. P. Wierzbicki. 2003. *Modeling Knowledge: Model-Based Decision Support and Soft Computations*, chapter from page 3 to page 60 in *Applied Decision Support With Soft Computing (Studies in Fuzziness and Soft Computing)* by X. Yu and J. Kacprzyk (Editors). 2003. Berlin, Deutschland. Springer-Verlag. ISBN: 3540024913. 418 páginas.
- Malézieux, E.; G. Trébuil et M. Jaeger (Editeurs scientifiques). 2001. *Modélisation des Agroécosystèmes et Aide à la Décision*. La Librairie du CIRAD et INRA Editions. Montpellier, France. 447 páginas.
- Marina, J. A. 1992. *Elogio y Refutación del Ingenio*. Editorial Anagrama, S. A. Barcelona, España. 283 páginas.
- Marquardt, M. J. 1995. *Building the Learning Organization, a Systems Approach to Quantum Improvement and Global Success*. McGraw Hill-Trade. New York, NY, USA. 242 páginas.
- Martínez-Alier, J. with K. Schlüpmann. 1994. *Ecological Economics. Energy, Environment and Society*. Blackwell Publishers. Oxford, UK. 287 páginas.
- McGlade, J. M. (Editor). 1999. *Advanced Ecological Theory. Principles and Applications*. Blackwell Science Ltd. Oxford, UK. 353 páginas.
- Midbon, M. 2000. "A Day Without Yesterday": Georges Lemaitre & the Big Bang." *Commonweal* (March 24, 2000): 18-19.
- Miller, J. G. 1978. *Living Systems*. McGraw Hill Book Company. New York, NY, USA. 1102 páginas.
- Mirande, V. y B. C. Tracanna. 1995. "Estudio Cualitativo del Fitoplancton del Embalse de Río Hondo (Argentina): I". *Cryptogamie, Algol*. 16: 211-232.
- Mirande, V.; B. C. Tracanna y C. T. Seeligmann. 2001. "Estudio Cualitativo del Fitoplancton del Embalse de Río Hondo (Argentina): II". *Lilloa* 40 (2): 235-248.
- Morenza, L. y otros. *Enfoque del Procesamiento de la Información en el Estudio de los Procesos Cognoscitivos. Valoración Crítica*. Universidad de La Habana. La Habana, Cuba.
- Nakamori, Y. and M. Ryoike. 2001. "Fuzzy Data Analysis for Three-Way Data". Joint 9th IFSA World Congress and 20th NAFIPS International Conference-Fuzziness and Soft Computing in the New Millennium, Vancouver, Canada, June 25-28: 2189-2194.
- Nakamori, Y. 2003. "Systems Methodology and Mathematical Models for Knowledge Management". *Journal of Systems Science and Systems Engineering. Volume 12, No. 1*: 49-72.
- Nicolis, G. and I. Prigogine. 1998. *Exploring Complexity. An Introduction*. W. H. Freeman and Company. New York, NY, USA. 313 páginas.
- Nonaka, I. 1994. "A Dynamic Theory of Organizational Knowledge Creation". *Organization Science*, Vol. 5. N° 1: 14-37.
- Nonaka, I. and H. Takeuchi. 1995. *The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation*. Oxford University Press, Inc. New York, NY, USA. 284 páginas.
- Nonaka, I.; R. Toyama and N. Konno. 2000. "SEKI, *ba* and leadership: a unified model of dynamic knowledge creation". *Long Range Planning*, Vol. 33: 5-34.
- Odenwald, S. F. 2002. *Patterns in the Void: Why Nothing is Important*. 1st Edition. Westview Press is a Member of the Perseus Books Group. New York, NY, USA. ISBN: 0813339383. 270 páginas.
- Ogata, K. 1987. *Dinámica de Sistemas*. Prentice-Hall Hispanoamericana, S. A. Naucalpan de Juárez, Éjido de México, México. 619 páginas.

- Ortega y Gasset, J. 1964. “¿Qué es el conocimiento?” *Humanitas*, Año XII, Número 17, Revista de la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad Nacional de Tucumán, San Miguel de Tucumán, Argentina.
- Osidele, O. O. 2002. *Reachable Futures, Structural Change, and the Practical Credibility of Environmental Simulation Models*. Dissertation.com. Parkland, FL, USA. 201 páginas.
- Peano, G. 1889. *Arithmetices Principia, Nova Methodo Exposita*. Fratres Bocca. Turin, Italia.
- Peitgen, H. O. and P. H. Richter. 1996. *The Beauty of Fractals. Images of Complex Dynamical Systems*. Springer-Verlag. New York, NY, USA. 211 páginas.
- Perera, J. G. et al. 1991. *Modelo Matemático del Proceso de Colmatación del Embalse de Termas de Río Hondo, Basado en el Empleo de un Modelo Reducido Hidráulico*. Grupo Ciencias del Ambiente, Higiene y Seguridad Laboral, Facultad Regional Tucumán, Universidad Tecnológica Nacional. 147 páginas.
- 1994. *Modelo Matemático del Proceso de Colmatación del Embalse de Termas de Río Hondo, Basado en el Empleo de un Modelo Reducido Hidráulico*. Universidad Tecnológica Nacional. Tucumán, Argentina. 147 páginas.
- 2001. “Modelización Analógico-Digital de la Difusión de Contaminantes y Nutrientes, en Condiciones de Régimen Estacionario, en el Embalse Frontal de Termas de Río Hondo, República Argentina”. *Limnetica* 20 (1): 81-92. Asociación Española de Limnología, Madrid. Spain. ISSN: 0213-8409.
- Pierce, C. S. 1902. “Logic as Semiotic: The Theory of Signs.” Unpublished manuscript: reprinted in *Buchler*, 1955: 98-119.
- Pipes, L. A. and L. R. Harvill. 1970. *Applied Mathematics for Engineers and Physicists*. 3rd Edition. McGraw-Hill Education. New York, NY, USA. ISBN: 0070855773. 960 páginas.
- Popkin, R. H. 2000. *The Columbia History of Western Philosophy*. Columbia University Press. New York, NY, USA. 864 páginas.
- Pozo Municio, J. I. y M. Á. Gómez Crespo. 1998. *Aprender y Enseñar Ciencia. Del Conocimiento Cotidiano al Conocimiento Científico*. Ediciones Morata, S. L. Madrid, España. 331 páginas.
- Prasuhn, A. L. 1987. *Fundamentals of Hydraulic Engineering*. Holt, Rinehart and Winston - International Edition. New York, NY, USA. 509 páginas.
- Prigogine, I. 1996. *La Fin des Certitudes - Temps, Chaos et les Lois de la Nature*. Éditions Odile Jacob. Paris, France. 225 páginas.
- Raymo, C. 2003. *The Path. A One-Mile Walk Through the Universe*. Walker Publishing Company, Inc. New York, NY, USA. 197 páginas.
- Real Academia Española. 1992. *Diccionario de la Lengua Española*. Vigésima Primera Edición. Editorial Espasa Calpe, S. A. Madrid, España. ISBN: 8423994163. 2133 páginas.
- Reid, W. V. et al. 2005. *Millennium Ecosystem Assessment Synthesis Report. Summary for Decision Makers; Spanish. International Work Program Designed to Meet the Needs of Decision Makers and the Public for Scientific Information Concerning the Consequences of Ecosystem Change for Human Well-being and Options for Responding to those Changes*. New York, NY, USA. United Nations Secretariat. 43 páginas.
- Rey, P. 1990. *Una Temporada con Lacan*. Editorial Seix Barral, S. A. Buenos Aires, Argentina. 191 páginas.
- Riess, A. G. and M. S. Turner. 2004. “From Slowdown to Speedup”. *Scientific American*. Volume 290, Number 2: 50-55.
- Roberts, N.; D. F. Andersen; R. M. Deal; M. S. Garet and W. A. Shaffer. 1983. *Introduction to Computer Simulation. A System Dynamics Modeling Approach*. Addison-Wesley Publishing Company. Reading, Massachusetts, USA. 562 páginas.

- Rowell, D. and D. N. Wormley. 1997. *System Dynamics: An Introduction*. Prentice-Hall, Inc., Simon & Schuster/A Viacom Company. Upper Saddle River, New Jersey, USA. 592 páginas.
- Ruggles, R. L. (III). 1997. *Knowledge Management Tools. Resources for the Knowledge Based Economy*. Butterworth Heinemann. Newton, Massachusetts, USA. 240 páginas.
- Russell, B. A. 1945. *A History of Western Philosophy and its Connection with Political and Social Circumstances from the Earliest Times to the Present Day*. Simon and Schuster. New York, NY, U.S.A. 895 páginas.
- Russell, B. A. 1998. *The Problems of Philosophy*, Second Edition with an Introduction by John Perry. Oxford University Press. New York, NY, USA. 176 páginas.
- Russell, S. J. and P. Norvig. 1995. *Artificial Intelligence a Modern Approach*. Second Edition. Prentice Hall Inc. New York, NY, USA. 1132 páginas.
- Sarmiento, S. (Editor). 1996. *Enciclopedia Hispánica - Macropedia*. Volumen 4. Encyclopedia Britannica Publishers, Inc. Versailles, Kentucky, USA. 408 páginas.
- Sage, A. P. 1977. *Methodology for Large-Scale Systems*. McGraw-Hill Book Company. New York, NY, USA. 445 páginas.
- Sáiz Bárcena, L. C. 2002. *Gestión del Conocimiento*. Curso del Doctorado en Gestión de la Empresa Industrial, de la Universidad de Burgos, España, desarrollado en San Miguel de Tucumán, Argentina y realizado en la Facultad de Agronomía y Zootecnia de la Universidad Nacional de Tucumán.
- Santaló, L. A. 1970. *Vectores y Tensores con sus Aplicaciones*. Editorial Universitaria de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. 381 páginas.
- Sawaragi, Y.; H. Nakayama and T. Tanino. 1982. *Modeling and Management Control of Environmental Systems*. (Chapter 9 - *Optimization and Control of Dynamic Operational Research Models*, S. G. Tzafestas, (Editor)). North-Holland Publishing Company. Yoshida Sakyo-ku, Kyoto, Japan. Páginas: 277-301.
- Schrödinger, E. 1996. *Nature and the Greeks and Science and Humanism*. Foreword by Roger Penrose. Cambridge University Press - Science/Philosophy of Science. Cambridge, UK. 172 páginas.
- Schuster, H. G. 1984. *Deterministic Chaos - An Introduction*. Physik - Verlag GmbH. Weinheim (Deutschland). 220 páginas.
- Seip, K. and J. Strand. 1990. *Willingness to Pay for Environmental Goods in Norway: A Contingent Valuation Study with Real Payment*. Memorandum 12, Department of Economics, University of Oslo. Oslo, Norway.
- Singh, S. 2005. *Big Bang: The Origin of the Universe*. HarperCollins Publishers Inc. New York, NY, USA. ISBN: 0007162200. 532 páginas.
- Skinner, B. F. 1953. *Science and Human Behavior*. Macmillan, London. London, England, UK.
- Soury, P. 1984. *Cadenas, nudos y superficies en la obra de Lacan*. Buenos Aires, República Argentina. Xavier Bóveda Ediciones. 177 páginas.
- Spear, R. C. and G. M. Hornberger. 1980. "Eutrophication in Peel Inlet - II. Identification of Critical Uncertainties Via Generalized Sensitivity Analysis". *Water Research*, 14: 43-49.
- Spear, R. C.; T. M. Grieb and N. Shang. 1994. "Parameter Uncertainty and Interaction in Complex Environmental Models". *Water Resources Research*, 30 (11): 3159-3169.
- Spencer, H. 1943. *Clasificación de las Ciencias*. Traducción de Eduardo Zamacois y Quintana. Prólogo de Antonio Zozaya. Ediciones Anaconda. Buenos Aires, Argentina. 105 páginas.
- Spinadel, V. de; J. G. Perera y J. H. Perera. 1993. *Geometría Fractal*. Editorial Nueva Librería. Buenos Aires, Argentina. 193 páginas + un disquete.

- Stewart, I. 1998. *Life's Other Secret. The New Mathematics of the Living World*. John Wiley & Sons, Inc. New York, NY, USA. ISBN: 0-471-29651-1. 285 páginas.
- Stokstad, E. 2005. "Taking the Pulse of Earth's Life-Support Systems". *Science*, Vol. 308, No. 5718: 41-43.
- Strasburger, E.; F. Noll; H. Schenk y A. F. W. Schimper. 1984. *Tratado de Botánica*. Editorial Marín, S. A. Barcelona, España. 798 páginas.
- Strauss, M. A. 2004. "Reading the Blueprints of Creation". *Scientific American*. Volume 290, Number 2: 42-49.
- Tanaka, H. 1987. "Fuzzy data analysis by possibilistic linear models". *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 24: 363-375.
- Tarski, A. 1956. *Logic, Semantics, Metamathematics: Papers From 1923 to 1938*. Oxford University Press. Oxford, England, UK.
- Tissen, R.; D. Andriessen and F. Lekanne Deprez. 2000. *The Knowledge Dividend: Creating High-Performance Companies Through Value-Based Knowledge Management*. Financial Times Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ, USA. 276 páginas.
- Tracanna, B. C.; V. Mirande y C. Seeligmann. 1994. "Variaciones del Fitoplacton Superficial del Embalse de Río Hondo (Tucumán - Santiago del Estero, Argentina) en relación con la Actividad Azucarera". *Tankay* 1: 80-82.
- Tracanna, B.; C. Seeligmann y V. Mirande. 1996. "Estudio Comparativo de la Comunidad Fitoplanctónica de Dos Embalses del Noroeste Argentino". *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral* 27 (1): 13-22.
- Tracanna, B. C.; C. T. Seeligmann; V. Mirande; L. B. de Parra; M. T. de Plaza y F. M. Molinari. 1999. "Cambios Espaciales y Temporales del Fitoplancton en el Embalse Río Hondo (Argentina)". *Bol. Soc. Argent. Bot.* 34 (1-2): 101-105.
- Tracanna, B. C.; S. Martínez de Marco; C. Seeligmann; S. Isasmendi y A. Elías. *Distribución Vertical del Fitoplancton del Embalse Río Hondo, Argentina*. Monografía inédita. S. M. de Tucumán, Argentina.
- Turban, E. 1992. *Expert Systems and Applied Artificial Intelligence* (MacMillan Series in Information Systems). Old Tappan, NJ, U.S.A. MacMillan Publishing Company. 804 páginas.
- Ulanowicz, R. E. 1997. *Ecology, the Ascendent Perspective*. Columbia University Press. New York, NY, USA. 201 páginas.
- UNESCO. 1976. *Workshop on Dynamic Changes in Ecological Systems*, January 1976, conjuntamente patrocinado por la United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO); Man and Biosphere (MAB) Program y el Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE), del International Council of Scientific Unions (ICSU). California, CA, USA.
- Van der Spek, R. and A. Spijkervet. 1997. *Knowledge Management: Dealing Intelligently with Knowledge*, in *Knowledge Management and its Integrative Elements*, Jay Leibowitz (Editor) and Lyle C. Wilcox (Editor). CRC Press. Boca Ratón, Florida, USA. Páginas: 31-59.
- Van Doren, C. 1992. *A History of Knowledge: Past, Present, and Future. The Pivotal Events, People, and Achievements of World History*. Ballantine Books. New York, NY, USA. ISBN: 0-345-37316-2. 448 páginas.
- Van Straten, G. 1998. "Models for Water Quality Management: the problem of Structural Change". *Water Science and Technology*. 37 (3): 103-111.
- Veneziano, G. 2004. "The Myth of the Beginning of Time". *Scientific American*. Volume 290, Number 5: 30-39.
- Vevia, F. C. 1997. "Charles S. Peirce. Escritos Filosóficos". *El Colegio de Michoacán*, Michoacán, México: 103-107.
- Von Krogh, G.; K. Ichijo and I. Nonaka. 2000. *Enabling Knowledge Creation: How to Unlock the Mystery of Tacit Knowledge and Release the Power of Innovation*. Oxford University Press, Inc. New York, NY, USA. 192 páginas.

- Waldrop, M. M. 1992. *Complexity. The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos*. A Touchstone Book Published by Simon & Schuster. New York, NY, USA. 380 páginas.
- Wanielista, M. P. 1990. *Hydrology and Water Quantity Control*. John Wiley & Sons, Inc. New York, NY, USA. 565 páginas + diskette.
- Warfield, J. N. 1973. "Binary Matrices in System Modeling". *I. E. E. E. Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, vol. SMC-3, number 5, Sept. 1973 (f): 441-449.
- 1974. "Developing Subsystem Matrices in Structural Modeling". *I. E. E. E. Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, vol. SMC-4, number 1, Jan. 1974 (a): 74-80.
- 1974. "Developing Interconnection Matrices in Structural Modeling". *I. E. E. E. Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, vol. SMC-4, number 1, Jan. 1974 (b): 81-87.
- 1974. "Toward Interpretation of Complex Structural Models". *I. E. E. E. Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, vol. SMC-4, number 5, Sept. 1974 (d): 405-417.
- 1976. "Implication Structures for System Interconnection Matrices". *I. E. E. E. Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, vol. SMC-6, No. 1, January 1976: 18-24.
- Weinberg, S. 1993. *The First Three Minutes: A Modern View of the Origin of the Universe*. 2nd Update Edition with a Major New Afterword by the Author. Basic Books, A Member of the Perseus Books Group. New York, NY, USA. ISBN: 0465024378. 203 páginas.
- Wetzel, R. G. 2001. *Limnology: Lake and River Ecosystems. Third Edition*. Academic Press, A Harcourt Science and Technology Company. San Diego, California, USA. ISBN: 0127447601. 850 páginas.
- Whittaker, R. H. 1969. "New Concepts of Kingdoms of Organisms". *Science*, New Series, Vol. 163, No. 3863. (Jan. 10, 1969): 150-160.
- Wiig, K. M. 1994. *Knowledge Management Foundations: Thinking About Thinking - How People and Organizations Create, Represents and Use the Knowledge*. Schema Press. Arlington, Texas, USA. 471 páginas.
- Wilson, E. O. 1998. *Consilience: The Unity of Knowledge*. Alfred A. Knopf, Publisher. New York, NY, USA. 352 páginas.
- Wittgenstein, L. 1922. *Tractatus Logico-Philosophicus*. Second Edition. Routledge and Kegan Paul. Reprinted 1971, edited by D. F. Pears and B. F. McGuinness. London, England, UK.
Note: this edition of the English translation also contains Wittgenstein's original German text on facing pages, as well as Bertrand Russell's introduction to the 1922 edition.
- Woolf, H. Editor. 1990. *Webster's New World Dictionary of the American Language* by G. and C. Merriam-Webster. Word Publishing. USA.
- Yu, X. and J. Kacprzyk. 2003. *Applied Decision Support With Soft Computing (Studies in Fuzziness and Soft Computing)*. Berlin, Deutschland. Springer-Verlag. ISBN: 3540024913. 418 páginas.
- Zadeh, L. A. 1965. "Fuzzy sets". *Information and Control*, Vol. 8: 338-353.
- Zadeh, L. A. 1973. "Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes". *IEEE, Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 3: 28-44.
- Zadeh, L. A. 1975. "The concept of a linguistic variables and its application to approximate reasoning". Part 1. *Information Sciences*, Vol. 8: 199-249.

10. – APÉNDICES

10. 1. - ASPECTOS GNOSEOLÓGICOS

10. 1. 1. - EL CONOCIMIENTO COMO INSTRUMENTO DE CREACIÓN DE VALOR

10. 1. 1. 1. - Introducción: el presente apéndice responde al propósito de analizar aspectos organizacionales, con énfasis en la gestión del capital humano vinculado a la generación de modelos ambientales. Se aplica el criterio de formular una afirmación, proveniente del sistema científico-tecnológico local involucrado o de las fuentes bibliográficas consultadas y seguidamente plantear interrogantes con el propósito de promover una revisión crítica que fundamente acciones mejoradoras de los procedimientos de trabajo y de las interacciones sociales. Se considera que las preguntas son más importantes que las respuestas para cultivar la inteligencia individual y colectiva, siendo la cognición humana, una actividad de creación de valor (Davenport, T. H. and L. Prusak, 1998; Davenport, T. O., 1999; Sáiz Bárcena, L., 2002; Tissen, R.; D. Andriessen and F. Lekanne Deprez, 2000; Von Krogh, G.; K. Ichijo and I. Nonaka, 2000).

Cuando la pericia científico-técnica; la de producción; la de mercadotecnia y la financiera, son exclusivamente movidas por el afán de lucro, se encaminan a reducir el poder de negociación de proveedores; clientes y otros actores del tejido social. No pudiéndose acceder a las ventajas de las economías de escala, las organizaciones del segmento científico-tecnológico, han de orientarse a la provisión de servicios especiales, tal el caso de la generación de conocimientos pertinentes sistematizados, difíciles de imitar. La creación de conocimiento excepcional, a partir de conocimiento tácito individual o grupal, contribuye al avance científico-tecnológico y organizacional y la transferencia de conocimiento explícito social, favorece la supervivencia de las instituciones, las que logran mantenerse y crecer en función de su capacidad de cambio como respuesta a las modificaciones que ocurren en su entorno. El amplio espacio del conocimiento, es entonces, un lugar de encuentro para las personas que buscan soluciones.

El Centro de Ingeniería Ambiental ¹ (CEDIA), considerado como empresa, tiene asiento en la Facultad Regional Tucumán de la Universidad Tecnológica Nacional, vinculada por convenio de cooperación interinstitucional con la Universidad de Burgos, España; publica su producción científico-tecnológica desde 1972. Orienta su esfuerzo a brindar en el ámbito regional, respuestas a los requerimientos de fundamentos científico-tecnológicos para la toma de decisiones en materia de políticas y gestión ambiental. El CEDIA adhiere a la normativa internacional sobre higiene y seguridad en el trabajo. Realiza búsquedas sistemáticas de oportunidades para la provisión de sus servicios, detectando necesidades sociales y ambientales. Recurre a las tecnologías de la información y de la comunicación para las acciones de transferencia, propiciando la gestión de la calidad (Normas ISO 9000) y la gestión ambiental (Normas ISO 14000). Alienta asimismo, la superación humana y profesional de sus integrantes, trabajadores del conocimiento.

Preguntas:

- ¿Cómo puede tipificarse el sistema local de generación de modelos ambientales?; ¿por el volumen de producción documentaria anual?; ¿por el número promedio de personas empleadas?

¹ El autor se incorpora en 1976; teniendo desde entonces responsabilidades en materia de generación de modelos ambientales (análisis, modelización y simulación de sistemas; tratamiento estadístico y computacional de datos); es desde hace quince años Subdirector del CEDIA, con jerarquía de Profesor Titular y Categoría II en el Sistema Argentino de Ciencia y Técnica.

- ¿Cómo puede identificarse la mejor respuesta a los requerimientos de fundamento científico-tecnológico para la toma de decisiones en materia de política ambiental?
- ¿Cuáles son los indicadores empleados para cuantificar calidad; tiempos y costos?
- ¿Qué criterio permite evaluar la capacidad de atender demandas diversificadas?
- ¿Cómo se conocen los requerimientos del sistema socio-económico-cultural y político?; ¿cuál es el ámbito de aplicación de políticas estratégicas?
- ¿Cómo se direcciona la búsqueda de oportunidades; la detección de necesidades sociales y ambientales?; ¿se emplean las tecnologías de la información y de la comunicación en las acciones de transferencia?
- ¿Cómo se documentan la prevención y las prácticas de asignación de trabajo seguro?
- ¿Corresponde contemplar en relación con el funcionamiento del sistema generador de modelos ambientales para soporte de la toma de decisiones, las certificaciones de gestión de la calidad (Normas ISO 9000) y de la gestión ambiental (Normas ISO 14000)?; ¿qué beneficios podrían derivarse de ello?
- ¿Qué se entiende desde la óptica de los administradores del sistema local científico-tecnológico por calidad de vida del personal?; ¿pueden enunciarse los parámetros o los criterios de orientación sobre el particular?
- ¿Se dispone de información sobre las potencialidades y expectativas del personal, como para fundamentar y facilitar un proceso sistemático de creación de conocimiento?
- ¿Cómo se han documentado las realizaciones en materia de trabajos de investigación y transferencia?; ¿existen modos de difundir donde resulte pertinente, las capacidades de producción de bienes y servicios científico-tecnológicos del grupo humano local?; ¿qué canales se consideran más adecuados?
- ¿Es posible establecer metas en materia de crecimiento humano y de la capacidad para atender requerimientos comunitarios, explicitando los segmentos sociales, considerados objetivo?; ¿cómo se visualizan las posibilidades de financiamiento?
- ¿Se han contemplado las vinculaciones con la Cancillería Argentina; con Delegaciones Diplomáticas; con Federaciones y Cámaras Empresarias, para articular una expansión de las actividades del sistema científico-tecnológico local en otras áreas geográficas?; ¿se consideran estas opciones de interés?

10.1.1.2. - Propietarios e Inversores de Capital Humano: las personas constituyen un valioso activo estratégico; esta afirmación referida a la fuerza laboral competente y consagrada, implica la noción de activo por su capacidad de generar valor económico y también la de un bien poseído o controlado, monetariamente valorable. Sin embargo, los trabajadores han de ser considerados como propietarios e inversores de su propio capital humano. La propiedad de su capacidad laboral, es inherente a la persona del trabajador, quien como inversor, además de pretender un legítimo rendimiento sobre su inversión, goza de la libertad de transferir su propio capital invertible. Lo expresado, vale en el ámbito de una ética laboral, basada en el esfuerzo; la honradez; la frugalidad y la capacidad. La inversión total del capital humano (ITCH) puede considerarse como resultante del producto de capacidad más comportamiento, por esfuerzo y por tiempo; es decir: $ITCH = (capacidad + comportamiento) (esfuerzo) (tiempo)$.

La capacidad puede desglosarse en cuatro componentes: la habilidad, como la pericia necesaria para la consecución de un objetivo; el conocimiento, como el contexto intelectual dentro del que actúa la persona; la destreza, como familiaridad con los medios y los métodos para realizar la tarea y el talento, como facultad innata para la acción específica.

La inversión de capital humano implica compromiso con la empresa y dedicación al puesto de trabajo. El compromiso con la empresa se divide en tres categorías: compromiso de actitud; compromiso programático y compromiso basado en la lealtad. El compromiso y la dedicación abren el camino a la inversión de capital humano, cuyo rendimiento depende de los factores que estimulan el esfuerzo voluntario; de los que no lo estimulan y de los que frustran activamente la iniciativa individual. Los factores que estimulan el esfuerzo voluntario, se relacionan con la responsabilidad del propio trabajo; con el reconocimiento del valor de éste; con la oportunidad de hacer buen uso de las propias destrezas y con la valoración de la aportación individual. También alientan la inversión discrecional, las compensaciones basadas en el rendimiento empresarial; la existencia de programas generalizados de beneficios; el trabajo en equipo y la confianza en la gestión de los directivos de la empresa. El rendimiento de la inversión, entendido como las recompensas requeridas para suscitar o mantener la inversión de capital humano, se asocia con la satisfacción intrínseca en el empleo; la oportunidad de desarrollo; el reconocimiento de los logros y las recompensas económicas.

Las figuras siguientes ilustran sobre los modos de agrupamiento en cuatro categorías de los rendimientos de la inversión (**Fig. ACCV - 01**); sobre las diferencias entre los atributos que valoran directivos y supervisores y los que valoran los trabajadores (**Fig. ACCV - 02**). La satisfacción intrínseca en el empleo; la oportunidad de desarrollo; el reconocimiento de los logros y las recompensas económicas conforman un indicador del beneficio obtenido como resultado de la inversión de trabajo humano o *return on human investment in work* (ROI_w) y sobre los aspectos negociables y no negociables en relación con el empleo y la organización (**Fig. ACCV - 03**). Utilizando diagramas de bloques se muestra como el rendimiento conduce a un beneficio sobre la inversión de capital humano, reforzando el compromiso y la dedicación (**Fig. ACCV - 04**), y también un desarrollo de formulación y aplicación de una estrategia empresarial orientada a las capacidades organizativas y a los instrumentos de aplicación (**Fig. ACCV - 05**).

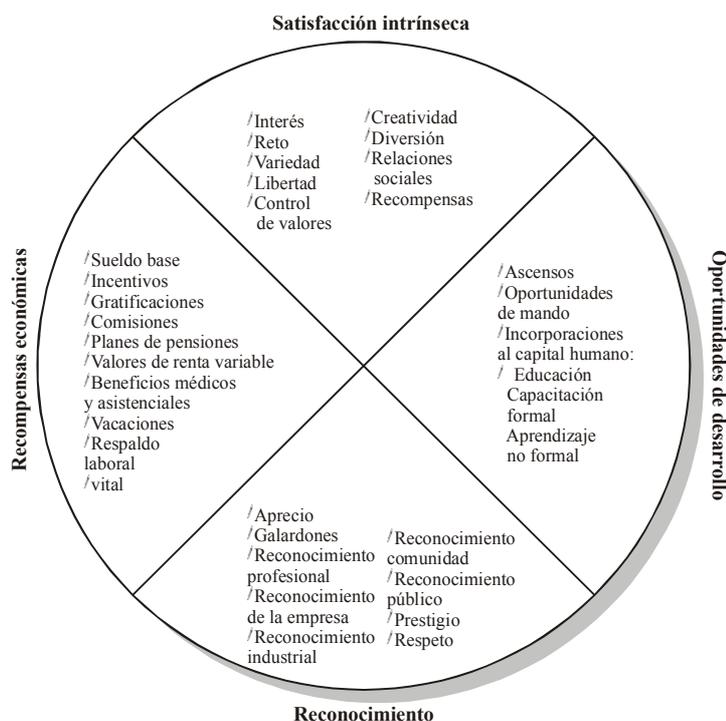


Fig. ACCV - 01 - LOS RENDIMIENTOS DE LA INVERSIÓN SE AGRUPAN EN CUATRO CATEGORÍAS.

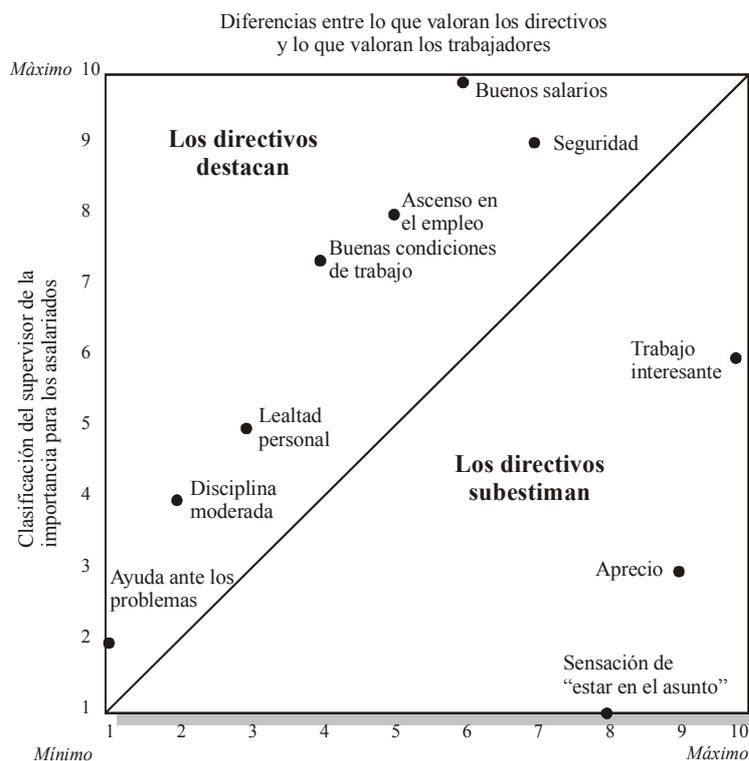


Fig. ACCV - 02 - CLASIFICACIÓN DE LA IMPORTANCIA POR PARTE DEL ASALARIADO.

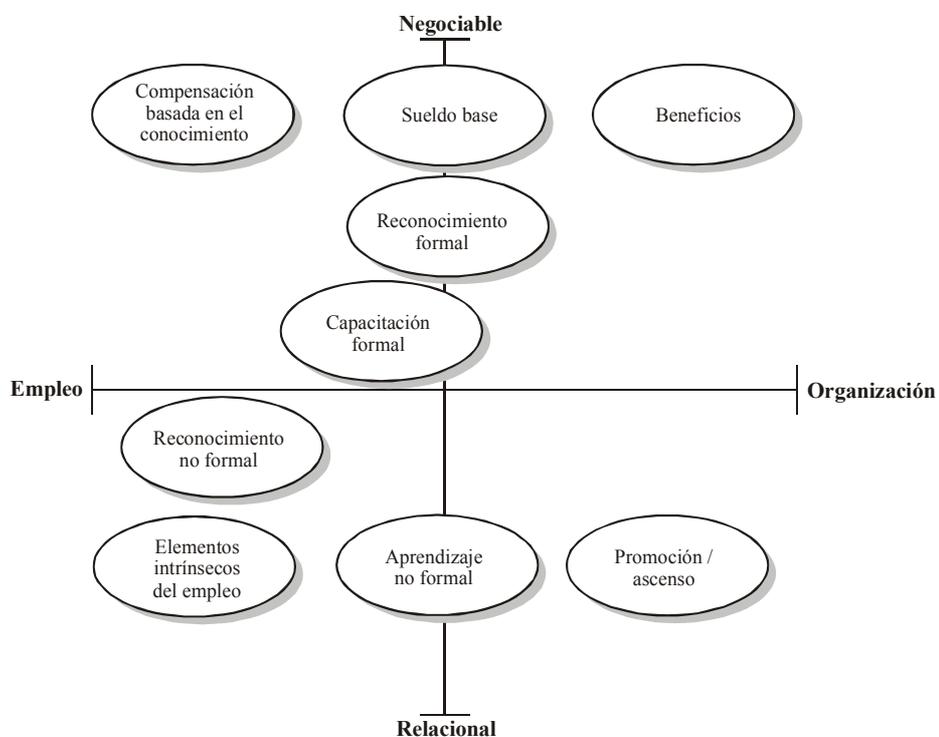


Fig. ACCV - 03 - ROI_w, NEGOCIABLE Y RELACIONAL.

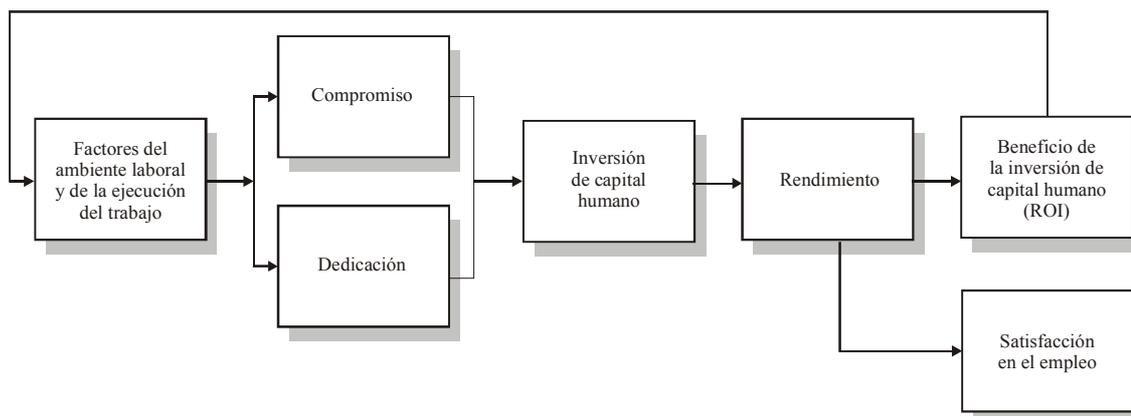


Fig. ACCV - 04 - EL RENDIMIENTO CONDUCE A UN BENEFICIO SOBRE LA INVERSIÓN DE CAPITAL HUMANO Y ASÍ REFUERZA EL COMPROMISO Y SUSCITA DEDICACIÓN

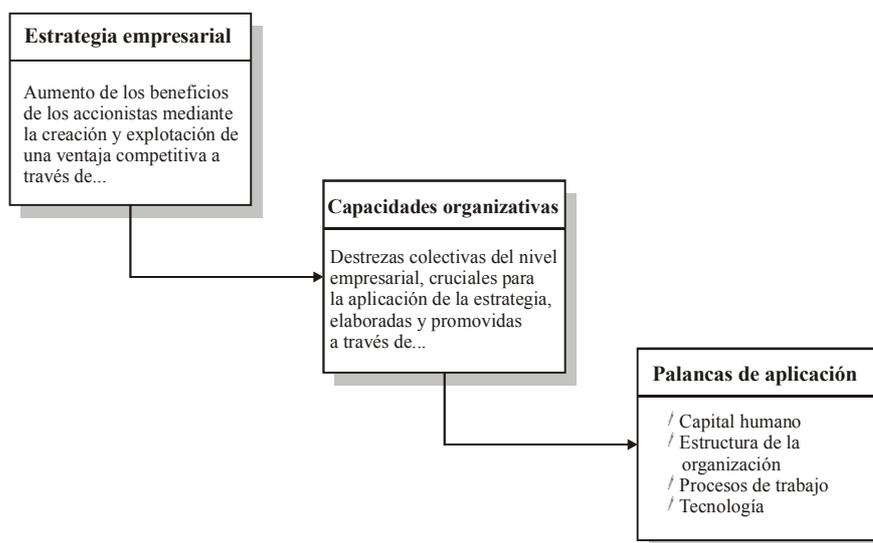


Fig. ACCV - 05 - DESARROLLO DE FORMULACIÓN Y APLICACIÓN DE UNA ESTRATEGIA.

Como propietarios de capital humano, los empleados constituyen un factor relevante en la aplicación de la estrategia empresarial, la que se fundamenta en el énfasis en la unidad empresarial, cuyos componentes se identifican como unidades empresariales estratégicas; en la concentración en el éxito futuro de la unidad; en la asignación de recursos tangibles e intangibles y en la respuesta al ambiente exterior. La organización debe tener capacidad para la gestión de la información del mercado; para la diferenciación e identidad del producto; para la mejora constante del producto y para la resolución de problemas de la clientela. Para respaldar la ejecución de una estrategia, se requiere:

- Traducir las necesidades empresariales en soluciones de tecnología de la información.
- Brindar a la clientela un servicio fiable y de alta calidad.
- Gestionar eficientemente los proyectos.

- Emplear eficazmente los recursos existentes.
- Efectuar los cambios de un modo eficiente.
- Aportar a la organización las formas estratégicamente más valiosas de capital humano.
- Crear un ambiente que suscite una aportación elevada de ese capital.
- Incrementar el volumen de capital humano accesible para inversión.
- Retener a las personas y a su capital en el seno de la organización durante tanto tiempo como sea posible y darles información para que puedan gestionar su inversión de capital humano.

Los contratos expresan obligaciones mutuas, reflejando lo que cada parte debe reconocer como exigencias vinculantes. Un documento formal puede captar algunos aspectos de la relación entre el trabajador y la empresa, no abarcando normalmente todos los sutiles elementos interpersonales; ésto es, lo que se entiende por contrato psicológico. Se abordan tres tipos distintos de cuestiones; la duración; la consideración (valor intercambiado conforme al contrato) y la estipulación de cambio.

El proceso de selección debe ser doblemente válido (validez social del contrato psicológico). Desde la perspectiva del candidato, debe velarse por su participación en el proceso de selección y su control; por la relevancia de las técnicas de selección empleadas; por brindar una retro-información útil al candidato y por ofrecer información acerca de los requisitos de la tarea y de las características de la organización. La **Tabla ACCV - 01** proporciona ejemplos de comportamientos empresariales.

Tabla ACCV - 01 - EJEMPLOS DE COMPORTAMIENTOS EMPRESARIALES

Si esto es lo que usted dice...	Esté preparado para aclararlo
<p>Rasgos intrínsecos del puesto: “Este puesto se halla en la cima de la profesión de ventas; pondrá en acción sus habilidades para la venta.” “En esta empresa creemos en los poderes de las personas.”</p>	<p>Proporcione un ejemplo real de la situación más interesante de ventas con que se enfrente alguien. ¿Qué hace en tal caso el vendedor más eficaz? Describale un caso en que alguien asumió los poderes en nombre de la empresa para atender a un cliente. ¿Qué hizo esa persona y cómo reaccionó la empresa?</p>
<p>Oportunidades de desarrollo: “Este es un empleo en el cual se progresa deprisa. Usted puede ascender rápidamente a partir de aquí.” “Somos capaces de convertirle en un experto en los programas informáticos más avanzados.”</p>	<p>Describa los rasgos de alguien a quien la empresa considera “rápido”. ¿Qué hizo para demostrar su valía y con qué celeridad ascendió? Describa el modo en que algún empleado de la compañía se convirtió en un experto en ese sector. ¿Qué hizo la empresa para ayudarle a lograr ese rango: formación, experiencia o ambas cosas?</p>
<p>Reconocimiento: “Las personas responsables responden a las necesidades de nuestra organización y nosotros lo tenemos en cuenta.” “En este sector industrial todo el mundo sabe que nuestros ingenieros son los mejores.”</p>	<p>Formule un ejemplo del modo en que una persona que destacó en ese puesto obtuvo un reconocimiento que superó los límites de su propia unidad. Describa la reciente salida de alguno de la empresa. ¿Por qué se fue? ¿Adónde fue y qué tipo de empleo consiguió?</p>
<p>Recompensas financieras: “Usted tiene la oportunidad de conseguir un plus de hasta 50 % de su salario base.”</p>	<p>Informe sobre el promedio de pluses otorgados en los últimos años, tanto los máximos como los mínimos. ¿Cuál fue exactamente el plus obtenido por el que más rindió?</p>

Debería reemplazarse el término de recursos humanos para designar al área que se ocupa del capital humano, por el de personas o bien orientación y desarrollo personal, pues los individuos no son recursos que pueden ser empleados y desechados. Los valores laborales deben ser interpretados como un logro compartido donde prevalece la honradez; la imparcialidad y el interés por los otros miembros de la organización. El proceso de reclutamiento y selección, es una búsqueda de correspondencias entre necesidades de la estrategia y elementos del capital humano; entre exigencias del ROI_w y las contraprestaciones ofrecidas; entre valores organizativos e individuales. El ambiente laboral implica alineación con la estrategia empresarial; entendimiento, y aceptación mutua, siendo deseable una gestión de libro abierto. El compromiso entre niveles jerárquicos se resuelve a través de un esfuerzo de alineación entre las capacidades del capital humano y la estrategia, en el marco del contrato psicológico. Si cada parte confía en que una aportación plena será equitativamente valorada y considera que la otra cumplirá con el intercambio deseable, ambas pueden tener seguridad en la predictibilidad del resultado. Sin embargo, las jerarquías son necesarias pues no cabe confiar siempre en que todas las personas se atengan a normas éticas y desempeñen el papel que les corresponde; han de hallarse comprometidas por normas y códigos de funcionamiento. La reducción de la gestión de supervisión, reduce los costos, beneficiando al inversor de capital humano. Es conveniente considerar que:

- Los acontecimientos que destruyen la confianza son más visibles que los acontecimientos positivos, constructores de confianza;
- Los acontecimientos negativos aportan más peso psicológico que los acontecimientos positivos;
- Las fuentes de malas noticias tienden a merecer más crédito que las fuentes de buenas noticias;
- La desconfianza una vez iniciada, tiende a reforzar y a perpetuar más desconfianza.

Debe crearse dentro de la organización un contexto adecuado de enseñanza-aprendizaje. Entre los rasgos que facilitan el aprendizaje no-formal, pueden citarse, el deseo de superación; la curiosidad; la competitividad; la sociabilidad; la imaginación; la capacidad de reflexión; el pensamiento crítico y la confianza en las propias capacidades. Cuando el aprendizaje se halla integrado en la cultura y es por tanto un valor organizativo, tiende a crear un contexto en donde los individuos aprenden a valorarlo. La productividad experimenta un incremento mayor cuando un dado porcentaje de inversión, se vuelca a la formación del trabajador, en vez de a la capitalización. La **Tabla ACCV - 02** consigna algunas características del aprendizaje no-formal y del aprendizaje formal.

Tabla ACCV - 02 - CARACTERÍSTICAS DEL APRENDIZAJE NO-FORMAL Y DEL APRENDIZAJE FORMAL

Aprendizaje no-formal:	Aprendizaje formal:
Muy relevante para las necesidades del individuo.	Relevante para algunos, no tan relevante para otros.
El aprendizaje varía entre individuos; aprenden cosas diferentes, en función de sus necesidades.	Se confía en que el aprendizaje resulte constante entre los individuos: todos reciben la misma instrucción.
Es pequeña la brecha entre el conocimiento actual y el pretendido.	Brechas variables entre el conocimiento actual y el pretendido.
El individuo decide cómo tendrá lugar el aprendizaje.	El formador decide cómo tendrá lugar el aprendizaje.
Aplicabilidad inmediata ("aprendizaje <i>just-in-time</i> ").	Tiempo variable de aplicabilidad, puede estar próxima al aprendizaje, bien antes o bien después.
Se produce en el entorno laboral.	Se produce normalmente en un entorno no laboral.

El aprendizaje no-formal posee algunas ventajas en las que vale la pena reparar:

- Como los individuos pueden decidir lo que necesitan y quieren aprender, sus esfuerzos de formación son relevantes y se hallan concentrados en sus exigencias inmediatas. En el aprendizaje formal, la importancia del material suele variar entre las personas del grupo;
- El aprendizaje no-formal consiste, por lo común, en captar lo que acaba de decirse o en progresar en la comprensión. El material proporcionado en la formación formal puede resultar ya muy conocido para unos y demasiado avanzado para otros;
- Los que aprenden de una manera no-formal definen cómo conseguirán el conocimiento que necesitan y han de asumir la iniciativa para integrar las diversas partes. La formación formal se halla más integrada y homogeneizada;
- Los individuos aprenden de modo no-formal en el trabajo y pueden aplicar al instante lo que han aprendido. La formación formal tiene lugar en lugares que no son los laborales y en períodos programados para que convenga a un grupo más que a una persona.

Se identifican dos formas básicas de conocimiento; el conocimiento tácito, que es lo que las personas saben pero no expresan fácilmente, transmitiéndolo a través de acciones; símbolos; analogías; metáforas y otras representaciones del saber y el conocimiento explícito o codificado, que es el que se crea y transmite mediante un lenguaje formal y sistemático. En *La démocratie en Amérique*, Alexis de Tocqueville (Veuil, 29 de julio de 1805 - Cannes, 16 de abril, 1859) formuló esta observación: “Los estadounidenses tienen una fe viva en el carácter perfectible del hombre, juzgan que la difusión del conocimiento debe ser necesariamente ventajosa y las consecuencias de la ignorancia, fatales... y reconocen que lo que se les antoja bueno hoy puede ser superado mañana por algo todavía mejor”.

La **Tabla ACCV - 03** describe el contexto de la gestión de capital humano; presenta una lista de comprobación para la estimación del equilibrio, que incluye distintos aspectos: vinculación estratégica; establecimiento del acuerdo; marco para la inversión - nivel de la organización; marco para la inversión - nivel del empleo; constitución de capital humano y análisis de abandonos y gestión del riesgo, pues la insatisfacción por sí sola, no es causa de éxodo; las personas necesitan una perspectiva atrayente.

Tabla ACCV - 03 - CONTEXTO DE LA GESTIÓN DEL CAPITAL HUMANO - LISTA DE COMPROBACIÓN PARA LA ESTIMACIÓN DEL EQUILIBRIO

Vinculación estratégica:

- ¿Está claro qué capacidades de la organización han de respaldar el capital humano del individuo?
- ¿Apoyan y complementan la inversión de capital humano del individuo la estructura, los procesos y la tecnología de la organización?

Establecimiento del acuerdo:

- ¿Fue el trato comunicado y acordado durante el proceso de contratación? ¿Coincidieron el trabajador y la organización en su duración, consideración y flexibilidad?
- ¿Era el proceso válido tanto desde la perspectiva del individuo como desde la de la organización?
- ¿Convino desde el principio el trato al trabajador y a la organización?

Marco para la inversión - Nivel de organización:

- ¿Existe un vínculo claro entre las exigencias estratégicas de la organización y la inversión de capital humano, esperada del individuo? ¿Participó esa persona en la determinación de tal vínculo? ¿Saben los trabajadores cómo funciona la empresa y cómo contribuyen ellos?
- ¿Poseen el individuo y la organización un entendimiento consecuente del presente trato? ¿Conoce el trabajador qué inversión y qué rendimiento espera de él la organización? ¿Sabe la organización cómo valora el individuo diversos elementos del beneficio de la inversión en las cuatro áreas del ROI_w?
- ¿Confía el individuo en que la organización acepte y se atenga al trato? ¿Confía la organización en que el individuo invierta capital humano tal como exigen las condiciones del trato que le atañen?

Marco para la inversión - Nivel del empleo:

- ¿Se ha dispuesto en el empleo del individuo una constitución de competencia?
- ¿Posee el trabajador autonomía para definir y ejecutar su papel dentro de unos límites razonables? ¿Se respaldan mutuamente competencia y autonomía para producir un rendimiento elevado en un empleo variado y que ofrezca retos?
- ¿Brinda la organización un beneficio de la inversión laboral de un modo que refuerce la inversión de capital humano en el empleo? ¿Gozan los trabajadores de una razonable capacidad de opciones para construir sus carteras del ROI_w? ¿Se otorgan justamente las recompensas?

Constitución de capital humano:

- ¿Construyen las oportunidades de aprendizaje formal al capital humano más beneficioso para la organización? ¿Favorecen al individuo promoviendo el deseable ROI_w?
- ¿Benefician los enfoques del aprendizaje informal tanto a la organización como al individuo?
- ¿Tiene el asalariado oportunidades de contribuir a desarrollar y transformar el conocimiento explícito derivado del conocimiento tácito?

Análisis de abandonos y gestión del riesgo:

- ¿Ha analizado la organización las pautas de los abandonos? ¿Conoce la organización en dónde se halla el riesgo y por qué?
- ¿Dispone la organización de una información precisa sobre el ROI_w proporcionado por los competidores del sector y del mercado laboral?
- ¿Utiliza la organización información y su distribución para conservar la inversión de capital humano en épocas de riesgo?

Son pertinentes las siguientes observaciones:

- Conceder a los empleados la oportunidad de juzgar lo que se requiere para realizar el trabajo.
- Contratar a personas que sean capaces de regirse por sí mismas y confiar en que harán lo más adecuado.
- Seleccionar individuos de valores elevados y capacidades sobresalientes, otorgándoseles amplia responsabilidad y autoridad, haciendo que compartan las recompensas económicas generadas por un trabajo interesante.
- Conceder a los individuos, libertad para interactuar entre ellos, con lo que seguramente surgirán mejores propuestas.
- El personal de conducción debe asumir la responsabilidad de lograr una comunicación y una circulación fluida de información, proporcionando oportunidades de capacitación; actualización y desarrollo profesional.
- Comprobar que los empleados no se vean agobiados por compromisos laborales por encima de sus capacidades.
- Ofrecer productos o servicios que sean de la mejor calidad, constituyendo ésto, un motivo de gratificación personal y organizacional.

La **Tabla ACCV - 04** ordena algunas medidas sugeridas del capital humano. En lugar de enfatizar el cálculo del valor de los bienes humanos, la empresa debe esforzarse en definir lo que los propietarios del capital humano obtienen de su asociación con ésta. Es deseable que se ponga menos énfasis en el valor del individuo para la organización y más en el valor de la organización para el individuo. La empresa interesada en medir el valor de la organización para el empleado, atraerá a las mejores personas, en su búsqueda de un ámbito donde invertir su propio capital humano.

Tabla ACCV - 04 - MEDIDAS DE SEGURIDAD DEL CAPITAL HUMANO

Sistema de empleos del capital humano:	Medidas de resultados:	Medidas contribuyentes:
Vinculación del capital humano con la estrategia.	Perfeccionamiento en capacidades estratégicas clave. Empleo de capital humano para fortalecer capacidades.	Elementos de crecimiento del capital humano que respaldan capacidades clave.
Contratación de inversiones de capital humano.	Contribución de la contratación al fortalecimiento de capacidades.	Volumen de información del solicitante, sobre todo en puestos vitales. Porcentaje de los mejores candidatos contratados. Tiempo del ciclo de contratación. Coste de la contratación.
Contexto para el rendimiento.	Productividad de la unidad por empleado. Ingresos por empleado. Beneficios por empleado. Capitalización del mercado por empleado.	Actitudes de los trabajadores hacia cada elemento del ROI _w . Actitudes de los trabajadores hacia cada uno de los tres elementos del ambiente organizativo (alineación estratégica, entendimiento del acuerdo y aceptación del acuerdo). Actitudes de los trabajadores hacia cada uno de los tres elementos de la ejecución del empleo (competencia, autonomía y reforzamiento). Niveles del compromiso y de la dedicación del trabajador.
Construcción de capital humano.	Contribución del aprendizaje al fortalecimiento de capacidades. q de Tobin. Valor añadido de las personas.	Éxito de equipos en la consecución de objetivos. Número y fuerza de las comunidades de práctica. Inversión total de formación. ROI _w de formación. Distribución de horas y u. m. de formación de posición.
Retención de inversores.	Retención de personas comprometidas y dedicadas a puestos clave.	Comparación competitiva de elementos del ROI _w . Abandonos en puestos clave. Posición de dotaciones del ROI _w respecto de la frontera de la eficiencia.

Preguntas:

- ¿Es compartido el criterio de que los trabajadores han de ser considerados como propietarios e inversores de su propio capital humano?
- ¿Constituyen el esfuerzo; la honradez; la frugalidad y la capacidad, valores inherentes a la ética laboral que ilustra la cultura?
- ¿Qué acciones se toman para incrementar las capacidades individuales y reforzar los comportamientos coherentes con la ética laboral?
- ¿Cómo se actúa positivamente sobre la habilidad; el conocimiento; las destrezas y el talento?
- ¿Cómo pueden reforzarse el compromiso con la empresa y la dedicación al puesto de trabajo?
- ¿Cómo se prevé estimular el esfuerzo voluntario, para desarrollar las potencialidades personales?; ¿se conocen anhelos; expectativas; necesidades; niveles educativos y metas de la fuerza de trabajo?
- ¿Qué política de incentivos o beneficios se aplica?; ¿se contemplan compensaciones basadas en el rendimiento empresarial?
- ¿Se coincide con las diferencias entre los atributos que valoran directivos y supervisores y los que valoran los trabajadores, tal como se consigna en el texto?

- ¿Son efectivamente, la satisfacción intrínseca en el empleo; las oportunidades de desarrollo; el reconocimiento de los logros y las recompensas económicas, indicadores del beneficio obtenido como resultado de la inversión de trabajo humano?
- ¿En que medida pueden contribuir los trabajadores a la gestión de la información del mercado; a la diferenciación e identificación de productos y servicios; a la mejora constante de éstos y a la resolución de los problemas del cliente?; ¿pueden ser asimismo, agentes de venta?; ¿cómo deberán ser capacitados para ello?
- ¿Cómo pueden traducirse las necesidades empresariales en soluciones de tecnología de la información?
- ¿Cómo puede brindarse a la clientela un servicio fiable y de alta calidad?
- ¿De qué modo deben encararse los proyectos, para que respondan a un planeamiento estratégico y sean objeto de control de gestión?
- ¿Cuál es la forma de optimizar el empleo de los recursos existentes? ¿Cómo deben efectuarse los cambios para garantizar eficacia y eficiencia técnico-económica?
- ¿Qué criterios deben aplicarse para aportar a la organización las formas estratégicamente más valiosas de capital humano?; ¿cómo debe crearse un ambiente que suscite una aportación elevada de ese capital?
- ¿Cómo puede incrementarse el volumen de capital humano accesible para inversión?
- ¿Cuál es el más adecuado proceder para retener a las personas y a su capital en el seno de la organización durante tanto tiempo como sea posible, dándoles asimismo, información para que puedan gestionar su inversión de capital humano?
- ¿Cómo pueden captarse los sutiles elementos interpersonales, intervinientes en lo que se entiende por contrato psicológico?
- ¿Es el proceso de selección de personal, doblemente válido; ésto es, válido para la empresa y para el trabajador (validez social del contrato psicológico)?
- ¿Participa el candidato en el proceso de selección y su control?; ¿conoce la pertinencia de las técnicas de selección empleadas?; ¿recibe información útil acerca de los requisitos de la tarea y de las características de la organización?
- ¿Se comparte el criterio de reemplazar la expresión recursos humanos para designar al área que se ocupa del capital humano, por el de personas o bien por orientación y desarrollo personal?
- ¿Es el proceso de reclutamiento y selección, una búsqueda de correspondencias entre necesidades de la estrategia y elementos del capital humano; entre valores organizativos e individuales?
- ¿Es compartida la afirmación que las jerarquías son necesarias pues no cabe confiar siempre en que todas las personas se atengan a normas éticas y desempeñen el papel que les corresponde?; ¿han de hallarse las personas comprometidas por normas y códigos de funcionamiento?
- ¿Se ha desarrollado en la empresa, un contexto adecuado de enseñanza-aprendizaje?
- ¿Se ha detectado en el personal, deseo de superación; curiosidad; competitividad; sociabilidad; imaginación; capacidad de reflexión; pensamiento crítico y confianza en las propias capacidades?; ¿existe algún registro de ello?
- ¿Se dispone de programas sistemáticos de formación del trabajador?; ¿qué áreas del conocimiento se han identificado como prioritarias?
- ¿Se conocen las causas y tasas de rotación del personal?; ¿se consideran necesarios los registros?; ¿se comparte la conveniencia de que las personas cuenten en todos sus aspectos vitales con perspectivas atrayentes?
- ¿Se concede a los empleados la oportunidad de juzgar lo que se requiere para realizar el trabajo?
- ¿Se contratan las personas capaces de regirse por sí mismas?; ¿se confía en que harán lo más adecuado?
- ¿Se seleccionan individuos de valores elevados y capacidades sobresalientes?; ¿se les otorga amplia responsabilidad y autoridad, haciendo que compartan las recompensas económicas generadas por un trabajo interesante?

- ¿Se concede a los individuos, libertad para interactuar entre ellos, en la expectativa de que surjan mejores propuestas?
- ¿Procura el personal de conducción asumir la responsabilidad de lograr una comunicación y una circulación fluida de información, proporcionando oportunidades de capacitación; actualización y desarrollo profesional?
- ¿Se procura que los empleados no se vean agobiados por compromisos laborales superiores a sus capacidades?
- ¿Se ofrecen productos o servicios de la mejor calidad, para que sean un motivo de gratificación personal y organizacional?

10.1.1.3 - El Valor del Conocimiento: se requiere un nivel alto de conocimiento para enfrentar la complejidad; para brindar servicios que añadan valor y para fomentar la innovación. Las alianzas empresarias reconocen como razón principal de su ocurrencia, la búsqueda de conocimiento complementario y la exploración de nuevas oportunidades. El factor KnoVa (*knowledge value*) cuantifica el conocimiento intensivo que añade valor, atendiendo al nivel de servicios; a la calidad y al contenido cognitivo (**Fig. 6**).



Fig. ACCV - 06 - EL FACTOR KNOVA COMO CUANTIFICADOR DEL CONOCIMIENTO INTENSIVO.

El conocimiento es un activo intangible que debe ser focalizado en las competencias centrales de la empresa y ha de ser su propósito, ayudar al cliente a obtener el mayor valor añadido posible de sus productos o servicios. Es éste un modo de crear valor para el cliente. Como Claude Fussler expresara en 1997, el éxito de una compañía depende, de la manera en la que proporciona servicios a sus clientes. Para que este éxito continúe, debe conocerse qué querrán los clientes dentro de cinco o diez años. La pregunta clave es: ¿cómo determinar una demanda que en el presente no parece probable, si los clientes están satisfechos y aún se pueden obtener beneficios, en condiciones estables?

El énfasis en la competitividad, va siendo progresivamente reemplazado por un manifiesto interés en la supervivencia futura; se afirma que en vez de ser creadas para competir, las empresas son creadas para perdurar. Se ha pasado de automatizar el movimiento a la pretensión de automatizar el conocimiento y en una etapa más avanzada, se hablará de economía cuántica (por el principio de incertidumbre de Werner Heisenberg).

La economía cuántica, es la de la convivencia con paradojas; la de la intuición; del sentimiento y la emoción. Economía donde se substituye el *or* por el *and*. En esencia, se pretende superar la dicotomía empresa-sociedad, postulándose que es posible la toma de decisiones, donde se concilien los intereses de la empresa y simultáneamente, los de la sociedad. El conocimiento significativo, no se guía por los hechos, sino por los escenarios; no tiene que ver con el cambio evolutivo y progresivo, sino con el cambio complejo y paradójico. Teniendo en cuenta las fuerzas del mercado, que son fuerzas externas y las internas, debe generarse una visión del futuro, conjuntamente con una declaración de la misión como objetivos y miras y una definición de estrategias múltiples (vigilancia; flexibilidad; adaptabilidad; mejora y renovación; desafío de las ortodoxias o tradiciones; inteligencia emocional; exposición a la realidad; cambio estratégico en tiempo real; tecnología posibilitadora y vitalidad sostenible).

Una declaración de misión puede ser un poderoso punto de reunión para cualquier empresa, si conjuga una serie de criterios:

- Debe expresar al entorno el valor añadido de la compañía;
- Debe asumir una visión del mundo que la rodea;
- Debería ser escrita por los directivos y por miembros de la organización.

Sin embargo, una declaración de objetivos no es independiente del tiempo y de las circunstancias; debe ser reevaluada y revisada periódicamente. Es exitosa si capta la imaginación de los accionistas mayoritarios de la compañía; de los empleados; de los proveedores; de los accionistas y los clientes. Pero para ello:

- Debe especificar claramente, los negocios en los que la empresa está y estará involucrada;
- Debe indicar a qué tipo de clientes se dirige la compañía;
- Debe decir cuál es la ambición que mueve a la empresa;
- Debe mostrar el modo en que se plantea el logro de esa ambición.

Según el poeta alemán Johann Wolfgang Goethe, nacido el 28 de agosto de 1749 en Frankfurt del Mein y fallecido el 22 de marzo de 1832 en la ciudad de Weimar, un deseo es la primera señal de lo que realmente somos capaces de conseguir. Las discontinuidades cambian las reglas del juego; el énfasis ha de ser puesto en los conceptos, que como tales, son abarcadores y de validez general, en lugar de los productos que están sujetos a las demandas cambiantes y a la evolución tecnológica. Debe superarse la parálisis del paradigma, con riqueza intelectual y mesura en materia de activos físicos. La economía industrial, se caracteriza por la pirámide de la organización funcional; la economía del conocimiento, por estar la organización, basada en procesos y en redes inteligentes. Una organización inteligente se aleja radicalmente de las conocidas ideas que la mayoría de las empresas llevan consigo; la **Tabla ACCV - 05** consigna lo que se desea y lo que no se desea.

Las organizaciones funcionales prosperan en un entorno estable y son eficaces en la producción de bienes tangibles; las organizaciones de procesos se orientan al mercado, centrándose en sus clientes finales. Su competencia central es la integración de los procesos orientados a los productos y servicios y las estrategias inherentes a la visión de la compañía como un todo, basadas en el trabajo en equipos. El rol del centro corporativo, es estratégico; estando las unidades empresariales o de negocios, cerca del mercado. El nexo entre ambos grupos, lo establece el comité ejecutivo que ejerce la dirección ejecutiva.

Tabla ACCV - 05 - LO DESEABLE Y LO NO DESEABLE EN LA EMPRESA BASADA EN CONOCIMIENTO.

Deseable:	No deseable:
Rico en saber hacer.	Rico en activos.
Libre de recursos excesivos.	Pobre en intelecto.
Procesos de decisión descentralizados.	Junta directiva centralizada para la toma de decisiones.
Gestión del conocimiento centralizada.	Dejar el conocimiento donde está.
Compartición del conocimiento.	Mantener como secreto lo que se sabe para uno mismo.
Organización basada en el proceso y el equipo.	Organización funcional.
Capital intelectual compartido por los profesionales del conocimiento.	Capital intelectual reservado para los directivos y los jefes ejecutivos.
Acceso ilimitado al conocimiento explícito y tácito.	Acceso limitado al conocimiento explícito.
Fuentes inteligibles.	Subcontratación.

La experiencia en contribuir a que las organizaciones se convirtieran en virtuales reveló que el valor empresarial puede ser creado adoptando cuatro directrices: 1) centrarse en la fuerza empresarial, subcontratando competencias no centrales; 2) minimizar la presencia física y la infraestructura mediante la organización en equipos virtuales; 3) alimentar el capital intelectual, estableciendo una red de empresas innovadoras y alianzas de conocimiento y 4) invertir de manera sustancial en tecnologías de la información y de la comunicación (TIC) efectivas.

Cuanto más conocimiento inteligente se comparta, más autoridad se quita de la jerarquía como sistema coordinador y más se reduce la fuente de legitimidad de la dirección. En *Management of Technology Issues in Research and Development Work Analysis* (1994), C. K. Koeling y M. G. Berunides, expresan que los profesionales del conocimiento emplean sus competencias únicas, a veces esotéricas y muy selectas, para abordar problemas semiestructurados y no estructurados, así como oportunidades. Su trabajo consiste principalmente en convertir los datos y la información y otros factores intangibles, como los sentimientos y las ideas, en conocimiento significativo, que es el que añade valor. La noción del equilibrio dinámico *knowledge in – knowledge out (kiko)*, es superada por la que sostiene que el conocimiento como el amor, crece cuando fluye. La motivación se asocia con las oportunidades para expresarse y con el desarrollo personal (potencialidades; carrera profesional; autonomía intelectual; retribución económica sobre una base de reparto justo de beneficios; recompensas no-financieras o no-monetarias; cota de calidad; trabajo significativo; entorno; etc.). Los resultados son consecuencia del efecto multiplicativo de capacidad y motivación; siendo el conocimiento, una función de la información; el intelecto y la interacción. La información, es consecuencia del contexto actuando sobre los datos y el valor del conocimiento, está sujeto a la estabilidad del entorno. El contexto, asimismo, confiere significado al saber, en la dialéctica de descentralizar la autoridad y centralizar el conocimiento.

Preguntas:

- ¿Es compartido el criterio de que se requiere un nivel alto de conocimiento para enfrentar la complejidad; para brindar servicios que añadan valor y para fomentar la innovación?
- ¿Cómo se encara la búsqueda de conocimiento complementario?; ¿cómo se hace la exploración de nuevas oportunidades?

- ¿Se cuantifica el conocimiento intensivo que añade valor, atendiendo al nivel de servicios; a la calidad y al contenido cognitivo?
- ¿Cómo es valorado el conocimiento?; ¿cómo un activo intangible?; ¿de qué modo está incorporado en las competencias centrales de la empresa?
- ¿Cómo se ayuda al cliente a obtener el mayor valor añadido posible de los productos o servicios que brinda la empresa?
- ¿Cómo se convive con paradojas; con la intuición; con el sentimiento y la emoción?
- ¿Es posible reflexionar sobre estrategias múltiples (vigilancia; flexibilidad; adaptabilidad; mejora y renovación; desafío de las ortodoxias o tradiciones; inteligencia emocional; exposición a la realidad; cambio estratégico en tiempo real; tecnología posibilitadora y vitalidad sostenible), en medio del trabajo diario?; ¿cómo puede hacerse?
- ¿Cómo se expresa al entorno el valor añadido de la compañía?
- ¿Cómo puede asumirse una visión del mundo que la rodea?
- ¿Se comparte la afirmación de que las discontinuidades cambian las reglas del juego?; ¿de que el énfasis debe ser puesto en los conceptos, que son abarcadores y de validez general, en lugar de hacerlo en los productos que están sujetos a las demandas cambiantes y a la evolución tecnológica?
- ¿Qué enseñanzas pueden extraerse de la **Tabla ACCV - 05**?
- ¿Se comparte el criterio de centrarse en la fuerza empresarial, subcontratando competencias no esenciales?
- ¿Cómo pueden minimizarse la presencia física y la infraestructura?; ¿se comparte el criterio de organización en equipos virtuales?
- ¿Cómo es posible alimentar el capital intelectual?; ¿es posible establecer una red de empresas innovadoras y alianzas de conocimiento?
- ¿En qué medida puede invertirse de manera sustancial en tecnologías de la información y de la comunicación (TIC) efectivas?
- ¿Se dispone de ejemplos concretos de transformación de datos e información y otros factores intangibles, como los sentimientos y las ideas, en conocimiento significativo?; ¿es posible hacer de ellos, una reseña organizada?
- ¿Cómo puede actuarse positivamente sobre la motivación?; ¿cómo pueden impulsarse las oportunidades para expresarse?
- ¿Cuál puede ser una estrategia operativa de desarrollo personal de las potencialidades; de la carrera profesional y de la autonomía intelectual?
- ¿Cómo puede lograrse que la retribución económica se base en el reparto justo de beneficios?
- ¿Qué ejemplos de recompensas no-financieras o no-monetarias, es posible aportar?
- ¿Cómo puede incorporarse o bien estimularse la adopción de una cota de calidad en todo esfuerzo comprometido con un trabajo significativo?
- ¿Qué acciones sobre el entorno social y físico, se considera que contribuyen al afianzamiento y permanencia en el tiempo de una empresa de soluciones, basada en conocimiento?
- ¿Es posible imaginar escenarios futuros?; ¿cómo se insertaría la noción de una economía cuántica?; ¿quién tiene la última palabra? ¿y la primera?

10.1.1.4. - Modos de Facilitar la Creación de Conocimiento: el criterio de facilitar la creación del conocimiento, trasciende las limitaciones de la teoría de la administración del conocimiento y expone enfoques realistas del ámbito humano del conocimiento, en constante evolución. Se identifican cinco factores facilitadores de conocimiento: 1. generación de una visión del conocimiento; 2. conducción de conversaciones; 3. movilización de gestores del conocimiento o negociantes de porvenir; 4. creación del contexto adecuado y 5. transferencia o globalización del conocimiento local. Los cinco pasos de la creación de conocimiento, son: 1. compartición del conocimiento tácito; 2. creación de conceptos; 3. justificación de conceptos; 4. elaboración de prototipos y 5. inter-nivelación del conocimiento.

Cabe observar que el gradual distanciamiento de un miembro de una micro-comunidad, interfiere el proceso colectivo de compartición del conocimiento. Por ese medio, una persona hace muda declaración de que algo marcha mal. En toda organización hay cuatro aspectos asociados a la generación de conocimiento como certeza justificada: 1. la necesidad de un lenguaje legitimado; 2. las anécdotas empresariales; 3. los procedimientos y 4. los paradigmas de la compañía.

El rechazo de un lenguaje innovador impide la compartición del conocimiento tácito y el anecdotario de los fracasos, causa parálisis en la organización, por ello debe crearse una cartera de expertos que faciliten la integración de micro-comunidades y la comunicación intra e inter-comunitaria. La meta es siempre, la creación de valor, expresada en el ámbito empresarial por los resultados del negocio. Las innovaciones de éxito, ocurren por lo general, en un ambiente abierto, donde prevalece un equilibrio productivo entre orden y caos. El contexto propicio (*ba* en lengua japonesa) garantiza la cooperación y favorece las relaciones personales, siendo importante adoptar una actitud de escucha activa para obtener provecho de las oportunidades de negocio y neutralizar las amenazas del entorno. La rentabilidad resulta de una diferenciación basada en conocimientos de innovación, generadores de ventajas competitivas en el proceso de producción-comercialización de bienes y servicios.

Las siguientes preguntas, contribuyen al análisis del equilibrio dinámico entre supervivencia y avance:

Estrategias de supervivencia:

1. ¿Qué cambios deben realizarse en la estrategia de supervivencia para preservar o mejorar los niveles de rentabilidad?
2. ¿Cuáles de los actuales competidores, así como de posibles competidores futuros, aplican ya estrategias de supervivencia similares a las de la empresa objeto de análisis?
3. ¿Cuáles son las actuales fuentes de ventaja competitiva y qué mejoras deben ser efectuadas en ellas para sostener en el tiempo la ventaja competitiva lograda?
4. ¿Qué debe hacerse para preservar el valor y la exclusividad del conocimiento de la compañía, protegiéndolo al mismo tiempo contra posibles intentos de imitación y sustitución por parte de los competidores? ¿Qué puede hacerse para que la transferencia de conocimiento excepcional y público entre diversos productos, mercados, negocios y unidades de organización sea más eficaz que la de los competidores?

Estrategias de avance:

1. ¿Qué estrategia de avance debe adoptarse para garantizar futuros niveles de rentabilidad?
2. ¿Cuáles de los posibles competidores podrían seguir estrategias de avance similares a las de la empresa objeto de análisis?
3. ¿Cuáles deberán ser las futuras fuentes de ventaja competitiva y qué podría hacerse para que tales fuentes sean sustentables?
4. ¿Cómo puede crearse nuevo conocimiento susceptible de convertirse en fuente de ventaja competitiva sustentable? ¿Qué debe contener tal conocimiento? ¿Qué debe hacerse para que ese conocimiento sea difícil de imitar y sustituir desde el comienzo mismo del proceso de creación? Es decir, ¿cómo puede usarse con beneficio el conocimiento tácito? ¿Qué se hará para transferir conocimiento entre productos, mercados, negocios y unidades de organización?

Las conversaciones estratégicas representan la gestación del futuro de la empresa; implican la creación de conceptos a través de alegorías y analogías, para plasmar nociones abstractas e indefinidas o borrosas asociadas a la experiencia personal.

La estrategia va de la mano con la visión del conocimiento; debe ofrecer un mapa mental del mundo en el que se vive; del mundo en que se debería vivir y del conocimiento que se debe buscar y crear, en relación con la tecnología; la sociedad; la cultura; las normas políticas y legales y la economía. La transmisión de conocimiento explícito y tácito, reconoce tres pasos, el de estimulación; el de empaque-envío y el de recreación en destino. En todas las experiencias de creación de conocimiento, es posible emplear con fines de mapeo, una matriz 5 x 5 referida a cada acción facilitadora del conocimiento y a cada paso de la creación de éste. Las acciones facilitadoras del conocimiento o factores facilitadores del conocimiento (1. generación de una visión del conocimiento; 2. conducción de conversaciones; 3. movilización de gestores del conocimiento o negociantes de porvenir; 4. creación del contexto adecuado y 5. transferencia o globalización del conocimiento local), se consignan como etiquetas o rótulos de filas de la matriz y los pasos de la creación del conocimiento (1. compartición del conocimiento tácito; 2. creación de conceptos; 3. justificación de conceptos; 4. elaboración de prototipos y 5. inter-nivelación del conocimiento) se presentan como etiquetas o rótulos de columnas de la matriz.

El conocimiento no es un activo fijo, sino que se lo debe desarrollar continuamente, para que rinda ventajas competitivas sustentables, inherentes a un activo intangible susceptible de ser manejado. Debe considerarse que los costos totales de búsqueda (*CTB*) de una organización, resultan de sumar los costos de búsqueda de datos (*CBD*); los costos de búsqueda de información (*CBI*) y los costos de búsqueda de conocimiento (*CBC*). Entonces, puede escribirse:

$CTB = CBD + CBI + CBC$, siendo normalmente necesario considerar la exigencia de superar o dismantelar barreras, durante la tarea de facilitación del conocimiento; éstas son de naturaleza estratégica; son organizacionales; son de procesos; son de infraestructura; son culturales o bien son individuales.

Preguntas:

- ¿Es posible identificar en relación con un proceso particular, los cinco factores facilitadores del conocimiento, que son: 1. generación de una visión del conocimiento; 2. conducción de conversaciones; 3. movilización de gestores del conocimiento o negociantes de porvenir; 4. creación del contexto adecuado y 5. transferencia o globalización del conocimiento local?
- ¿Es posible identificar en relación con un proceso particular, los cinco pasos de la creación de conocimiento, que son: 1. compartición del conocimiento tácito; 2. creación de conceptos; 3. justificación de conceptos; 4. elaboración de prototipos y 5. inter-nivelación del conocimiento?
- ¿Se visualizan los cuatro aspectos asociados a la generación de conocimiento como certeza justificada, que son: 1. la necesidad de un lenguaje legitimado; 2. las anécdotas empresariales; 3. los procedimientos y 4. los paradigmas?
- ¿Se comparte la oportunidad y pertinencia de crear una cartera de expertos que faciliten la integración de micro-comunidades y la comunicación intra e inter-comunitaria, teniendo como meta la creación de valor, expresada como los resultados del negocio?
- ¿Cómo puede perfeccionarse la actitud de escucha activa para obtener provecho de las oportunidades de negocio y neutralizar las amenazas del entorno?
- ¿Qué cambios deben realizarse en la estrategia de supervivencia para preservar o mejorar los niveles de rentabilidad?
- ¿Cuáles de los actuales competidores, así como de posibles competidores futuros, aplican ya estrategias de supervivencia similares?
- ¿Cuáles son las actuales fuentes de ventaja competitiva y qué mejoras deben ser efectuadas en ellas para sostener en el tiempo la ventaja competitiva lograda?

- ¿Qué debe hacerse para preservar el valor y la exclusividad del conocimiento de la empresa, protegiéndolo al mismo tiempo contra posibles intentos de imitación y sustitución por parte de los competidores? ¿Qué puede hacerse para que la transferencia de conocimiento excepcional y público entre diversos productos, mercados, negocios y unidades de organización sea más eficaz que la de los competidores?
- ¿Qué estrategia de avance debe adoptarse para garantizar futuros niveles de rentabilidad?
- ¿Cuáles de los posibles competidores podrían seguir estrategias de avance similares?
- ¿Cuáles deberán ser las futuras fuentes de ventaja competitiva y qué podría hacerse para que tales fuentes sean sustentables?
- ¿Cómo puede crearse nuevo conocimiento susceptible de convertirse en fuente de ventaja competitiva sustentable? ¿Qué debe contener tal conocimiento? ¿Qué debe hacerse para que ese conocimiento sea difícil de imitar y sustituir desde el comienzo mismo del proceso de creación?
- ¿Cómo puede usarse con beneficio el conocimiento tácito? ¿Qué se hará para transferir conocimiento entre productos, mercados, negocios y unidades de organización?
- ¿Representan las conversaciones estratégicas, la gestación del futuro de la empresa?; ¿implican la creación de conceptos a través de alegorías y analogías, para plasmar nociones abstractas e indefinidas o borrosas, asociadas a la experiencia personal?
- ¿Está efectivamente asociada la estrategia con la visión del conocimiento?
- ¿Se tiene claridad en relación con el conocimiento que se debe buscar y crear, para atender las demandas de la tecnología; la sociedad; la cultura; las normas políticas y legales y la economía?
- ¿Se está dispuesto a considerar los medios necesarios para desarrollar continuamente el conocimiento, de modo que rinda las ventajas competitivas sustentables inherentes a un activo intangible, susceptible de ser manejado?
- ¿Se comparte el criterio de estimación de los costos totales de búsqueda, a partir de los costos de búsqueda de datos; los costos de búsqueda de información y los costos de búsqueda de conocimiento?

10. 1. 1. 5. - Conocimiento en Acción: así como el *bourgeois gentilhomme* de Jean-Baptiste Poquelin *dit* Molière (1622-1673) descubre con sorpresa que había estado hablando en prosa durante toda su vida, debe tomarse conciencia que la gestión del conocimiento, hoy formalizada y sistematizada, acompaña al *Homo sapiens* desde los inicios de su historia. La nueva economía no está en la tecnología, ya sea ésta, el microchip o la red global de telecomunicaciones; está en la mente humana. La afirmación de Marshall McLuhan (1911-1980), *the medium is the message*, de alto contenido semiótico, soslaya la asociación entre actividad intelectual y conocimiento, el que al dejar de evolucionar, se convierte en opinión o dogma. Esquilo, hace veinticinco siglos afirmó que “es verdaderamente sabio quien sabe cosas valiosas, no aquel que sabe muchas cosas pero inútiles”. El conocimiento se origina y reside en la mente de las personas, su desarrollo debe promoverse en situaciones inusuales, pues como afirmaba Ralph Waldo Emerson (1803-1882), “las malas épocas tienen un valor científico; son las ocasiones que un buen aprendiz, no debe desaprovechar”. Compartir el conocimiento requiere confianza, la que ha de ser visible; ubicua y comenzar en quienes ocupan el nivel sociocultural más alto. La combinación intencional de la contribución de personas con distintas aptitudes, ideas y valores, puede generar soluciones creativas. Es lo que Dorothy Leonard-Barton llama la abrasión creativa. La innovación se produce en las fronteras entre los modos de pensar y no en el espacio de conocimientos y aptitudes comunes. En *The Knowledge-Creating Company*, Ikujiro Nonaka e Hirotaka Takeuchi, expresan que reunir personas con distintos conocimientos y experiencias (variedad necesaria), es una de las condiciones requeridas para la creación del conocimiento. Implica el conflicto productivo de la creación abrasiva o caos creativo, como el valor de tener un conjunto mayor y más complejo de ideas.

Las diferencias entre los individuos evitan que el grupo caiga en soluciones rutinarias a los problemas. Al no disponerse de soluciones comunes, deben desarrollarse ideas nuevas o bien combinarse de modos nuevos, ideas viejas. La complejidad y diversidad de las fuerzas implicadas para resolver un problema, deben ser equivalentes a la complejidad y diversidad del problema. La integración de un grupo humano, reconoce los siguientes principios de conocimiento:

- Promover el reconocimiento del valor del conocimiento buscado y la voluntad de intervenir en el proceso de su generación;
- Identificar a los principales trabajadores del conocimiento, aquellos que pueden ser reunidos eficazmente mediante un esfuerzo de fusión;
- Destacar el potencial creativo inherente a la complejidad y diversidad de ideas, considerando que las diferencias son positivas y no fuentes de conflicto. Deben evitarse las respuestas simples a cuestiones complejas;
- Reconocer que la necesidad de generar conocimiento, debe ser promovida; premiada y dirigida hacia un objetivo común;
- Introducir metas y medidas del avance logrado que reflejen el verdadero valor del conocimiento, de una manera más completa que un simple registro contable.

Analizando las inflexibilidades básicas como tendencias de las empresas y de sus empleados a aferrarse a soluciones trilladas y eficaces, Dorothy Leonard-Barton comenta que la mente humana es el activo más flexible y el más inflexible de una organización, donde las personas son capaces de notables saltos de intuición, aferrándose tenazmente sin embargo, a detalles de rutinas insignificantes e improductivas.

Los mapas del conocimiento, deben elaborarse a partir de objetivos claros; de una definición precisa de entidades cognitivas, logrando que sean disponibles; elocuentes y fáciles de usar. Una presentación conveniente de los mapas del conocimiento, es la que se basa en una disposición matricial. Si los sentidos de crecimiento de los ejes, coinciden con los adoptados en la Geometría Analítica, se tendrán sobre el eje de abscisas, los siguientes pasos: 1) Creación - Adquisición; 2) Representación - Codificación - Registro; 3) Transferencia - Compartición y 4) Ajuste - Refinamiento - Actualización. Sobre el eje de ordenadas, también en sentido creciente, se tendrán los sujetos del conocimiento: 1) Individuo; 2) Grupo; 3) Organización y 4) Contexto - Medio externo. Cada uno de estos niveles, se divide en Conocimiento tácito y Conocimiento explícito. La **Fig. 7** muestra la estructura de un mapa del conocimiento y los vínculos que describen las sucesivas transformaciones para una situación supuesta.

Los seres humanos aprenden mejor de las historias y anécdotas. Según afirma Karl Weick, las personas piensan de manera narrativa en vez de argumentativa o paradigmática. Una buena historia, es frecuentemente la mejor manera de transmitir conocimiento significativo, el que en el plano institucional, debe ser armonizado, sin ser homogeneizado. Dice Friedrich Nietzsche (1844-1900), que un hombre no presta oídos a lo que la experiencia no le ha permitido acceder. En su artículo *What's so new about the New Economy?*, Alan Webber afirma que las conversaciones son una forma de trabajo sumamente importante; pues constituyen la manera en que las personas descubren lo que saben, lo comparten y crean nuevo conocimiento. La transferencia de conocimiento, implica su transmisión e incorporación o absorción y uso por parte del receptor.

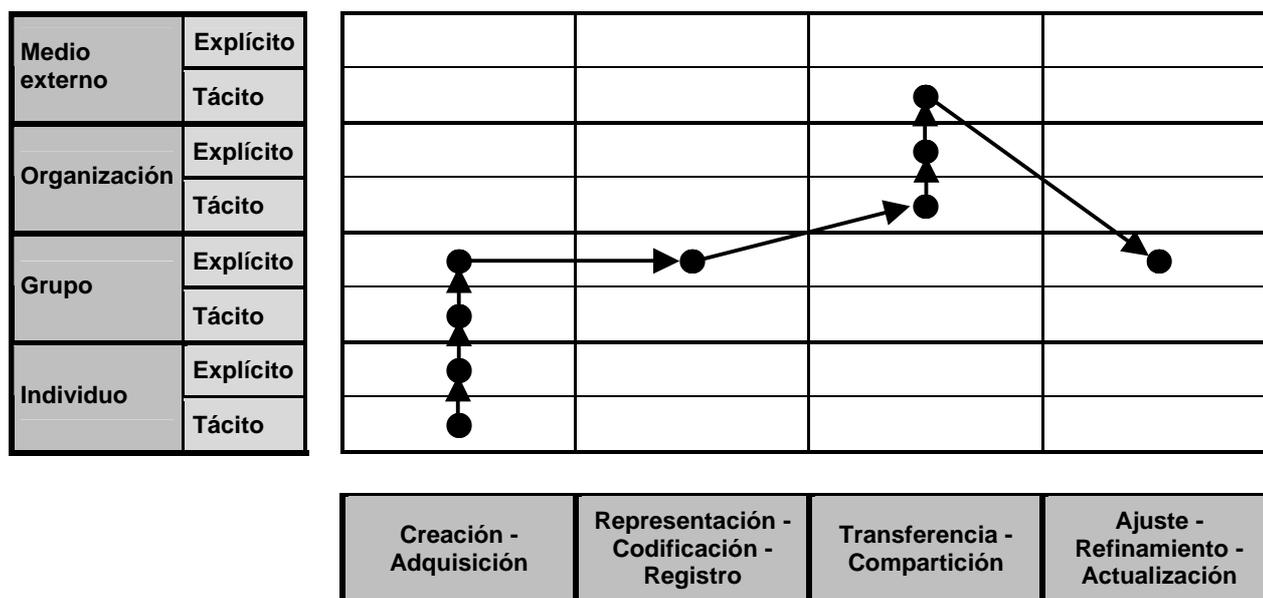


Fig. ACCV - 07 - EJEMPLO DE MAPA DEL CONOCIMIENTO, DONDE SE INDICAN LAS TRANSFORMACIONES.

La gestión del capital intelectual, es un proceso cíclico y recurrente, donde intervienen, tanto el nivel institucional, como las unidades empresariales, contribuyendo a la articulación entre activos cognitivos, las tecnologías de la información y de la comunicación y el área de recursos humanos. En *The emerging flexible organization: perspectives from Silicon Valley*, Homa Bahrami señala la importancia fundamental de las redes informales, siendo las capacidades; los compromisos; las motivaciones y las relaciones interpersonales, esenciales cuando se evalúan la amplitud y profundidad del conocimiento.

El estado de flujo del proceso creativo, hace que los roles y cargos estén sujetos a un cambio constante. Las TIC son herramientas de apoyo al proceso creativo, pudiéndose emplear productos estándar como Lotus Notes en aplicaciones orientadas al análisis y al diálogo, y la web en tareas de publicación. El razonamiento basado en casos concretos, empleando la observación y premisas de sentido común, es cognitivamente valioso en el desarrollo de sistemas inteligentes. La experiencia y la capacidad de interpretación de las personas, actuando en un contexto, agregan valor al transformar datos e información en conocimiento. La posibilidad de capturarlo y gestionarlo en tiempo diferido o en tiempo real, hace que las TIC revistan importancia operativa.

Preguntas:

- ¿Es posible identificar ejemplos en relación con la gestión del conocimiento que ha realizado el hombre a lo largo de su historia?
- ¿Cómo puede ilustrarse la asociación entre actividad intelectual y conocimiento?
- ¿Cómo puede discernirse entre conocimiento significativo o saberes valiosos de los que son inútiles?
- ¿Podemos aportar ejemplos de innovación producida en las fronteras entre los modos de pensar y no en el espacio de conocimientos y aptitudes comunes?

- ¿Cómo puede provocarse en el seno de la organización, el conflicto productivo de la creación abrasiva o del caos creativo, para lograr un conjunto mayor y más complejo de ideas?
- ¿Cómo puede lograrse la equivalencia entre la complejidad y diversidad de los problemas y la complejidad y diversidad de las fuerzas implicadas para resolverlo?
- ¿Cómo pueden promoverse el reconocimiento del valor del conocimiento buscado y la voluntad de intervenir en el proceso de su generación?
- ¿Cómo identifica la organización a los principales trabajadores del conocimiento?; ¿cómo los reúne eficazmente a través de un esfuerzo de fusión?
- ¿Es posible destacar el potencial creativo inherente a la complejidad y diversidad de ideas?; ¿requiere esfuerzo reconocer que las diferencias son positivas y no fuentes de conflicto?; ¿es tarea sencilla evitar las respuestas simples a cuestiones complejas?
- ¿Se reconoce la necesidad de generar conocimiento, promoviéndolo; premiando y dirigiendo la acción hacia un objetivo común?
- ¿Cómo deben introducirse las metas y las medidas del avance logrado para que reflejen el verdadero valor del conocimiento?
- ¿Se analizan las inflexibilidades básicas como tendencias de la empresa y de sus empleados a aferrarse a soluciones trilladas y eficaces?
- ¿En relación con qué áreas de la empresa, sería posible comenzar a elaborar mapas del conocimiento?
- ¿Es posible discernir claramente los pasos del proceso de gestión del conocimiento consignados sobre el eje de abscisas?; ¿similarmente, los sujetos del conocimiento indicados sobre el eje de ordenadas?
- ¿Es clara la distinción entre conocimiento tácito y conocimiento explícito?
- ¿Cómo se indicarían las transformaciones al mapear situaciones complejas?
- ¿Puede ejemplificarse la afirmación de que los seres humanos aprenden mejor de las historias y las anécdotas?; ¿se comparte la hipótesis de que las personas piensan de manera narrativa y no argumentativa o paradigmática?
- ¿De qué modo una historia transmite conocimiento significativo?
- ¿Son realmente las conversaciones una forma de trabajo?; ¿operan de manera de ayudar a que las personas descubran lo que saben y lo compartan?
- ¿Implica efectivamente la transferencia de conocimiento, su transmisión e incorporación o absorción y uso por parte del receptor?
- ¿Es posible visualizar a la gestión del capital intelectual, como un proceso cíclico y recurrente?; ¿pueden proponerse ejemplos?
- ¿Son las capacidades; los compromisos; las motivaciones y las relaciones interpersonales, esenciales cuando se evalúan la amplitud y profundidad del conocimiento?; ¿pueden proponerse casos ilustrativos?
- ¿Cuál es el valor práctico de las redes informales?
- ¿Cuál es el mérito del análisis y del diálogo en la gestión del conocimiento?; ¿cómo es dable utilizar la web en tareas de publicación?
- ¿Cómo puede utilizarse el razonamiento basado en casos concretos, empleando la observación y premisas de sentido común, en el desarrollo de sistemas inteligentes?
- ¿Cómo juega el valor agregado por las personas; su contexto; experiencia e interpretación, en la transformación de datos e información en conocimiento?
- ¿Cuál es la importancia de las TIC en la administración del conocimiento?; ¿cómo puede evaluarse su capacidad para capturar y gestionar entidades cognitivas, en tiempo diferido o en tiempo real?

10. 1. 2. - CONOCIMIENTO COTIDIANO Y CONOCIMIENTO CIENTÍFICO

10. 1. 2. 1. - Paso del Conocimiento Cotidiano al Conocimiento Científico: éste puede ser abordado desde tres dimensiones; la de los principios epistemológicos o de los fundamentos y métodos del conocimiento científico; la de los principios ontológicos o inherentes al ser y la de los principios conceptuales o de los objetos concebibles, tal como muestran las **Tablas CCC – 01; 02 y 03** (Pozo Municio, J. I. y M. A. Gómez Crespo, 1998):

Tabla CCC - 01 - PRINCIPIOS EPISTEMOLÓGICOS

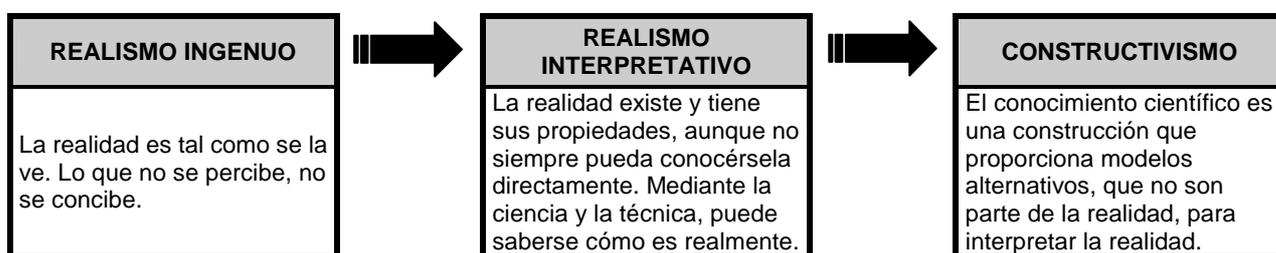


Tabla CCC - 02 - PRINCIPIOS ONTOLÓGICOS

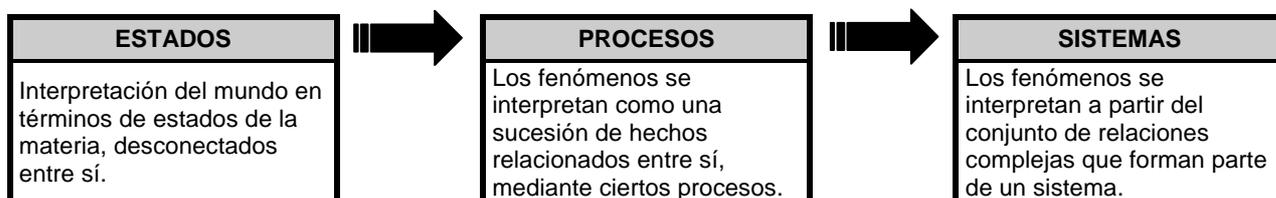
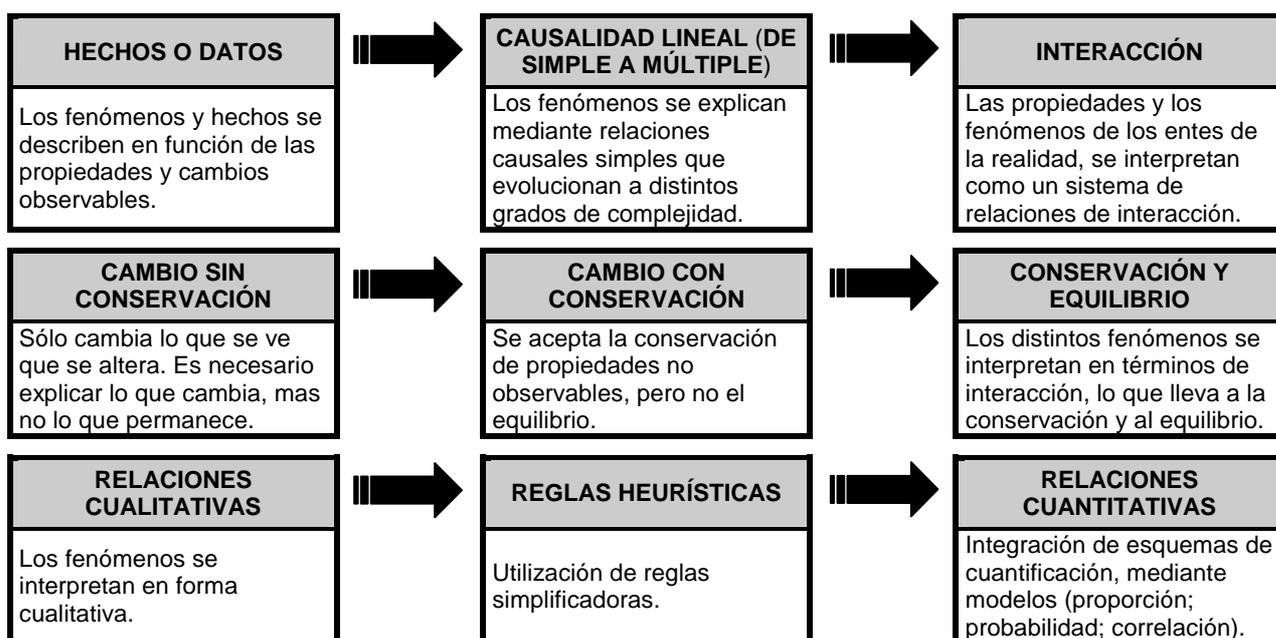


Tabla CCC - 03 - PRINCIPIOS CONCEPTUALES



El cambio conceptual, puede ser interpretado desde cuatro enfoques, los que conllevan sus propias metas (Pozo Municio, J. I. y M. A. Gómez Crespo, 1998):

10. 1. 2. 2. - Hipótesis de la Compatibilidad o de la Acumulación de Saberes: los procesos y productos del conocimiento cotidiano y del conocimiento científico, son básicamente de la misma naturaleza. Los productos del conocimiento cotidiano o concepciones alternativas, difieren de los conocimientos científicos expresados como teorías y modelos, en sus raíces sociales y culturales. Se interpreta el conocimiento, como saber positivo y el aprendizaje como proceso reproductivo. La mente dispone de modos en su mayor parte innatos e inmodificables de organizar perceptiva y conceptualmente el mundo, los que condicionan el procesamiento de la información y del conocimiento. Estos moldes o módulos cognitivos, un trasunto de las ideas puras platónicas, no serían producto del aprendizaje y de la experiencia, sino únicamente enriquecidos de manera acumulativa, participando en ello, procesos de diferenciación y generalización de conceptos.

La continuidad o compatibilidad entre el conocimiento cotidiano y el conocimiento científico, adhiere a la adquisición asociativa o constructivista del conocimiento.

10. 1. 2. 3. - Hipótesis de la Incompatibilidad o del Cambio Conceptual: la mente del hombre común y la del científico, operan bajo estructuras diferentes. El cambio conceptual para ser efectivo y superar las incompatibilidades básicas entre el conocimiento cotidiano, esencialmente implícito y el conocimiento científico, generalmente explícito, debe orientarse a la modificación de las estructuras conceptuales y de los supuestos epistemológicos y ontológicos que subyacen a toda concepción alternativa.

10. 1. 2. 4. - Hipótesis de la Independencia o del Uso del Conocimiento Según el Contexto: se aplican diferentes representaciones o modelos para atender cometidos diferentes. Se da una coexistencia de enfoques con preeminencia de los que reclama cada situación problemática; destacándose el valor pragmático del conocimiento cotidiano, su carácter fenomenológico y adaptativo.

10. 1. 2. 5. - Hipótesis de la Integración Jerárquica o de los Diferentes Niveles de Representación y Conocimiento: implica una conexión metacognitiva, que convierte en objeto de reflexión, las diferencias entre ambos enfoques para que puedan ser integradas como distintos niveles de análisis o de complejidad en la interpretación de los problemas. Éstos, son susceptibles de ser analizados y representados, conforme a un ordenamiento jerárquico, recurriéndose a estructuras conceptuales de diferente complejidad.

Desde un punto de vista conceptual, la teoría intuitiva, resulta subsumida por la teoría científica, pero desde la praxis informal cotidiana, sigue siendo económica o eficaz en oportunidad del procesamiento. El conocimiento se elabora mediante la integración jerárquica de modelos; importa, tal como se expresó, una construcción de estructuras conceptuales de complejidad creciente. De la re-estructuración, se pasa a la explicitación y a la integración jerárquica, lo que provoca cambios en el proceso cognitivo.

Según prescribe el método científico, se debe comenzar por la observación de los hechos, para extraer merced a la experimentación, leyes y principios. Se trata de una concepción positivista, conforme a la cual, la ciencia es una colección de hechos objetivos regidos por leyes que pueden inferirse directamente, si se emplea el procedimiento adecuado. Sin embargo, el conocimiento científico se origina en un planteo hipotético-deductivo, consistente en la creación de modelos para interpretar la realidad. La ciencia no es un discurso sobre lo real, sino un proceso de elaboración de modelos para interpretar la realidad.

Las teorías no son saberes absolutos o positivos, sino aproximaciones relativas, poco vinculadas con el descubrimiento. La ciencia establece un diálogo entre las teorías hipotéticas y la porción de la realidad que interroga. Se trata de un proceso dinámico, que convierte a los saberes en entidades perecederas, estableciéndose un compromiso con la sociedad, pues no es válida la afirmación de la neutralidad y objetividad del supuesto saber positivo de la ciencia.

10. 1. 2. 6. - Textos Pertencientes a "La Estructura de las Revoluciones Científicas" de Thomas Samuel Kuhn: por su influencia sobre el pensamiento científico contemporáneo y por su significación en relación con la Gestión del Conocimiento en el proceso de modelización, se transcriben seguidamente algunos párrafos de la obra de referencia (Kuhn, T. S., 1996):

"La observación y la experiencia pueden y deben limitar drásticamente la gama de las creencias científicas admisibles o, de lo contrario, no habría ciencia. Pero, por sí solas, no pueden determinar un cuerpo particular de tales creencias. Un elemento aparentemente arbitrario, compuesto de incidentes personales e históricos, es siempre uno de los ingredientes de formación de las creencias sostenidas por una comunidad científica dada en un momento determinado."

"El estudio de los paradigmas es lo que prepara principalmente al estudiante para entrar a formar parte como miembro de la comunidad científica particular con la que trabajará más tarde. (...) A falta de un paradigma o de algún candidato a paradigma, todos los hechos que pudieran ser pertinentes para el desarrollo de una ciencia dada tienen probabilidades de parecer igualmente importantes. Como resultado de ello, la primera reunión de hechos es una actividad mucho más fortuita que la que resulta familiar, después del desarrollo científico subsiguiente."

"No puede interpretarse ninguna historia natural sin, al menos, cierto caudal implícito de creencias metodológicas y teóricas entrelazadas, que permite la selección, la evaluación y la crítica. Si este caudal de creencias no se encuentra ya implícito en la colección de hechos — en cuyo caso tendremos a mano algo más que hechos simples — deberá ser proporcionado del exterior, quizá por una metafísica corriente, por otra ciencia o por incidentes personales o históricos. Por consiguiente, no es extraño que, en las primeras etapas del desarrollo de cualquier ciencia, diferentes hombres, ante la misma gama de fenómenos — pero, habitualmente, no los mismos fenómenos particulares — los describan y los interpreten de modos diferentes. Lo que es sorprendente, y quizá también único en este grado en los campos que llamamos ciencia, es que esas divergencias iniciales puedan llegar a desaparecer en gran parte alguna vez."

"Para ser aceptada como paradigma, una teoría debe parecer mejor que sus competidoras; pero no necesita explicar y, en efecto, nunca lo hace, todos los hechos que se puedan confrontar con ella. (...) El surgimiento de un paradigma afecta a la estructura del grupo que practica en ese campo. En el desarrollo de una ciencia natural, cuando un individuo o un grupo producen, por primera vez, una síntesis capaz de atraer a la mayoría de los profesionales de la generación siguiente, las escuelas más antiguas desaparecen gradualmente. Su desaparición se debe, en parte, a la conversión de sus miembros al nuevo paradigma. Pero hay siempre hombres que se aferran a alguna de las viejas opiniones y, simplemente, se les excluye de la profesión que, a partir de entonces, pasa por alto sus trabajos. El nuevo paradigma implica una definición nueva y más rígida del campo."

"Cuando un científico individual puede dar por sentado un paradigma, no necesita ya, en sus trabajos principales, tratar de reconstruir completamente su campo, desde sus principios, y justificar el uso de cada concepto presentado. (...) El éxito de un paradigma es al principio, en gran parte, una promesa de éxito discernible en ejemplos seleccionados y todavía incompletos. La ciencia normal consiste en la realización de esa promesa, una realización lograda mediante la ampliación del conocimiento de aquellos hechos que el paradigma muestra como particularmente reveladores, aumentando la extensión del acoplamiento entre esos hechos y las predicciones del paradigma y por medio de la articulación ulterior del paradigma mismo."

"Ninguna parte del objetivo de la ciencia normal está encaminada a provocar nuevos tipos de fenómenos; en realidad, a los fenómenos que no encajarían dentro de los límites mencionados frecuentemente ni siquiera se los ve. Tampoco tienden normalmente los científicos a descubrir nuevas teorías y a menudo se muestran intolerantes con las formuladas por otros. Es posible que sean defectos. Por supuesto, las zonas investigadas por la ciencia normal son minúsculas; la empresa que está siendo discutida ha restringido drásticamente la visión. Pero esas restricciones, nacidas de la confianza en un paradigma, resultan esenciales para el desarrollo de una ciencia. Al enfocar la atención sobre un cuadro pequeño de problemas relativamente extraños, el paradigma obliga a los científicos a investigar alguna parte de la naturaleza de una manera tan detallada y profunda que sería inimaginable en otras condiciones."

"Creo que hay sólo tres focos normales para la investigación científica fáctica y no son siempre ni permanentemente, distintos. Primeramente encontramos la clase de hechos que el paradigma ha mostrado que son particularmente reveladores de la naturaleza de las cosas. (...) Los esfuerzos por aumentar la exactitud y el alcance con que se conocen hechos como éstos, ocupan una fracción importante de la literatura de la ciencia de observación y experimentación. Desde Tycho Brahe hasta E. O. Lawrence, algunos científicos han adquirido grandes reputaciones, no por la novedad de sus descubrimientos, sino por la precisión, la seguridad y el alcance de los métodos que desarrollaron para la redeterminación de algún tipo de hecho previamente conocido. Una segunda clase habitual, aunque menor, de determinaciones fácticas se dirige hacia los hechos que pueden compararse directamente con predicciones de la teoría del paradigma. (...) Una tercera clase de experimentos y observaciones agota la tarea de reunión de hechos de la ciencia normal. Consiste en el trabajo empírico emprendido para articular la teoría del paradigma, resolviendo algunas de sus ambigüedades y permitiendo resolver problemas hacia los que anteriormente sólo se había llamado la atención. (...) Estas tres clases de problemas: la determinación del hecho significativo, el acoplamiento de los hechos con la teoría y la articulación de la teoría, agotan, creo yo, la literatura de la ciencia normal, tanto empírica como teórica."

"El surgimiento de nuevas teorías es precedido generalmente por un periodo de inseguridad profesional profunda. Como podría esperarse, esta inseguridad es generada por el fracaso persistente de los paradigmas de la ciencia normal para dar los resultados apetecidos. El fracaso de las reglas existentes es el que sirve de preludio a la búsqueda de otras nuevas. (...) Supongamos entonces que las crisis son una condición previa y necesaria para el nacimiento de nuevas teorías y preguntémosnos después cómo responden los científicos a su existencia. Aun cuando pueden comenzar a perder su fe y, a continuación a tomar en consideración otras alternativas, no renuncian al paradigma que los ha conducido a la crisis. (...) La transición de un paradigma en crisis a otro nuevo del que pueda surgir una nueva tradición de ciencia normal, está lejos de ser un proceso de acumulación, al que se llegue por medio de una articulación o una ampliación del antiguo paradigma. Es más bien una reconstrucción del campo, a partir de nuevos fundamentos, reconstrucción que cambia alguna de las generalizaciones teóricas más elementales del campo, así como también muchos de los métodos y aplicaciones del paradigma. Cuando la transición es completa, la profesión habrá modificado su visión del campo, sus métodos y sus metas. (...) Casi siempre, los hombres que realizan esos inventos fundamentales de un nuevo paradigma han sido muy jóvenes o muy noveles en el campo cuyo paradigma cambian. Se trata de hombres que, al no estar comprometidos con las reglas tradicionales de la ciencia normal debido a que tienen poca práctica anterior, tienen muchas probabilidades de ver que esas reglas no definen ya un juego que pueda continuar adelante y de concebir otro conjunto que pueda reemplazarlas. La transición consiguiente a un nuevo paradigma es la revolución científica."

"No hay ninguna norma más elevada que la aceptación de la comunidad pertinente. Para descubrir cómo se llevan a cabo las revoluciones científicas, tendremos, por consiguiente, que examinar no sólo el efecto de la naturaleza y la lógica, sino también las técnicas de argumentación persuasiva, efectivas dentro de los grupos muy especiales que constituyen la comunidad de científicos. Para descubrir por qué la cuestión de la elección del paradigma no puede resolverse nunca de manera inequívoca sólo mediante la lógica y la experimentación, debemos examinar brevemente la naturaleza de las diferencias que separan a los partidarios de un paradigma tradicional de sus sucesores revolucionarios. (...) La tradición científica normal que surge de una revolución científica es no sólo incompatible sino también a menudo incomparable con la que existía con anterioridad."

10. 1. 3. - REPRESENTACIÓN Y ORGANIZACIÓN DEL CONOCIMIENTO

El conocimiento es según Muñoz-Seca y Riverola, la capacidad de resolver problemas con una efectividad determinada (Muñoz-Seca, B. y J. Riverola, 1997). Beckman establece jerarquías del conocimiento, sobre la base de distinciones entre las transformaciones de las formas de conocimiento {entradas-datos-información-conocimiento-competencias individuales-competencias organizativas} (Beckman, T., 1997; 1998). La representación y organización del conocimiento, conforme al enfoque sistémico, pueden ser abordadas mediante enlaces estructurales funcionales, entre saberes invariantes. Si la modelización holística, encara el proceso dialéctico, como un desarrollo genético (Hernández Fernández, H., 1993; Morenza, L. *et al.*; Niistö, 1984), el concepto fundamental, formador del sistema, es el de célula generadora. Otras alternativas de organización, son la basada en redes semánticas y la que estructura interpretativamente los objetos cognitivos, mediante dígrafos o grafos orientados. En las redes semánticas, la representación y estructuración del conocimiento, se apoya en el empleo de nodos cognitivos, como entidades de acumulación de información, vinculadas con un concepto o conocimiento determinado, donde la información se incorpora de modo consciente, como saber significativo y perdurable, que puede recuperarse para ser aplicado o modificado por enriquecimiento o transformación, o bien para establecer conexiones con otros nodos. Puede formularse una aproximación a la representación y estructuración mediante un grafo orientado, basado en la interacción entre elementos, vinculados mediante relaciones contextuales de causalidad (Harary, F.; R. Z. Norman and D. Cartwright, 1965; Hawthorne, R. W. and A. P. Sage, 1974).

En el plan de circularidad de la Ciencia que Raymond Queneau esboza en un escrito fechable entre 1944 y 1948, citado por Italo Calvino en el capítulo La Filosofía de Raymond Queneau, de su libro Por que Leer los Clásicos (Calvino, I., 1996), abarcando las Ciencias de la Naturaleza, la Química y la Física, hasta la Matemática y la Lógica, señala que la tendencia general a la matematización, se transforma en una articulación de la Matemática con las Ciencias de la Naturaleza y del Hombre, en el tratamiento de los problemas que éstas plantean. Resulta una línea que puede recorrerse en ambos sentidos y a su vez, cerrarse circularmente, donde la Lógica se propone como modelo de funcionamiento de la inteligencia humana. “La logística es la axiomatización del pensamiento mismo”, sostiene Jean Piaget. A ello Raymond Queneau añade: “Pero la Lógica es también un arte y la axiomatización un juego. El ideal que se han fabricado los científicos en el transcurso de todo el comienzo del Siglo XX, ha sido una presentación de la Ciencia no como conocimiento sino como regla y método. Se dan nociones (indefinibles) de los axiomas y de las instrucciones de uso; en una palabra, es un sistema de convenciones. Pero ¿no será éste un juego en nada diferente del ajedrez o del *bridge*? Antes de proseguir el examen de este aspecto de la Ciencia, debemos detenernos en este punto: ¿es la Ciencia un conocimiento; sirve para conocer? Y dado que se trata de Lógica y de Matemática; ¿qué es lo que se conoce en estas Ciencias Formales? Precisamente: nada. Y no hay nada que conocer. No conocemos el punto, el número, el grupo, el conjunto, la función, más de lo que conocemos el electrón, la vida, el comportamiento humano. No conocemos el mundo de las funciones y de las ecuaciones diferenciales más de lo que conocemos la realidad concreta terrestre y cotidiana. Todo lo que conocemos es un método aceptado (consentido) como verdadero por la comunidad de los científicos, método que tiene también la ventaja de conectarse con las técnicas de fabricación. Pero este método es también un juego, más exactamente lo que se llama un *jeu d’esprit*. Por lo tanto toda la Ciencia, en su forma más acabada, se presenta como técnica y como juego, ni más ni menos que como ocurre con la otra actividad humana: el Arte.”

En lo expresado precedentemente, está, según Italo Calvino, todo Queneau, donde la práctica se sitúa constantemente en las dos dimensiones contemporáneas del Arte, en cuanto técnica y juego, sobre el fondo de su radical pesimismo gnoseológico. Éste reconoce variados antecedentes, vinculados a la tradición filosófica occidental, la que al decir de Alfred North Whitehead, es una suma de glosas y comentarios hechos a la obra de Platón.

Los procesos de definición del problema, se articulan con el análisis morfológico inherente a la clarificación del planteo inicial, en lo atinente a estructura, rango e implicación. Aspectos salientes del análisis son (Sage, A. P., 1977):

- Listado y arreglo u ordenamiento de palabras clave (conjunto de elementos del sistema);
- Identificación de interrelaciones entre los elementos (conjunto de relaciones contextuales);
- Obtención de modelos estructurales, basados en la relación binaria y representados mediante grafos dirigidos de las relaciones entre elementos;
- Verificación y validación de Modelos Estructurales.

El proceso de modelización estructural considera los siguientes aspectos:

- El sistema objeto de descripción-interpretación, por medio de la herramienta matemática;
- El sistema de representación, definido merced a un conjunto de relaciones;
- El acoplamiento o correspondencia entre la percepción de características relevantes del sistema objeto de modelización y el sistema de representación, lo que debe resultar en un modelo estructural interpretativo (ámbito de aplicación iterativa y sistemática de la Teoría de Grafos para representar mediante grafos dirigidos, patrones complejos de relaciones contextuales particulares dentro de un conjunto de elementos).

Cada paso de la metodología de modelización, es una transformación de una forma a otra, interpretable como un isomorfismo (modificación de forma, sin pérdida de información), asociado al cambio-morfogénesis del modelo.

Refiriéndose a la historia de la inteligencia artificial, Hubert Dreyfus afirma que sus orígenes se remontan hasta cuatro siglos antes de la Era Cristiana, cuando Platón cita un diálogo en el que Sócrates le dice a Eutidemo: “Desearía saber cuál es la característica de la piedad que hace que una acción se pueda considerar como pía ... y así la observe y me sirva de norma para juzgar tus acciones y las de otros” (Dreyfus, H. L. 1979). El instrumento buscado, era un algoritmo; un procedimiento capaz de manejar el conocimiento mediante razonamientos. ¿Pueden identificarse, si corresponde, las fuentes de conocimiento? El empirismo iniciado con el *Novum Organum* de Francis Bacon, se caracteriza por el aforismo de John Locke: “Nada existe en la mente que no haya pasado antes por los sentidos.” El principio de inducción, originalmente propuesto por David Hume en *A Treatise on Human Nature*, publicado en 1740 (Hume, D.; D. F. Norton (Editor) and M. J. Norton (Editor), 2000), fue formalizado por el positivismo lógico, el que sostiene que todo el conocimiento se puede caracterizar mediante teorías relacionadas, en última instancia, con oraciones de observación, que corresponden a entradas sensoriales. Es posible comprobar o rechazar toda aseveración significativa, sea analizando el significado de las palabras o llevando a cabo experimentos (Russell, S. J. and P. Norvig, 1995).

Con la teoría de la confirmación, Rudolf Carnap y Carl Hempel intentaron definir el tipo de conexión que existe entre las oraciones de observación y otras teorías de carácter más general; en síntesis, comprender cómo puede obtenerse conocimiento a partir de la experiencia. La Lógica, aparece con Aristóteles; es inicialmente, más filosófica que matemática. En 1847 George Boole introdujo su lenguaje formal con el fin de hacer inferencias lógicas. El aporte de Gottlob Frege en 1879 constituye el fundamento de la lógica de primer orden que se utiliza actualmente como sistema básico de representación del conocimiento (Frege, G. 1879). Contemporáneamente, Alfred Tarski propuso una teoría de referencia que enseña como relacionar objetos de una lógica, con los objetos del mundo real (Tarski, A., 1956).

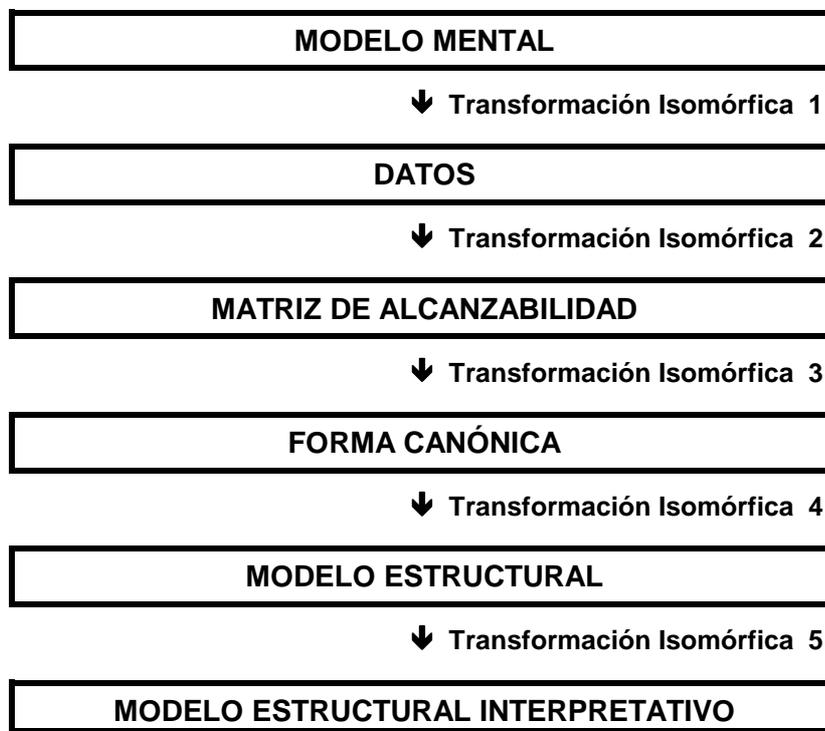
En 1930 Kurt Gödel demostró que existe un procedimiento eficiente para probar cualquier aseveración verdadera en la lógica de primer orden de Frege y Russell; sin embargo, con la lógica de primer orden no resultaba posible emplear el principio de inducción matemática para la caracterización de los números reales (Gödel, K., 1930). En 1931 demostró que existen límites reales. Su teorema de la incompletitud postula que en cualquier lenguaje que tuviera la capacidad suficiente para expresar las propiedades de los números naturales, existen aseveraciones verdaderas indecidibles: no es posible definir su validez mediante ningún algoritmo (Gödel, K., 1931).

En 1953 B. F. Skinner publicó *Science and Human Behavior* (Skinner, B. F., 1953) y en 1957 *Verbal Behavior* que es una detallada explicación del enfoque conductista del aprendizaje del lenguaje. Una reseña sobre esta obra, fue elaborada por Noam Chomsky en 1957 quién acababa de publicar su propia teoría en *Syntactic Structures* (Chomsky, N. 1957). Probó que la teoría conductista no aborda el tema de la creatividad en el lenguaje y mostró como las estructuras sintácticas, basadas en modelos del lingüista hindú Panini (aproximadamente 350 años A. C.), la explicaban, permitiendo su programación computacional, en virtud de su suficiencia formal. Posteriormente, se admitió la importancia de conocer el tema y el contexto para comprender satisfactoriamente un lenguaje, con todas sus implicaciones y ambigüedades, surgiendo en la década de 1960 un marcado interés por la representación del conocimiento; ésto es, el estudio de los modos de formalización que posibiliten su tratamiento mediante procedimientos computacionales.

El conocimiento puede ser representado entonces, empleando redes semánticas o conceptuales y modelización estructural interpretativa, vinculando los elementos u objetos cognitivos mediante relaciones contextuales de herencia de atributos y de causalidad. La relación contextual adecuada, es la de dependencia causal; ésto es: p_i causa o determina el efecto p_j o si $p_i \rightarrow p_j$.

En la página siguiente se presenta un diagrama de bloques para ilustrar los pasos a seguir en la Modelización Estructural Interpretativa, donde la transición de una instancia o etapa a otra, se logra mediante una transformación isomórfica. Ésta se interpreta, tal como se expresó antes, como cambio de forma, sin pérdida de información (ver **Fig. AROC - 01**).

Fig. AROC - 01 - DIAGRAMA DE BLOQUES ILUSTRATIVO DE LOS PASOS A SEGUIR EN LA MODELIZACIÓN ESTRUCTURAL INTERPRETATIVA



Los principales modelos de gestión del conocimiento se presentan en las **Tablas AROC - 01** y **AROC - 02**.

Tabla AROC - 01 - MODELOS DE GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO

MODELOS DE GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO		
TRANSFERENCIA / TRANSFORMACIÓN (HEDLUND,1994)	CREACIÓN (NONAKA, 1994 Y NONAKA Y TAKEUCHI, 1995)	GENERACIÓN (MUÑOZ-SECA Y RIVEROLA, 1997)
ARTICULACIÓN E INTERNALIZACIÓN; EXTENSIÓN Y APROPIACIÓN. ASIMILACIÓN Y DISEMINACIÓN	SOCIALIZACIÓN; EXTERNALIZACIÓN; COMBINACIÓN E INTERNALIZACIÓN	INNOVACIÓN; GENERACIÓN DE PROBLEMAS; RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS Y APRENDIZAJE

Tabla AROC - 02 - MODELOS DE GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO DESDE LOS PROCESOS

MODELOS DE GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO DESDE LOS PROCESOS					
WIIG (1993)	MARQUARDT (1996)	VAN DER SPEK Y SPIJKERVET (1997)	BECKMAN (1997)	RUGGLES (1997)	HOLSAPPLE Y JOSHI (1998)
CONSTRUIR; TRANSFORMAR; COMPARTIR; APLICAR	ADQUIRIR; CREAR; ALMACENAR; TRANSFERIR	DESARROLLAR; ASEGURAR; DISTRIBUIR; COMBINAR	IDENTIFICAR; CAPTURAR; SELECCIONAR; ALMACENAR; COMPARTIR; APLICAR; CREAR; VENDER	GENERAR; CODIFICAR; TRANSFERIR	ADQUIRIR; SELECCIONAR; INTERNALIZAR; USAR

10. 2. - OTROS ASPECTOS HUMANÍSTICOS

10. 2. 1. - EL HOMBRE Y LA NATURALEZA ¹

“Mi pasión por la relación del Hombre con la Naturaleza, quizás no sea un sentimiento nuevo. Muchos de los que nos hemos formado en las escuelas de las que participaron personalidades como Ilya Prigogine, vivimos un momento histórico importante de las ciencias; fue cuando apareció una profunda división entre el determinismo y el indeterminismo. Ésto corresponde cronológicamente, al advenimiento de la Biología Moderna; no como sistemática, sino como sistema.

El tema que vamos a abordar puede ser tratado de diferentes maneras; bien desde un punto de vista puramente filosófico y llegaríamos entonces a la encrucijada de Metafísica o Filosofía de la Ciencia, o desde un enfoque puramente historicista, con lo que nos veríamos encajados en el devenir sin poder proponer soluciones y desde una tercera, que es la de un enfoque puramente científico y quedaría por definir que son realmente las Ciencias de la Naturaleza. Hablando recientemente el Dr. Prigogine, sobre uno de sus últimos libros, Entre el Tiempo y la Eternidad, hacía la reflexión de que tanto los filósofos como los hombres de ciencia o los historiadores, o los tecnólogos en general, están recién empezando a atender los parámetros fundamentales que hacen a la comprensión de la Naturaleza, advirtiéndolo que ellos mismos, forman parte de la Naturaleza, estando dentro de ella, insertos en ella.

Cuando el Hombre trata de entender lo que lo rodea, usa aquello con lo que naturalmente puede observar: sus sentidos. Vista, oído, tacto, etc., son recursos naturales de observación. Entonces, la realidad que él percibe, es la realidad de sus métodos de observación y las conclusiones que extrae sobre lo que puede observar, dependen de sus instrumentos de observación y de la metodología inherente a esos instrumentos. El Hombre primitivo, ante la Naturaleza, asumía una actitud defensiva porque no tenía los útiles necesarios para dialogar con ella. Más tarde los hará y la destruirá. Más, en la primera parte de la vida humana el Hombre vive aislado, forma grupos en cavernas, no constituye las ciudades. El paso importante hacia la civilización, hacia la constitución de la ciudad, se da cuando la humanidad comienza mancomunadamente a integrar grupos mayores. Son éstos, dicho simbólicamente, los que pueden compartir el pan y consiguientemente, tener el mismo gesto de vida civilizada. En esas ciudades empiezan a aparecer los primeros artesanos o técnicos que brindan al Hombre, útiles más elaborados para entrar en relación con la Naturaleza. La importante distinción entre técnica y tecnología se basa en que la técnica consiste en el uso de un instrumento y la tecnología en su diseño. Esta era la tarea de los artesanos, quienes sabían hacer algo y lo transmitían. El saber se heredaba, por relato de unos a otros.

Habiendo el Hombre comenzado a hacer cosas; palancas, hachas, ruedas, etc., originó los nuevos útiles de su relación con la Naturaleza. El primer intento registrado de entender lo que observaba y lo que lo rodeaba, presentado como un cuerpo de doctrina, es el ensayo aristotélico en el que se trata de ordenar las cosas, según la recta razón. La recta razón es el procedimiento de razonamiento que responde a la demostración griega: hipótesis, tesis y demostración.

¹ Basado en una conferencia pronunciada por el Prof. Dr. Pedro Wenceslao Lobo, en el Coloquio Regional sobre Desarrollo Sostenible y Preservación Ambiental, realizado en San Miguel de Tucumán, entre el 10 y el 14 de diciembre de 1991, titulada El Hombre de Hoy en su Relación con la Naturaleza y el Entorno Científico-Tecnológico.

Debe advertirse la necesidad de distinguir entre las dos grandes corrientes filosóficas: la aristotélico-escolástica que seguirá en los filósofos contemporáneos, tomistas o no, y la del enfoque pitagórico, que da gran importancia al cálculo, heredera de la escuela egipcia, donde éste es lo fundamental, como en la civilización babilónica o persa. No en vano, la similitud entre las pirámides y el Teorema de Pitágoras. Las señaladas corrientes tienen dos consecuencias diferentes, una es la ordenación de las cosas según la recta razón, sobre la base de la demostración que exige la corroboración de la prueba científica y la otra es la eficacia del cálculo que en última instancia importa un mecanicismo a ultranza. Lo que puede reproducirse por el cálculo, como un dispositivo mecánico, es a lo que adhieren el Mecanicismo y el Neomecanicismo; ésto implica un enfoque diferente de la Naturaleza.

Para entender mejor la noción del Hombre sobre la Naturaleza y sus profundas diferencias en la percepción de la realidad, tal vez sea conveniente coincidir sobre el significado de Naturaleza, del latín *natura*. Esta tiene que ver con el origen, el nacimiento; aquello que tiene algo desde lo que es originado o nace. En un sentido amplio, naturaleza se refiere al modo de ser de cada uno, que corresponde a su origen. Por eso al hablar de naturaleza del lenguaje, tenemos dos modelos: el lenguaje está ya impreso cuando nacemos o bien se edifica en la medida en que dialogamos con los demás. Son respectivamente las teorías de Noam Chomsky y de Fernand de Saussure. Entonces, según lo que entendamos por naturaleza, por ejemplo, referida al lenguaje, hay diferencias.

Otra distinción importante es entre naturaleza y esencia; ésta es, lo que es fundamental a algo para que sea lo que es. Tiene que ver con el ser. La naturaleza tiene que ver con el desarrollo de algo o bien con el modo que ese algo tiene de manifestarse. Todo tiene una estructura por la cual no sólo es, sino que se manifiesta; en síntesis, todo tiene una naturaleza, tanto los entes creados, visibles, como aquellos que imaginamos o en los cuales creemos. En la Naturaleza hay un plan constructivo que tiene relación con su esencia y con el programa impreso para que el plan se manifieste. Hablaremos por eso, de la naturaleza de Dios, de la naturaleza del Hombre, de la naturaleza del lenguaje. Debe distinguirse entre naturaleza y espíritu. En la primera están todos los seres que se desenvuelven de manera inconsciente, impulsiva, instintiva; lo que entendemos como mundo biológico. Sobre el particular, en el libro de Henry Bergson sobre la evolución creadora se plantea que hay diferentes grados de desarrollo de una estructura, en base a lo previamente definido como naturaleza, hay una primera etapa metabólica, luego otra de estructura completa del ser biológico, que le dará motricidad, manifestaciones; lo dicho está en la etapa de la naturaleza biológica, sin hablar del espíritu. El Hombre tiene esta naturaleza; tiene asimismo otra parte, la de lo que llamamos espíritu; éste está ausente en la naturaleza biológica. Entendemos por espíritu, todo aquello que hace al raciocinio y por eso, el único que puede ordenar las cosas según la recta razón, es el Hombre que tiene la posibilidad de raciocinio. Consecuentemente, el espíritu se diferencia de la naturaleza biológica. Al piloto de Platón, que ubicado en un plano intermedio entre los dioses y el Hombre, debía ser traído por un demiurgo que lo insertara en la materia viviente, Bergson lo llamará el impulso vital o la fuerza creadora. En síntesis, ese algo diferente de la naturaleza biológica, es lo que la Filosofía en general, llama espíritu.

Otra diferencia importante, se plantea entre naturaleza y cultura; la naturaleza denota el estado del Hombre y todas las cosas visibles, tal como de suyo resulta de las leyes naturales y se renueva de modo no-histórico en el eterno ciclo del nacer y del perecer. Vista así, la Naturaleza no precisaría del Hombre.

Bergson en su teoría del impulso vital, dice que como la materia se resiste a ese impulso creador, toma distintas manifestaciones. El impulso es el mismo, pero según el comportamiento reactivo de la materia, puede dar lugar a la estructura de una planta, de un animal o bien del Hombre. La cultura, en cambio, necesita del Hombre; pues es fruto de la civilización y tiene que ver con una época histórica; está ligada a la historia. Consecuentemente, el concepto individual de cultura está ligado a la concepción del tiempo que cada uno tenga.

La intervención proyectante del Hombre a partir de sí mismo y de las cosas, le permite su realización en la cultura, como ser histórico, luchando por su constante y superior desenvolvimiento. Aquí se opera una diferencia substancial en la concepción de la Naturaleza, según se entienda que el estado de naturaleza es un estado salvaje del Hombre sin cultura, o bien que se considere el estado de naturaleza como una situación superior del Hombre, asumiendo las responsabilidades de pertenecer a ella y construir con ella.

Una tercera diferencia consiste en la distinción entre lo natural y lo extranatural o sobrenatural. Una de las grandes oposiciones, inherentes a la interpretación de la Naturaleza en el sentido de natural como calificativo de la natura latina, se plantea al considerar lo natural como elemento constitutivo del ser creado; sea éste puramente biológico o bien biológico con el espíritu incorporado. Sobrenatural o extranatural es aquello que se aparta de lo natural. El concepto de Naturaleza, ya no es el concepto restringido de aquello entendido como lo que nos rodea, sino de todo aquello que puede interaccionar con el Hombre en el sentido más amplio.

En general, la relación del Hombre con lo que lo rodeaba y con lo que podía observar, definía un entorno. He aquí un asunto importante: la manera de hablar y entrar en relación con la Naturaleza y preservarla; reconocer la relevancia del medio ambiente, dependen fundamentalmente de cuál es la forma de diálogo con la Naturaleza. Si éste es fecundo, si se asume como un camino de perfección entre Hombre y Naturaleza, entonces habrá preocupación por el medio ambiente; caso contrario, el Hombre no hallará motivos para ocuparse por él.

Las ciencias estudiaron siempre a la Naturaleza en función de las posibilidades de extraer beneficios de ella, pues el Hombre debía crear técnicas para construir las ciudades y progresar como artífice de la civilización. En la era de oro, genera los formalismos matemáticos de las herramientas previamente incorporadas (movimiento sobre un plano inclinado, palanca, caída de los cuerpos, péndulo, etc.). Con modestos medios de observación se construye un cuerpo sistemático, no-sistémico, de comprensión del entorno. Por procedimientos aristotélicos con hipótesis, demostración y prueba se estructura lo que entendemos por ciencia. Estas son las ciencias positivas.

El progreso descrito, notable y fundamental, reconoce sin embargo que hay una comprensión incompleta de la Naturaleza. Isaac Newton tiene una gran parte de sus obras dedicada a la Alquimia. Filosóficamente suscribe tanto el diagrama aristotélico-escolástico, como la filosofía hermética, debida a Hermes, médico filósofo quien interpreta los fenómenos de la Naturaleza como resultantes de un soplo mágico, similar al demiurgo, dios creador de Platón. Lo dicho, no va en menoscabo de Newton, se vincula a las dos grandes tradiciones de su época.

En el proceso de edificación de la ciencia, el Hombre observador está afuera de la Naturaleza, que es un objeto de ciencia. Se conciben el Positivismo y el Mecanicismo para explicar una realidad ajena al Hombre. La otra interpretación aparecerá juntamente con una serie de descubrimientos, reflejados en la gran controversia científica entre Einstein y Bohr; en el advenimiento de la Mecánica Cuántica y en las modificaciones de la Física a principios del Siglo XX, donde aparece el Indeterminismo. Este se trata con métodos estadísticos de relativa validez en la práctica. Luego se producen otros acontecimientos, de naturaleza tecnológica, resultantes del empleo de poderosos métodos de observación. El Hombre, antes no disponía de ellos, sin embargo, a pesar de sus modestos procedimientos de observación, los egipcios y los griegos edificaron la Geometría, iniciaron la comprensión del Universo que luego se perfecciona en el famoso modelo de Copérnico. Se obtienen posteriormente los grandes desarrollos de Laplace.

Hoy se asiste a un cambio en los métodos de observación. Por ejemplo, además de los grandes telescopios que permiten contemplar las galaxias lejanas, dispone hoy, quien hace Biología o Metalografía, de las microscopías electrónicas, de efecto túnel, etc., que permiten observar dentro del átomo y cómo se mueve éste. Los grandes logros tecnológicos cambian la visión de las ciencias. Se imagina a la luz de los medios actuales, el impensable desarrollo, o tal vez la rápida convergencia con que se dirimiría la controversia entre Einstein y Bohr. Se ha operado, entonces, una modificación de la relación del Hombre con la Naturaleza, pues aquel ha reconocido que ésta es más compleja que lo que creía.

Entre 1940 y 1950, Norbert Wiener escribe un libro fundamental, Cibernética. Propone por primera vez mecanismos para imitar los seres vivos y emular su comportamiento, en un intento por comprender el funcionamiento de las máquinas. En 1960, con los modelos de Mc Cullough y Forrester, surge lo que llamamos Biónica y entre 1960 y 1970, en los laboratorios de servomecanismos, se impulsa lo que denominamos Dinámica de Sistemas. En síntesis, una manera de entender la Naturaleza como un sistema. Antes, los logros científicos precedían en muchos años a los logros tecnológicos. Hoy se conjugan en un diálogo nuevo del Hombre con la Naturaleza; reconociéndose que la vasta complejidad del entorno vivo o inanimado, antes objeto de interés científico del Hombre, lo comprende a éste. Aparecen entonces las Ciencias de lo Artificial, la Neurobiología, la Psicología Cognitiva que intentan explicar cómo funciona el Hombre, que pasa ahora a ser objeto de observación, incluido entre lo que observa, con su componente espiritual, pensante. Conociendo cómo el Hombre piensa, podrán construirse máquinas inteligentes. Se entenderá entonces el mecanismo más complejo que dinamiza los procesos cibernéticos.

El Hombre, como señala Prigogine, está comenzando a reflexionar sobre los parámetros fundamentales de la Naturaleza. Según Bergson, hay cosas que el Hombre entiende con gran facilidad, como lo sólido, pues está educado para ello; es decir, lo que puede conceptualizar con facilidad. Es el concepto de espacio o extensión de la Filosofía Cartesiana, sobre el que se elucubran las bases del Mecanicismo que intenta explicar todo por leyes mecánicas que produzcan resultados finales. Esta es la esencia del Determinismo, al que se contraponen el llamado Espiritualismo, que sostiene que es por las causas finales que se opera el avance de las cosas. Estas dos grandes escuelas, la Mecanicista y la Finalista otrora tan enfrentadas, no proponen hoy explicaciones satisfactorias; pues el Mecanicismo es incompleto para explicar las complejidades del entorno observable por el Hombre, incluida su propia realidad. Tampoco el Finalismo, con sus nociones del azar y la necesidad, alcanzan para la vastedad del conocimiento humano.

Cuenta esencialmente lo que el Hombre entienda por tiempo, el parámetro agregado por Einstein a las coordenadas espaciales, configurando la cuarta dimensión. Es el Hombre que incorpora la conceptualización temporal. Tanto los espacios como el tiempo son creación del Hombre, están insertos en él. Si éste desapareciera; ¿el ratón interpretaría la Naturaleza? o ésta, ¿se interpretaría a sí misma? No caigamos en el absurdo; el Hombre debe convencerse de que está dentro de la Naturaleza y su diálogo con ella, debe establecerlo como integrante de la complejidad ambiental.

Más contemporáneamente se formulan otras teorías que tratan que el tiempo sea considerado como interpretación de los hechos físicos; como incorporado a éstos, tal el caso de lo postulado por Ilya Prigogine. La interpretación que una cultura hace del tiempo, su angustia ante la eternidad, determina su relación con todo lo que lo rodea. La tensión emocional del Hombre, ante la eternidad que se le escapa y lo supera, tal como se manifiesta en algunas culturas precolombinas, es determinante de su substanciación con la Naturaleza. En la civilización greco-romana, la Naturaleza es externa al observador, para que éste la clasifique, ordene; para que ensaye. Lo importante es el culto de la belleza, de la demostración. En este caso, el tiempo debe estar ligado a algo que el Hombre pueda observar; el movimiento, por ejemplo. Sabemos hoy que la ciencia es formalismo para interpretar lo que el Hombre descubre; más las poderosas ciencias del conocimiento introducen entes artificiales, producto de la creación humana que operan una fusión entre descubrimiento y creación científica. Volverá finalmente el Hombre a la Naturaleza, con respeto mítico, con unción religiosa porque ella configura su propia realidad.”

10. 2. 2. - PROBLEMAS AMBIENTALES, ENFOQUE CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO

Los problemas ambientales son tan antiguos como el hombre. La novedad reside en su dimensión, su escala; a ello contribuyen diversas causas interactuantes, entre las que se destacan:

- 1) el elevado crecimiento demográfico;
- 2) el desarrollo y la difusión de la tecnología industrial;
- 3) los avances de la medicina y de la sanidad y sus efectos sobre la demografía;
- 4) la mejora de las comunicaciones, facilitando el fenómeno de las migraciones;
- 5) la creciente urbanización;
- 6) la difusión de ideas, posible merced al desarrollo de los medios de comunicación social.

Los dos componentes fundamentales del ambiente son: el medio natural y el medio social. El medio natural está constituido por cuatro sistemas interrelacionados: la atmósfera, la hidrosfera, la litosfera y la biosfera, de la cual forma parte el hombre. El medio social queda definido por el conjunto de infraestructuras materiales construidas por el hombre y los sistemas sociales e institucionales que ha creado. El medio social define la forma en que los grupos humanos se han organizado y funcionan, para satisfacer sus necesidades básicas (necesidades físicas: alimentación, salud, vivienda y vestido y necesidades sociales: educación, trabajo, libertades individuales y posibilidades de participación en el sistema social existente).

Se dice que hay un impacto ambiental cuando una acción o actividad, produce una alteración en el medio o en alguno de los componentes de éste. Por lo tanto, la variable fundamental en estos estudios es la cuantificación de la alteración.

Las evaluaciones de impacto ambiental tienen como fin primordial, la previsión y pueden ser integrales o parciales, es decir, pueden aplicarse total o parcialmente a distintas alternativas de un mismo proyecto o acción; con diferentes grados de aproximación (estudios preliminares o previos y estudios detallados) y a fases particulares del proceso (iniciales; de construcción; de operación; de desmantelamiento o clausura; etc.). Pueden contemplar el impacto global o sólo impactos parciales. Una clasificación gradual podría ser la siguiente:

- 1) Evaluación del impacto físico parcial (por ejemplo, considerando sólo el vector aire, el vector agua, etc.) o sea el estudio de la incidencia de ciertas emisiones sobre la zona de influencia de tal emisión.
- 2) Evaluación completa del impacto físico, que abarca la consideración de todas las posibles degradaciones.
- 3) Evaluación del impacto geobiofísico y social (físico, biológico y geológico, considerando todo el ecosistema relacionado con la acción o proyecto), comprendidos los aspectos socioculturales.
- 4) Evaluación completa, añadiendo a lo mencionado en el punto 3) una cuantificación económica con base en los estudios costo-beneficio, o bien empleando otras técnicas econométricas de evaluación.
- 5) Finalmente, puede hacerse una evaluación de tecnología.

Se definen como factores ambientales, en conexión con un proyecto, las consecuencias ambientales de su puesta en marcha, ya sean en sus fases de construcción, de operación o de clausura en el corto; mediano y largo plazo. Deben considerarse agentes y receptores del impacto ambiental. Se llaman indicadores, las entidades o parámetros que proporcionan una medida de la magnitud e importancia del impacto, en su aspecto cualitativo y si es posible, en el cuantitativo. Las metodologías que se emplean en las evaluaciones de impacto, incluyen las técnicas de identificación; de predicción y de interpretación. Para la interpretación de los resultados, se utilizan los métodos de evaluación o modelos de síntesis, que posibilitan la cuantificación neta y global del impacto ambiental. Una metodología para la evaluación de impactos, debe satisfacer un conjunto de requerimientos, tales como:

- 1) ser comprensible;
- 2) ser flexible;
- 3) detectar los impactos generados por el proyecto;
- 4) ser objetiva;
- 5) garantizar el ingreso o incorporación de la experiencia requerida;
- 6) emplear recursos científico-tecnológicos actualizados;
- 7) utilizar criterios explícitamente definidos;
- 8) proporcionar medios para evaluar la magnitud del impacto;
- 9) ídem para la evaluación global del impacto total;
- 10) detectar las áreas ambientales de mayor sensibilidad.

Las técnicas para el análisis del impacto ambiental varían ampliamente, pero todas deben responder a cuatro aspectos básicos:

- 1) identificación de impactos;
- 2) mención o cuantificación de éstos;
- 3) interpretación de impactos;
- 4) comunicación de resultados.

En el enfoque de Luna B. Leopold *et al.*, Procedure for Evaluating Environmental Impact, el análisis se realiza empleando una matriz que incluye sobre un eje las acciones que causan impacto ambiental y sobre el otro las características ambientales existentes que pueden ser afectadas. Dado que en un proyecto en particular, solamente algunas de las 100 (cien) acciones listadas y de las 88 (ochenta y ocho) características ambientales, están involucradas, la identificación del impacto consiste en individualizar todas las acciones que son parte del proyecto propuesto y relacionarlas con las correspondientes características ambientales.

Para cada una de las posibles interacciones identificadas, los impactos son reflejados mediante un valor numérico de 1 a 10, el que indica magnitud. A los impactos se les asigna un valor positivo si son benéficos; los datos sin signo se entienden como pérdidas o perjuicios. La magnitud del valor asignado es una medida cuasi-objetiva inferida en una escala de impacto establecida por el investigador. La importancia relativa de cada posible impacto, expresada en una escala de 1 a 10, es una estimación totalmente subjetiva del investigador. Este adjunta un texto explicativo de las razones que justifican la ponderación. Los criterios ecológicos aplicados en relación con las metodologías de evaluación de impacto, incluyen:

- 1) Holismo:
 - 1.1. Reconocimiento de la interactividad entre el sistema natural y el dominado por el hombre.
 - 1.2. Requerimiento de la descripción del ambiente disturbado, como un ecosistema o series de ecosistemas.
- 2) Separación de efectos:
 - 2.1. Separación metodológica entre efectos futuros inducidos por el proyecto y cambios esperados no imputables al proyecto.
 - 2.2. Requerimiento de una declaración explícita de supuestos, hecha como prospectiva para condiciones presentes, sin intervención del proyecto.
- 3) Ocurrencia y duración:
 - 3.1. Identificación por parte de la metodología de la ocurrencia y duración de impactos esperados.
- 4) Escala de significación:
 - 4.1. Individualización de la localización y extensión geográfica de los impactos.
 - 4.2. Interpretación de los cambios en las poblaciones silvestres, en términos de viabilidad y distribución de la población local; regional y nacional remanente.
- 5) Inventario de Recursos:
 - 5.1. Evaluación de la utilización de recursos no renovables, en términos de disponibilidad remanente.
- 6) Efectos indirectos:
 - 6.1. Identificación de efectos indirectos, tales como, tensiones ambientales adicionales causadas por la estimulación del crecimiento regional. La línea divisoria entre impactos ambientales directos e indirectos, es frecuentemente difusa. Los impactos directos se interpretan como efectos de primer orden de las actividades del proyecto; los indirectos son de segundo o más alto orden y se disparan a partir de impactos directos.
- 7) Funciones del Sistema: expansión de impactos en términos de las siguientes características funcionales:
 - 7.1. Ciclos de nutrientes y/o energía.
 - 7.2. Productividad biológica bruta y neta del sistema.
 - 7.3. Diversidad espacial y biológica.
 - 7.4. Estabilidad o elasticidad del sistema.
 - 7.5. Evolución del sistema, expresada mediante tasas continuas y dirección de cambio.
- 8) Cuantificación:
 - 8.1. Expresión de impactos en unidades objetivamente mensurables.
 - 8.2. Ídem, en unidades conmensurables.
 - 8.3. Declaración explícita de las bases de evaluación y ponderación.

- 9) Incertidumbre:
 - 9.1. Requerimiento metodológico de una evaluación del grado de confianza de las proyecciones de impacto, realizadas por el análisis.
- 10) Riesgo:
 - 10.1. Identificación y declaración de impactos con baja probabilidad de ocurrencia pero con pérdidas posibles elevadas.
- 11) Monitoreo y supervisión: para evaluar el impacto ambiental de una acción propuesta:
 - 11.1. Consideración de la condición de adecuado monitoreo propuesto o existente, en relación con aspectos críticos o de alta incertidumbre, vinculados a los efectos de las acciones propuestas.

La Metodología de Leopold enfatiza el rol del análisis del impacto ambiental como una fase de un programa de acción en la planificación, que involucra ocho pasos:

- 1) declaración de objetivos;
- 2) enunciación de las posibilidades tecnológicas de acceso a los objetivos;
- 3) identificación de las acciones propuestas o alternativas;
- 4) informe de caracterización ambiental, descriptor de las condiciones ecológicas anteriores a la acción propuesta;
- 5) desarrollo de planes alternativos de ingeniería;
- 6) identificación de los impactos ligados a cada alternativa y análisis de la magnitud e importancia de aquellos;
- 7) evaluación de impacto (descripción textual y bases para las conclusiones);
- 8) recomendaciones.

El núcleo del Enfoque de Luna B. Leopold, es la matriz de ochenta y ocho por cien celdas, las que enlazan las cien acciones propuestas que pueden causar impactos ambientales (eje horizontal) con las ochenta y ocho características y condiciones ambientales existentes (eje vertical). Este criterio, incluye la mayoría de los conceptos ecológicos juzgados relevantes; asignando importancia a la interpretación y síntesis de los hechos, para garantizar la repetibilidad de la evaluación, en términos de magnitudes e importancias. El método no limita el desarrollo a cuestiones específicas y detalladas del ambiente, ya que una matriz ampliada anexa puede considerar aspectos del medio, asociables al marco general provisto. El análisis de evaluación del impacto requiere la definición de dos aspectos inherentes a cada acción; son la definición de la magnitud (grado; extensión o escala) del impacto, de 1 a 10, sobre un sector específico del ambiente y la importancia (significación) de la acción particular sobre el factor ambiental, de 1 a 10, en la instancia específica objeto de análisis.

La magnitud del impacto, puede ser más fácilmente evaluada sobre la base de los hechos; la importancia generalmente refleja los juicios de valor del ecólogo o analista ambiental. Los valores numéricos asignados a la magnitud y a la importancia del impacto, se asocian a cada acción. El diagnóstico final, debe concluir con una síntesis y recomendaciones, donde se discuten los méritos relativos de las diferentes relaciones propuestas y los planes alternativos de ingeniería con la justificación racional de la elección de acciones y el plan consiguiente para acceder a los objetivos propuestos.

Todo proyecto de construcción o desarrollo, incluye un análisis técnico-económico de las relaciones entre costos y beneficios monetarios y ambientales, como consecuencia del probable impacto de las acciones propuestas sobre el entorno. Una descripción detallada de los elementos y factores ambientales existentes, con especial énfasis en aquellos aspectos únicos o poco frecuentes, tanto favorables como desfavorables, proporciona suficiente información para producir una evaluación objetiva de las condiciones modificables, como consecuencia de las actividades planificadas. Esta descripción enumerativa del ecosistema, se consigna sobre el margen vertical de la matriz (88 características ambientales). Los posibles métodos ingenieriles alternativos, involucrados en cada proyecto, están reflejados sobre el margen horizontal de la matriz (100 acciones). Se tiene entonces un total posible de 8 800 interacciones. Los criterios de conformación y codificación empleados, permiten una expansión que contemple aspectos adicionales.

Se presentan seguidamente, las Características y Condiciones del Ambiente Existentes y las Acciones Causantes de Impacto Ambiental, respetando el listado y los criterios conforme a los cuales se estructura la matriz, objeto de tratamiento computacional.

10. 2. 2. 1. - Tabla APA - 01 - CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES DEL AMBIENTE EXISTENTES:

A. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS:

1. TIERRA:
 - a. Recursos minerales
 - b. Materiales de construcción
 - c. Suelos
 - d. Geomorfología
 - e. Campos de fuerza y radiación de fondo
 - f. Rasgos físicos únicos
2. AGUA:
 - a. Superficial
 - b. Oceánica
 - c. Subterránea
 - d. Calidad
 - e. Temperatura
 - f. Recarga
 - g. Nieve; hielo y escarcha
3. ATMÓSFERA:
 - a. Calidad (gases; material particulado)
 - b. Clima (micro; macro)
 - c. Temperatura
4. PROCESOS:
 - a. Avenida; creciente; inundación
 - b. Erosión
 - c. Deposition (sedimentación; precipitación)
 - d. Solución
 - e. Sorción (intercambio iónico; complexación)
 - f. Compactación y asentamiento
 - g. Estabilidad (deslizamiento; hundimiento)
 - h. Tensión-deformación (terremoto)
 - i. Movimientos de aire

B. CONDICIONES BIOLÓGICAS:

1. FLORA:
 - a. Árboles
 - b. Arbustos
 - c. Praderas
 - d. Cultivos
 - e. Microflora
 - f. Plantas acuáticas
 - g. Especies vegetales en peligro de extinción
 - h. Barreras
 - i. Corredores
2. FAUNA:
 - a. Aves
 - b. Animales terrestres incluyendo reptiles
 - c. Peces y crustáceos
 - d. Organismos bénticos
 - e. Insectos
 - f. Microfauna
 - g. Especies animales en peligro de extinción
 - h. Barreras
 - i. Corredores

C. FACTORES CULTURALES:

1. USO DE LA TIERRA:
 - a. Desiertos y espacios abiertos
 - b. Tierras húmedas
 - c. Forestal
 - d. Pastoreo
 - e. Agricultura
 - f. Residencial
 - g. Comercial
 - h. Industrial
 - i. Minería y explotación de canteras
2. RECREACIÓN:
 - a. Caza
 - b. Pesca
 - c. Náutica
 - d. Natación
 - e. Camping y caminatas
 - f. Paseos campestres
 - g. Instalaciones turísticas
3. ESTÉTICA E INTERÉS HUMANO:
 - a. Escenarios naturales y paisajes
 - b. Calidades de espacios desérticos
 - c. Calidades de espacios abiertos
 - d. Diseño paisajístico
 - e. Rasgos físicos únicos
 - f. Parques y reservas naturales
 - g. Monumentos
 - h. Especies o ecosistemas raros y únicos
 - i. Sitios y objetos históricos o arqueológicos
 - j. Presencia de fallas o desajustes
4. ESTADO CULTURAL:
 - a. Patrones culturales (estilo de vida)
 - b. Salud y seguridad social
 - c. Empleo
 - d. Densidad demográfica
5. ACTIVIDADES Y MEDIOS GENERADOS POR EL HOMBRE:
 - a. Estructuras
 - b. Red de transporte (movimiento; accesos)
 - c. Redes de servicios
 - d. Disposición de residuos
 - e. Barreras
 - f. Corredores

D. RELACIONES ECOLÓGICAS, TALES COMO:

- a. Salinización de recursos hídricos
- b. Eutrofización
- c. Insectos vectores de enfermedades
- d. Cadenas alimentarias
- e. Salinización de material superficial
- f. Intrusión por rasado
- g. Otros

10. 2. 2. 2. - Tabla APA - 02 – ACCIONES CAUSANTES DE IMPACTO AMBIENTAL:

A. MODIFICACIÓN DE RÉGIMEN:

- a. Introducción de flora y/o fauna exóticas
- b. Controles biológicos
- c. Modificación del hábitat
- d. Alteración de la cubierta del terreno
- e. Alteración del régimen hidrológico
- f. Alteración del drenaje
- g. Control de ríos y modificación de flujos
- h. Canalización
- i. Irrigación
- j. Modificación del clima
- k. Combustión (quema; incendios)
- l. Nivelado o pavimentado
- m. Ruido y vibración

B. TRANSFORMACIÓN DE LA TIERRA Y CONSTRUCCIÓN:

- a. Urbanización
- b. Localizaciones industriales y construcciones
- c. Aeropuertos
- d. Autopistas y puentes
- e. Rutas y caminos
- f. Ferrocarriles
- g. Montacargas y funiculares
- h. Líneas de transmisión; poliductos y corredores
- i. Barreras, incluyendo vallado
- j. Dragado y rectificación de cauces
- k. Revestimiento de cauces
- l. Canales
- m. Presas y embalses
- n. Puertos; escolleras; amarraderos y terminales
- o. Plataformas marítimas
- p. Estructuras recreacionales
- q. Voladura y perforación
- r. Corte y relleno de terrenos
- s. Túneles y estructuras subterráneas

C. EXTRACCIÓN DE RECURSOS:

- a. Voladura y perforación
- b. Excavación superficial
- c. Excavación subsuperficial y *retorting*
- d. Perforación de pozos y remoción de fluidos
- e. Dragado
- f. Rasado y otras explotaciones de bosques
- g. Pesca y caza comercial

D. PROCESAMIENTO:

- a. Agricultura
- b. Cría y engorde de ganado
- c. Engorde estabulado de ganado
- d. Explotación lechera o tambo
- e. Generación de energía
- f. Procesamiento de minerales
- g. Industria metalúrgica
- h. Industria química
- i. Industria textil
- j. Automóviles y aviones
- k. Refinería de petróleo
- l. Industria alimenticia
- m. Explotación de bosques maderables
- n. Industria de la pulpa y el papel
- o. Almacenamiento de productos

E. ALTERACIÓN DE LA TIERRA:

- a. Control de erosión y terráceo
- b. Sellado de minas y control de residuos
- c. Recuperación de explotaciones extractivas
- d. Arquitectura paisajística
- e. Dragado de puertos
- f. Rellenado de pantanos y drenaje

F. RECUPERACIÓN O RESTAURACIÓN DE RECURSOS:

- a. Reforestación
- b. Preservación y manejo de la fauna
- c. Recarga del agua subterránea
- d. Aplicación de fertilizantes
- e. Reciclado de residuos

G. CAMBIOS EN EL TRANSPORTE:

- a. Ferroviario
- b. Automotriz
- c. Transporte en camión
- d. Transporte en buque
- e. Transporte aéreo
- f. Tráfico por ríos y canales
- g. Náutica deportiva
- h. Transporte por arrastre
- i. Montacargas y funiculares
- j. Comunicaciones
- k. Tuberías

H. DISPOSICIÓN Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS:

- a. Descargas o vertidos en el océano
- b. Rellenamiento de terrenos
- c. Disposición; descomp. y compactación de residuos
- d. Almacenamiento subterráneo
- e. Depósito de chatarra
- f. Inundación de pozos de petróleo
- g. Disposición en pozos profundos
- h. Descarga de agua de enfriamiento
- i. Descarga de residuos urbanos incluyendo irrigación
- j. Efluente líquido
- k. Lagunas de estabilización y oxidación
- l. Cámaras sépticas, comerciales y domésticas
- m. Venteo de emisiones gaseosas provenientes de rellenos sanitarios
- n. Lubricantes agotados

I. TRATAMIENTO QUÍMICO:

- a. Fertilización
- b. Descongelamiento químico de autopistas; etc.
- c. Estabilización química de suelos
- d. Control de malezas
- e. Control de insectos (plaguicidas)

J. ACCIDENTES:

- a. Explosiones
- b. Pérdidas y derrames
- c. Fallas operacionales

10. 2. 3. - MARCO NORMATIVO-LEGAL

La Evaluación de Impacto Ambiental (E. I. A.), se basa en un sistema inspirado en el Procedure for Evaluating Environmental Impact de Luna B. Leopold et al. Éste emplea tal como se expresó precedentemente, una matriz o lista de control de las acciones y sus impactos sobre el ambiente; provee asimismo, una síntesis del diagnóstico¹. En la Matriz de Evaluación de Impactos, se consignan las interacciones significativas, entre aspectos específicos del proyecto de construcción; uso u operación y cierre o clausura y factores, elementos o características ambientales.

El Diseño de Ingeniería, contempla lo que prescribe el Derecho Positivo (Legislación; Jurisprudencia y Doctrina) en materia ambiental. En este capítulo, se reseñan las principales directrices y comentan aspectos pertinentes de la Constitución Nacional; de las Leyes Nacionales Nros. 19587 y su Decreto Reglamentario N° 351/79, sobre Higiene y Seguridad en el Trabajo; 24065; 15336 y Decreto Reglamentario N° 1398/92. Se consideran asimismo, Resoluciones de la Secretaría de Estado de Energía de la Nación (S. E. E.), directamente vinculadas con la elaboración de la E. I. A.; la Constitución de la Provincia de Tucumán; la Ley de la Provincia de Tucumán, N° 6253 y sus Decretos Reglamentarios N° 2201/3; 2202/3; 2203/3 y 2204/91; las Resoluciones del C.P.S. Nros. 1929/C.P.S./85, reglamentaria de la Ley de la Provincia de Tucumán N° 5652 y 294/C. P. S./89; etc.

La legislación considera que la contaminación es resultante de la introducción por acción antrópica, en el ambiente, de sustancias o energías causantes de riesgos para la salud humana o de daño a los recursos vivientes y a los sistemas ecológicos; perjuicio a las estructuras; al patrimonio cultural o interferencias con los usos legítimos del medio natural o construido. Todos los episodios de contaminación tienen características comunes; todos involucran el contaminante y su fuente de emisión; el medio de transporte (aire, agua o suelo) y la entidad afectada (organismos; ecosistemas; bienes patrimoniales; etc.). En conexión con los distintos contaminantes, deben ser evaluadas, su toxicidad en el corto, mediano y largo plazo; su persistencia; sus características de dispersión; las reacciones químicas en que la sustancia interviene, incluyendo su descomposición; su tendencia a la bioacumulación en las cadenas alimentarias y las estrategias de control.

La Constitución de la Nación Argentina, sancionada el 22 de agosto de 1994 en Santa Fe, consagra en el Capítulo Segundo (Nuevos Derechos y Garantías) de su Primera Parte, el derecho que asiste a todos los habitantes a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y la producción.

El Artículo 41°, expresa textualmente: “Todos los habitantes gozan del derecho a un ambiente sano, equilibrado, apto para el desarrollo humano y para que las actividades productivas satisfagan las necesidades presentes sin comprometer las de las generaciones futuras y tienen el deber de preservarlo. El daño ambiental generará prioritariamente la obligación de recomponer, según lo establezca la ley. Las autoridades proveerán a la protección de este derecho, a la utilización racional de los recursos naturales, a la preservación del patrimonio natural y cultural y de la diversidad biológica y a la información y educación ambientales. Corresponde a la Nación dictar las normas que contengan los presupuestos mínimos de protección y a las provincias, las necesarias para complementarlas, sin que aquéllas alteren las jurisdicciones locales.

Se prohíbe el ingreso al territorio nacional de residuos actual o potencialmente peligrosos y de los radiactivos.” Surge del Artículo 41° de la Constitución Nacional, que es la Nación la encargada de establecer las pautas básicas sobre la utilización racional de los recursos renovables y no renovables y la protección ambiental en general. Las provincias por su parte reclaman una competencia general conformada por todas las atribuciones remanentes o sean todas aquellas que no han sido expresamente reservadas a la Nación, cuya competencia tiene una jerarquía superior a la provincial, siendo en consecuencia suprema. De esta manera la delegación es por excepción y las cuestiones inter-jurisdiccionales federales que versen sobre la legislación de fondo o que hagan al crecimiento armónico de la Nación, serán legisladas por el Congreso Nacional.

¹ La evaluación de cada impacto, requiere la cuantificación de dos aspectos inherentes al efecto de cada acción; la magnitud (grado; extensión o escala) del impacto, de 1 a 10, sobre un sector específico del ambiente y la importancia (significación) de la acción particular sobre el factor ambiental, de 1 a 10. En el margen vertical izquierdo de la matriz, se consigna una descripción enumerativa del ecosistema (88 características ambientales). Los posibles métodos ingenieriles alternativos, involucrados en cada proyecto, están reflejados sobre el borde horizontal superior de la matriz (100 acciones). Se tiene entonces un total posible de 8800 interacciones, doblemente cuantificables; por magnitud e importancia.

Las jurisdicciones en materia ambiental tal como se expresa en la norma constitucional, son locales. Sin embargo cuando la naturaleza de la cuestión supere el ámbito local, sea una provincia o un municipio, concurre también la jurisdicción que le sea superior, nacional o provincial según cual fuera el caso.

La Constitución de la Provincia de Tucumán de 1990, introduce reformas a la Constitución de 1907, la que a su vez, modificaba la Carta Magna Provincial de 1884. El actual Artículo 36°, es nuevo, como consecuencia de introducir la protección de los recursos naturales; del medio ambiente; el fomento de la forestación; la reglamentación del uso de productos químicos; etc.

El Artículo 36°, declara textualmente: “Dentro de la esfera de sus atribuciones:

1. - La Provincia arbitrará los medios legales para proteger la pureza del ambiente, preservando los recursos naturales, culturales y de valores estéticos que hagan a la mejor calidad de vida.

Prohibirá la introducción de materiales o sustancias de las consideradas basuras ecológicas, sean de origen nuclear o de cualquier otro tipo.

2. - Acordará con la Nación y las otras Provincias, lo que corresponda, para evitar daños ambientales en su territorio por acciones realizadas fuera del mismo.

3. - Deberá prevenir y controlar la contaminación y la degradación de ambientes por erosión, ordenando su espacio territorial para conservar y acrecentar ambientes equilibrados.

4. - Protegerá las reservas naturales, declaradas como tales y creará nuevas con el objeto de que sirvan como bancos de semillas de la flora autóctona, material genético de la fauna y lugares de estudios de las mismas.

5. - Fomentará la forestación, especialmente con plantas autóctonas, tanto en tierras privadas como en las del Estado.

6. - Reglamentará la producción, formulación, comercialización y uso de productos químicos, biológicos y alimenticios de acuerdo a los códigos de conducta internacional.

7. - En todos los casos se procurarán soluciones prácticas, respetando las reglas sobre expropiación.”

El Artículo 113° inciso sexto dispone la competencia de los municipios para entender en lo atinente a la protección del Medio Ambiente.

La Ley de la Provincia de Tucumán Nro. 6253, del Medio Ambiente, que incorpora Normas Generales y Metodologías de Aplicación para su Conservación, Defensa y Mejoramiento; se sancionó y promulgó el 16 de septiembre de 1991, siendo publicada en el Boletín Oficial, el 15 de octubre del mismo año. Tiene como propósito, el racional funcionamiento de los ecosistemas humanos (urbano y agropecuario) y natural, a los que declara patrimonio de la sociedad en sus dimensiones espacial (territorio provincial) y temporal (presente y futuro), mediante una regulación dinámica del ambiente, armonizando las inter-relaciones de naturaleza-desarrollo-cultura. Esta Ley, propende a la utilización racional de los recursos naturales, materiales y energéticos renovables y no renovables; paisaje; patrimonio histórico y cultural; etc., regulando; controlando y prohibiendo toda actividad que pueda perjudicar o perjudique en el corto, mediano y largo plazo, los bienes que protege.

El Artículo 10, establece que queda prohibido a toda persona, individual o titular responsable de plantas; instalaciones de producción o servicio, realizar volcamientos de efluentes contaminantes, sobre las masas superficiales y subterráneas de agua; descargas; inyección o infiltración de efluentes contaminantes en los suelos. Asimismo se prohíben las emisiones o descargas de efluentes contaminantes en la atmósfera, que produzcan o pudieren producir en el corto, mediano y largo plazo, una degradación irreversible; corregible o incipiente, que afecte en forma directa o indirecta, la calidad y equilibrio de los ecosistemas humano y natural. Las normas de resguardo de la calidad del ambiente, procuran garantizar el derecho humano a la pureza de éste, que consagra el Artículo 36 de la Constitución Provincial. La búsqueda de la puesta en aptitud ambiental de todas las actividades contaminantes, se articula con la Evaluación de Impacto Ambiental (E. I. A.) y la aplicación de metodologías de análisis de costo-beneficio, con consideración de los costos sociales y ambientales, en el ámbito de las variables espacio-temporales. La autorización para toda obra o actividad productora de impacto ambiental, presente o futuro, estará sujeta a que éste sea susceptible de corrección y que realizado el juicio de valor cuali-cuantitativo, con la referida metodología de análisis costo-beneficio, costo ambiental-social, más las variables espacio-temporales, referidas a la región y al corto, mediano y largo plazo, justifique la actividad u obra, económica, ambiental, técnica y socialmente. La autorización sólo procederá de aprobarse la Evaluación de Impacto Ambiental en los cuatro aspectos señalados precedentemente.

Se establece asimismo que, todo vuelco autorizado de efluentes, deberá estar encuadrado en los criterios técnicamente establecidos. La autoridad de aplicación, estará facultada a inspeccionar en forma periódica toda actividad u obra que cuente con certificado de aptitud ambiental, a efectos de hacer seguimientos puntuales de la continuidad de las características de calidad aceptadas y de las derivaciones que pudieren producirse en el futuro. Compete a la Autoridad de Aplicación, la que llevará un registro de actividades contaminantes, disponer las sanciones por infracciones, conforme contempla el Régimen Contravencional y la emisión de los certificados de aptitud ambiental contando para ello con la autorización del Consejo Provincial de Economía y Ambiente, cuya coordinación asume en virtud del Artículo 4°. El Consejo Provincial de Economía y Ambiente tiene la responsabilidad de estudiar y autorizar las evaluaciones de impacto ambiental, considerado en los Artículos 17°, 18°, 19°, 20° y 21° del Título III, Capítulo II. Las Disposiciones Especiales de la Ley, incluyen capítulos sobre aguas; suelos; atmósfera; flora; fauna y energía.

El Decreto Nro. 2201/3 del 25 de octubre de 1991, reglamentario de la Ley 6253, expresa que la Evaluación de Impacto Ambiental (E. I. A.), es parte integrante de la actividad de desarrollo productivo, con capacidad de coadyuvar al proceso de crecimiento sustentable.

La E. I. A., comprende la identificación con profundidad de los efectos de una actividad humana, por la cual se produce o puede producirse una variación sobre el medio ambiente. La E. I. A., debe comprender una descripción del Proyecto; de los componentes relevantes del medio ambiente, donde actúan o actuarán sus efectos; debe incluir una predicción de los cambios ambientales que produce o producirá en el corto, mediano y largo plazo, tanto positivos como negativos, naturales o inducidos. En la E. I. A. deben identificarse también, los intereses de la comunidad donde se desarrolla o desarrollará la actividad, formulándose ponderaciones y prioridades de grupos sociales que representen intereses concretos. Han de listarse los impactos múltiples, consignándose la metodología empleada y los criterios de análisis de costo-beneficio, con inclusión de los costos socio-ambientales. El Decreto recomienda la inclusión de procedimientos de seguimiento y control y la descripción de la integración del Proyecto en el proceso socio-económico de la Provincia de Tucumán. Asimismo, la investigación de todos los aspectos, físicos; biológicos; económicos y sociales desde el estado de referencia inicial y la comparación con un estado futuro "sin acción". Debe realizarse una proyección a futuro, del estado del medio ambiente, a corto, mediano y largo plazo, tomando en cuenta los niveles de incertidumbre y el escenario correspondiente a un futuro "con acción". Ha de incluirse toda información que a criterio técnico, resulte relevante para la valoración más ajustada del impacto que produce o puede producir una acción o proyecto.

Cabe observar que en la legislación objeto de análisis, la Evaluación de Impacto Ambiental, abarca los procedimientos inherentes a la cuali-cuantificación de efectos derivados, de acciones o actividades en ejecución o proyectadas. Otras fuentes de Derecho Positivo, denominan Auditoría Ambiental, a la determinación de impactos emergentes de actividades en marcha y E. I. A., a la de intervenciones proyectadas. Entiéndese por Proyecto, a los fines del Decreto Nro. 2201/3, la propuesta documentada de obras o acciones en desarrollo o a desarrollar en un determinado tiempo y lugar. Las etapas consideradas, son: idea; prefactibilidad; factibilidad y diseño; concreción, construcción y concretización; operación de las obras e instalaciones y clausura o desmantelamiento.

La Ciencia de la Economía del Ambiente sostiene que los bienes; servicios y recursos ambientales en todas sus funciones, tienen una presencia en el mercado, un valor estimativo que permite cuantificar las consecuencias económicas y sociales de un proyecto o acción humana sobre el ambiente. Los costos del daño ambiental, son por su naturaleza, directos; indirectos y sociales, ligados a la salud y calidad de vida. Los costos de las medidas de protección, contemplan la regulación y control; los costos financieros; los de la información; de la restauración; de la creación de nuevas capacidades ambientales y de la preservación. El análisis de beneficios, efectuado en forma directa, informa sobre la disminución progresiva de los costos generales de producción; el de los beneficios indirectos contempla el mejoramiento de la calidad de vida.

El Decreto Nro. 2202/3 del 25 de octubre de 1991, reglamenta la constitución y modos de acción de la "Autoridad de Aplicación", conforme a lo previsto en la Ley Número 6253, que crea la Dirección de Economía y Política Ambiental. Esta Dirección asume la responsabilidad de elaborar políticas globales de protección, conservación y mejoramiento del medio ambiente, en un todo de acuerdo con la obligación que compete al Estado, dispuesta en el Artículo 56 de la Constitución de la Provincia, de asumir la gestión ambiental con la responsabilidad que la tarea exige.

El Decreto Nro. 2203/3 del 25 de octubre de 1991, establece los criterios de constitución y las condiciones de funcionamiento del Consejo Provincial de Economía y Ambiente, órgano de consulta y asesoramiento de los Poderes Legislativo y Ejecutivo, en los temas de Economía y Ambiente.

En los considerandos del Decreto N° 2204/3, reglamentario de la Ley N° 6253, se expresa que la evaluación de impacto ambiental (E. I. A.) contribuye a la sostenibilidad global, al articular el ambiente y sus potencialidades, con el proceso de crecimiento sustentable, donde es necesario considerar el efecto en el largo plazo, de las actividades inherentes a los distintos modos de desarrollo. Éstas deben respetar la normativa integradora sobre preservación y control; restauración y mejoramiento ambiental. La E. I. A. comprende la identificación detallada de los efectos de una actividad humana, por la que se produce o puede producirse una variación de la calidad ambiental. Debe incluir:

- Descripción del proyecto;
- Descripción de los componentes relevantes del ambiente donde se manifiestan o se manifestarán los efectos
- Predicción de los cambios ambientales (positivos; negativos; naturales; inducidos; etc.), que el proyecto provoca o provocará en el corto; mediano y largo plazo;
- Identificación de los intereses de la comunidad donde se desarrolla o desarrollará la actividad, ponderando las prioridades de los grupos sociales con intereses directos concretos sobre la cultura; el paisaje; etc.;
- Listado de impactos múltiples;
- Método empleado para identificar la significación del proyecto y sus consecuencias en el corto; mediano y largo plazo, incluyendo un análisis costo-beneficio ambiental y social;
- Recomendación de procedimientos de seguimiento y control;
- Descripción de la integración del proyecto con los procesos socioeconómicos provinciales;
- Comparación de aspectos ambientales físicos; biológicos; económicos y sociales en el presente y en el futuro, en el corto; mediano y largo plazo, con y sin acción;
- Plan de acondicionamiento correspondiente a la etapa de postoperación; clausura o desmantelamiento;
- Estudios e investigaciones complementarias (fundamentos científico-técnicos) pertinentes; fuentes de información; etc.

En el Artículo 5° se identifican costos del daño ambiental y de las medidas de protección, referidos a las unidades productoras de emisiones o utilizadoras de recursos ambientales. Los beneficios directos e indirectos, se mencionan en el Artículo 6°.

Los proponentes de obras o actividades deben presentar ante la Autoridad de Aplicación, un Aviso de Proyecto conteniendo:

- Datos del proponente;
- Nombre de la persona física o jurídica;
- Domicilios legal y real; teléfonos;
- Datos y domicilios legal y real del responsable profesional;
- Denominación y descripción general del proyecto;
- Objetivos y beneficios socioeconómicos;
- Localización indicando la jurisdicción administrativa correspondiente;
- Población afectada;
- Superficie del terreno;
- Superficie cubierta existente y proyectada;
- Inversión total a realizar;
- Etapas y cronogramas inherentes al proyecto;
- Consumo de energía por unidad de tiempo en las diferentes etapas;
- Consumo de combustibles por tipo y por unidad de tiempo en las diferentes etapas;
- Usos y consumos del agua, consignando fuente; calidad y cantidad;
- Detalle de otros insumos;
- Tecnología adoptada;
- Necesidades de infraestructura y equipamiento generadas directa o indirectamente por el proyecto;
- Ensayos; determinaciones; estudios de campo y laboratorio realizados;
- Identificación de residuos y contaminantes, con indicación de los volúmenes de emisión por unidad de tiempo;
- Principales organismos; entidades o empresas involucradas;
- Normas y/o criterios nacionales e internacionales consultados a los fines del proyecto.

El Sistema Provincial de Salud (SIPROSA) de la Provincia de Tucumán, ha provisto a la Dirección General de Saneamiento Ambiental, de la Resolución Número 1929 (Expediente Número 186/411-D-1985; Acta Número 72, Sesión Ordinaria del 15 de agosto de 1985), que es un instrumento legal destinado a evitar la contaminación de los cursos de agua. El Consejo Provincial de Salud que otorga los permisos de vuelco de efluentes líquidos a los cuerpos receptores, prohíbe en todo el territorio de la Provincia de Tucumán, la descarga de líquidos residuales que puedan causar degradación o alteración del medio ambiente y afectar a la comunidad. La Dirección General de Saneamiento Ambiental tiene a su cargo la fiscalización sanitaria de las descargas; para ello, toma muestras, realiza los análisis pertinentes; requiere informes y efectúa los trámites correspondientes. Cuando los líquidos son volcados en conductos; canales o acequias cuyo control y mantenimiento dependa de otras entidades, o bien de particulares, deberá gestionarse ante ellos la autorización correspondiente. Los líquidos residuales, deben ajustarse a los siguientes parámetros físico-químicos generales (**Tabla AMNL - 01**):

Tabla AMNL - 01 - PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS GENERALES A LOS QUE DEBEN AJUSTARSE LOS LÍQUIDOS RESIDUALES

Temperatura	< 45 °C
pH	5,5 < pH < 8,5
Oxígeno Disuelto (OD)	> 2 mg l ⁻¹
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	< 50 mg l ⁻¹
Sólidos Sedimentables en 2 horas	≤ 1 ml l ⁻¹
Substancias solubles en éter etílico	≤ 100 mg l ⁻¹
Fenoles	≤ 0,02 mg l ⁻¹
Aceites y Grasas	≤ 100 mg l ⁻¹
Sulfuros	≤ 1 mg l ⁻¹
Residuos Flotantes	ninguno

Cuando las aguas del cuerpo receptor sean destinadas al riego de hortalizas, se deberán cumplir además de las especificaciones precedentes, las siguientes (**Tabla AMNL - 02**):

Tabla AMNL - 02 - OTROS REQUERIMIENTOS, SI LAS AGUAS DEL CUERPO RECEPTOR SE DESTINAN AL RIEGO DE HORTALIZAS

Relación de Adsorción de Sodio	≤ 6
Número más Probable de Bacterias Coliformes (NMP)	< 500 / 100 ml
Densidad de Coliformes Totales	< 50 ml ⁻¹
Conductividad Eléctrica Admisible	≤ 300 µmhos cm ⁻¹

Cuando las aguas del cuerpo receptor sean destinadas al riego de cultivos, con excepción de hortalizas, se deberán cumplir además de las especificaciones consignadas en primer término, las siguientes (**Tabla AMNL - 03**):

Tabla AMNL - 03 - OTROS REQUERIMIENTOS, SI CON LAS AGUAS DEL CUERPO RECEPTOR SE RIEGAN CULTIVOS NO-HORTÍCOLAS

Número más Probable de Coliformes Totales (NMP)	< 5000 / 100 ml
Densidad de Coliformes Totales	≤ 1000 / 100 ml
Conductividad Eléctrica	1000 µmhos cm ⁻¹

La Resolución Número 1929 (Expediente Número 186/411-D-1985; Acta Número 72, Sesión Ordinaria del 15 de agosto de 1985), contempla asimismo, otras situaciones de descarga asociadas a destinos posteriores de las aguas, tales como: balnearios; deportes acuáticos y en general situaciones de contacto humano directo; consumo industrial; abastecimiento doméstico urbano y potable industrial, con sistema de potabilización.

Un antecedente institucional destacable, lo constituye el hecho de que el Congreso de los Estados Unidos, reconociendo el profundo impacto de las actividades del hombre sobre las interrelaciones de todos los componentes del ambiente natural, ... la importancia crítica de restaurar y mantener la calidad ambiental para el bienestar y crecimiento del hombre, declaró como política continuada del Gobierno Federal, ... el empleo de los medios practicables ... para crear y mantener condiciones bajo las cuales el hombre y la naturaleza puedan existir en armonía productiva. El 1º de enero de 1970, EE.UU. sancionó como ley el Acta de Política Ambiental Nacional (National Environmental Policy Act - NEPA -). Independientemente de los propósitos consignados en el Acta, la relación del hombre con la naturaleza es singularmente ambivalente; de exaltación y explotación, de intimidad e ignorancia. El Documento contempla los lazos cibernéticos en relación con las acciones del hombre sobre la naturaleza y la respuesta de ésta. Considera el crecimiento poblacional, la urbanización de alta densidad, la expansión industrial, la explotación de recursos y los avances tecnológicos. La NEPA enfatiza la concepción filosófica del hombre, como ser en profunda relación con la naturaleza. La NEPA motivó tres cambios significativos en el proceso mediante el cual son planificados los mayores proyectos federales de los EE.UU.. El primero concierne a la declaración detallada de los impactos ambientales del proyecto objeto de consideración, integrando la documentación general de los procedimientos administrativos. El segundo cambio hace a la participación en la discusión, de otras agencias gubernamentales y el tercero se refiere a la circunstancia de ponerse a disposición del público, las declaraciones de impacto y los comentarios oficiales sobre las mismas.

Respecto a la protección contra incendio de las instalaciones, las medidas de seguridad estarán ajustadas a las exigencias requeridas en la reglamentación de la Ley 13660 que es el Decreto 10877/60. Las normas enunciadas rigen en materia de medidas de seguridad para el almacenamiento de combustible. Dichas normas están destinadas fundamentalmente a lograr la prevención del fuego y su propagación inmediata en las instalaciones de elaboración; transformación y almacenamiento de combustibles sólidos minerales; líquidos y gaseosos.

El Artículo 264°, bajo el concepto de Rol de Incendios agrupa el conjunto de disposiciones relacionadas con los puntos siguientes:

- a) Planeamiento de las maniobras a desarrollar en caso de incendios en cualquier lugar de las distintas instalaciones;
- b) Organización de las brigadas contra incendios y distribución del personal afectado a las mismas;
- c) Detalle del material móvil de ataque a fuegos;
- d) Detalle de las herramientas necesarias;
- e) Sistema de alarma;
- f) Simulacros de incendio;
- g) Revisión y mantenimiento de las Instalaciones de Defensa, Activas y Pasivas;
- h) En general, todas las medidas y medios necesarios para que, en caso de incendio, el ataque al fuego se haga en forma segura; rápida y eficiente.

La autoridad de aplicación que verifica el cumplimiento de la Ley 13660 y de su Decreto Reglamentario 10877/60 es según lo que indica la Resolución 432/82, la Secretaría de Energía.

Con referencia al vecindario, se deberá tratar de controlar todos aquellos aspectos relacionados con una convivencia y tolerancia básica entre vecinos. Atendiendo a las molestias que ocasionarían a la comunidad vecina los ruidos que se generen en instalaciones industriales; actividades rurales; etc., cabe señalar que los mismos no deben exceder la normal tolerancia, teniendo en cuenta las condiciones del lugar, según lo prescripto en el Artículo 2618 del Código Civil. Para cumplir con dicho cometido se observarán los niveles máximos aceptables indicados en la norma IRAM 4062. Ésta es la norma usada para definir el nivel básico de tolerancia en numerosas provincias y municipios de la República Argentina; en consecuencia, puede ser utilizada a modo de referencia para las relaciones con los vecinos.

Conforme a lo establecido en el mencionado Artículo 2618° del Código Civil de la Nación Argentina, (Legislación de fondo aplicable en todo el Territorio Nacional) también el humo; el calor; los olores análogamente a los ruidos y vibraciones o daños similares, producidos por el ejercicio de las actividades de las instalaciones no deben exceder la normal tolerancia teniendo en cuenta las condiciones del lugar. Además, el Artículo 2618° del Código Civil, considera que ante la ausencia de respeto al límite de la normal tolerancia entre vecinos, el Juez del lugar mediante los procedimientos administrativos de forma, puede disponer la compensación de los daños en el marco de un acuerdo entre las exigencias de la producción y el respeto debido al uso regular de la propiedad.

En cuanto a los ruidos; vibraciones; gases; vapores; etc., se deberán observar las disposiciones que rigen la materia, contenidas en la Ley Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo N° 19987 y en su Decreto Reglamentario N° 351/79.

La Ley Nacional de Residuos Peligrosos, Número 24.051, se aplica en los siguientes supuestos:

- Generación; manipulación; transporte; tratamiento y disposición final de residuos peligrosos, cuando se trate de residuos generados o ubicados en lugares sometidos a jurisdicción nacional o ubicados en territorio de una provincia y destinados al transporte fuera de ella. Dicho transporte, conforme el Decreto N° 831/93, puede consistir en un curso de agua de carácter interprovincial, por vías navegables nacionales o por cualquier otro medio, aún accidental, como podría ser la acción del viento u otro fenómeno de la naturaleza.
- Cuando a criterio de la autoridad de aplicación, dichos residuos pudieran afectar a las personas o el ambiente más allá de la frontera de la provincia en que se hubiesen generado.
- Cuando las medidas higiénicas o de seguridad que fuera conveniente disponer, tuvieran una repercusión económica tal que tornase aconsejable uniformarlas en todo el Territorio de la Nación.

La Ley 24051 de Residuos Peligrosos fue adoptada por la Provincia de Tucumán, mediante la Ley 6.605/94, aún sin reglamentación y por ende, sin designación del organismo competente, ni definición de una normativa específica. Por lo tanto se infiere en este sentido, que los aspectos de aplicación de la Ley 24051 son de validez interjurisdiccional. El Decreto 177/92 señala que el máximo organismo con competencia en el área ambiental es la Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable; siendo entonces, el ente nacional de más alto nivel ambiental por disposición por el Poder Ejecutivo Nacional.

La Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable en función de las atribuciones que le competen ha dictado las siguientes normas que complementan las leyes de análisis, indicadas a continuación:

- Resolución N° 253/94. Establece el período de facturación y el monto de la tasa que deben abonar los generadores y operadores de Residuos Peligrosos.
- Resolución N° 250/94. Establece la clasificación de las distintas categorías cuánticas de generadores de residuos peligrosos líquidos; gaseosos y mixtos.
- Resolución N° 224/94. Establece los parámetros y normas técnicas tendientes a definir los residuos peligrosos de alta y baja peligrosidad.
- Resolución N° 123/95. Considera operador el que cumple con las operaciones de almacenamiento previo.

Con el propósito de ejercer un debido control sobre las sustancias peligrosas, la Ley de Residuos Peligrosos creó el Registro de Generadores y Operadores de Residuos Peligrosos habilitado mediante Resolución N° 413/93 por la autoridad de aplicación, en el cual deben necesariamente inscribirse todas las personas responsables de la generación; transporte; tratamiento y disposición final de residuos peligrosos sujetos a jurisdicción nacional.

La Ley de Residuos Peligrosos y su Decreto Reglamentario disponen también que el transporte y generación de residuos peligrosos deben asentarse, con intervención de la Secretaría, en un documento llamado Manifiesto, cuyo contenido es taxativamente regulado. En el Manifiesto se debe asentar la naturaleza y cantidad de los residuos generados; su origen; transferencia del generador al transportista y de éste a la planta de tratamiento o disposición final; los procesos de tratamiento y eliminación a los que fueron sometidos y cualquier otra operación que, con respecto a los mismos, se efectúe. El Decreto N° 831/93 consagra asimismo, la obligación de toda persona física o jurídica que genere residuos, de verificar si los mismos están calificados como peligrosos en los términos de la Ley de Residuos Peligrosos, en forma eventual (no programada) o accidental, debiendo también cumplir con las disposiciones de esta Ley. Son obligaciones de los Generadores, entre otras:

- Adoptar las medidas tendientes a disminuir la cantidad de residuos peligrosos que generen;
- Separar adecuadamente y no mezclar residuos peligrosos incompatibles entre sí;
- Envasar y entregar los residuos peligrosos que no traten en sus propias plantas a los transportistas autorizados, con indicación precisa del destino final en el Manifiesto;
- Juntamente con la inscripción en el Registro, deben presentar un plan de disminución progresiva de generación de sus residuos, en tanto dicho plan sea factible y técnicamente razonable para un manejo ambientalmente racional de los mismos;
- Llevar un libro de registro rubricado y foliado, donde conste cronológicamente la totalidad de las operaciones realizadas.

La normativa autoriza a un Generador de residuos peligrosos al almacenaje adecuado de éstos, en espera de un tratamiento “in situ” por un Operador autorizado para la reducción de los mismos con contralor final del residuo tratado obtenido para su disposición definitiva. Asimismo, estos deben calificarse ambientalmente inocuos a través de certificaciones y controles reglamentarios. Las penalidades administrativas por infracciones a la Ley y su reglamentación van desde multa hasta suspensión y cancelación de la inscripción en el Registro. La Ley de Residuos Peligrosos establece penalidades según el Artículo 200° del Código Penal, para aquel que utilizando los residuos peligrosos, envenene; adultere o contamine de un modo peligroso, pudiendo dañar la salud; el agua; el aire y el suelo. Si éstos actos los hubiere producido una persona jurídica, la pena se aplicará a los Directores; Gerentes; Administradores o Representantes Legales de la Empresa que hubiere intervenido en el hecho punible, sin perjuicio de otras responsabilidades penales que hubieren existido.

En materia de Seguridad e Higiene y Medicina del Trabajo, la Ley 19587/72 establece las condiciones de higiene y seguridad en el trabajo, las que tienen ámbito de aplicación en todo el Territorio Nacional. Esta legislación es aplicable a todo tipo de establecimiento cualquiera sea su actividad económica y tenga o no fines de lucro. Los principales fundamentos que comprenden la higiene y seguridad del trabajo se refieren primordialmente a toda norma destinada a la protección integral del trabajador, considerando en particular a la contaminación ambiental y a los efluentes industriales.

La reglamentación de la Ley 19587 de Higiene y Seguridad en el Trabajo esta contenida en el Decreto 351/79 que fija límites para las concentraciones ambientales de gases; límites para carga térmica; para nivel sonoro continuo equivalente; etc., como así también aspectos relacionados con la prevención de accidentes provocados por diversos tipos de riesgos tales como, riesgo eléctrico; riesgos mecánicos; riesgos de incendios; etc.. Los responsables del servicio de seguridad e higiene de la Planta deben tener actualizada la documentación técnica exigida por el Decreto 351/79, tales como las medidas preventivas adecuadas a cada tipo de actividad, referidas especialmente a condiciones ambientales; equipos; instalaciones; maquinarias; herramientas y elementos de trabajo. También, las referidas a la prevención y protección contra incendios y a toda disposición que regule lo atinente a ruidos; vibraciones; gases y vapores; capacitación del personal; señalización; etc.

En el Artículo 57°, Capítulo 6 del Decreto Reglamentario 351/79 se señala que las instalaciones deberán contar con provisión y reserva de agua para uso humano, la que deberá ser sometida a análisis realizados por dependencias oficiales, en los aspectos bacteriológicos (cada 6 meses) y fisicoquímico en forma anual. En el Anexo I de la Resolución (MTySS) N° 523/96, modificatoria del Artículo 58°, Capítulo 6 del Decreto N° 351/79, se establecen las especificaciones para agua de bebida. Se deberá tener en cuenta la Resolución del MTySS N° 444/92 modificatoria del Anexo III correspondiente al Artículo 61° del Decreto 351/79, referente a valores actualizados de concentración máxima permisible para contaminantes químicos.

En cuanto a la Medicina del Trabajo el empleador, deberá disponer de este Servicio. Compete a la Superintendencia de Riesgo del Trabajo por el Artículo 9° del Decreto N° 1338/96 determinar “los exámenes médicos que deberán realizar las aseguradoras o los empleadores, en su caso, estipulando además en función del riesgo al que se encuentre expuesto el trabajador al desarrollar su actividad las características específicas y frecuencia de dichos exámenes”. En materia de accidentes de trabajo y enfermedades profesionales, se aplica la Ley 24.028 y su reglamentación aprobada por Decreto N° 1792/92. Surge del Artículo 1° que los empleadores quedan sujetos a las responsabilidades y obligaciones establecidas en la misma.

La Ley 24557 y el Decreto Reglamentario 1770/95 es el marco regulatorio que establece el nuevo sistema integral de prevención de riesgos del trabajo y el régimen legal de las aseguradoras de riesgos del trabajo (ART). La Ley 24557 introduce modificaciones a la Ley 24058. La Ley 24557 tiene por objeto la prevención de los riesgos y la reparación de los daños derivados del trabajo, como así también reducir la siniestralidad laboral a través de la prevención de los riesgos. En el Artículo 35° establece la creación de la Superintendencia de Riesgo del Trabajo (SRT), que es una entidad autárquica en jurisdicción del Ministerio del Trabajo y Seguridad Social de la Nación. Compete a dicho organismo entre otros de su cometido, determinar cuáles son los exámenes médicos que deberán efectuar los empleadores o las aseguradoras, de acuerdo a lo establecido por el Decreto N° 170/95. Tiene también competencia en materia de Higiene y Seguridad según rama de actividad de las empresas y nivel de siniestralidad en que se encuentra. A tal efecto surge la Resolución N° 552/01.

Las normas aplicables en el ámbito provincial, además de la Ley 6253 y sus Decretos Reglamentarios 2201-2202-2203-2204/91, tratados oportunamente en este capítulo, incluyen la Ley N° 7165 de Registro de Generadores de Residuos cuyo decreto reglamentario se encuentra en elaboración y cuyo organismo de aplicación es la Dirección de Economía y Política Ambiental

La Ley Provincial 5652, de Salud y Medio Ambiente, establece la competencia del Sistema Provincial de Salud (SIPROSA) en materia ambiental; le atribuye capacidad para dictar normas sobre salud y ambiente. En su Artículo 1° establece lo siguiente: “la organización; objetos; fines; gobierno de la salud y medio ambiente de la provincia se regirán por la presente Ley, las que en su consecuencia se dicten y las reglamentaciones que disponga el Poder Ejecutivo” En el Artículo 9-11 señala “controlar desde el punto de vista sanitario los servicios de abastecimiento de agua potable; destrucción y evacuación de residuos; basuras; agua pluviales; servidas e industriales y en general la disposición sobre todo servicio que incidan en la salud de la población” y en el inciso 9-13 expresa: “intervenir en la elaboración y entender en la fiscalización de las normas relacionadas con la contaminación ambiental”.

Como consecuencia de esta Ley surgen las siguientes Resoluciones del Consejo Provincial de Salud: Resolución 1929/CPS/85: “Efluentes Líquidos”; Resolución 294/CPS/89: “Calidad del Aire”; Resolución 251/CPS/91: “Efluentes Líquidos, Ampliación”; Resolución 219/CPS/97: “Otros Parámetros relacionados con Efluentes Líquidos”; Resolución 1152/CPS/00: “Inscripción y Permisos de Vuelco de Efluentes”.

Otras Leyes Provinciales de reciente promulgación, contemplan aspectos ambientales relacionados con los recursos hídricos; el riego y los desagües: Ley 7139 – “Ley de Riego” - Aguas subterráneas; Ley 7165 “Registro de Generadores de Residuos” (mencionada más arriba).

10. 2. 4. - EL NACIMIENTO DEL TIEMPO Y EL FIN DE LAS CERTIDUMBRES. TIEMPO, CAOS Y LAS LEYES DE LA NATURALEZA

Según Ilya Prigogine, la cuestión sobre si el tiempo tiene un inicio no tenía sentido para la Ciencia Clásica; el tiempo no tiene historia y prosigue hacia el infinito su trayectoria. En el Siglo XIX, gracias a la Biología Darwiniana, la idea de la evolución entra con fuerza en la Ciencia. ¿Cuáles son las exigencias que la Física ha de satisfacer frente a un Universo evolutivo? Pueden enumerarse tres exigencias: la irreversibilidad, la aparición de la probabilidad y la coherencia, que constituyen las condiciones para la existencia de las nuevas estructuras que ha descubierto la Física, para los procesos aislados del equilibrio. Según el Segundo Principio de la Termodinámica, para un sistema existe una función, la entropía, formada por un flujo entrópico que proviene del exterior y por otro, producido por el sistema. La entropía interna, siempre positiva o nula, corresponde a los fenómenos irreversibles; a las reacciones químicas y a los fenómenos biológicos (Prigogine, I., 1991; Prigogine, I., 1996).

En general, la irreversibilidad se asocia al desorden, a la disipación, sin embargo, las estructuras se conquistan en contra del Segundo Principio. Pero la producción de entropía contiene siempre dos elementos dialécticos; uno creador de desorden y otro de orden y ambos están ligados. Por ejemplo, dos recipientes conectados contienen una mezcla homogénea de hidrógeno y nitrógeno; si los extremos se calientan a temperaturas diferentes, el hidrógeno se ubica en un recipiente y el nitrógeno en otro (fenómeno de antidifusión; hay disipación, aumento de entropía, pero también un fenómeno de ordenación u ordenamiento). Orden y desorden aparecen a la vez. Este fenómeno requiere un cambio de paradigma, porque clásicamente se asociaba el orden al equilibrio (caso de los cristales) y el desorden al no-equilibrio (caso de la turbulencia). Hoy se sabe que la turbulencia es un fenómeno altamente estructurado. Las experiencias de laboratorio muestran que cuando se afronta el dominio del no-equilibrio, se establecen nuevas interacciones de largo alcance; el Universo del no-equilibrio es un Universo coherente.

¿Por qué este interés por el no-equilibrio?; ¿por qué tal interés por estas nuevas estructuras? Porque hoy se sabe que muchos de los fenómenos observados en laboratorio y que tienen un papel fundamental en el mundo que nos rodea, no son comprensibles si no es teniendo en cuenta el no-equilibrio. Un ejemplo es la historia del clima, con sus grandes variaciones. Por eso se puede hablar de una historia del clima. La biosfera es un sistema alejado del equilibrio. Un sistema en equilibrio no puede tener historia, porque no tiene fluctuaciones, sólo persiste en su estado. Irreversibilidad y probabilidad son dos nociones estrechamente ligadas, como se sabe después de Boltzmann; también en la Mecánica Cuántica, la noción de probabilidad es esencial. Actualmente, la realidad experimental, impone esta noción, a escala macroscópica. Un ejemplo trivial, lo constituye el lanzamiento repetido de una moneda honrada, el que resulta en igual número de caras y sellos. El resultado es probabilístico y no determinístico, a pesar de ser la moneda un cuerpo pesante y no un átomo. ¿Cómo conciliar probabilidad y determinismo en este ejemplo? Si se imponen condiciones iniciales suficientemente exactas para predecir el resultado entonces éste es determinístico. El recurso de la probabilidad tiene su origen en la ignorancia relativa de las condiciones iniciales. Sin embargo, la ignorancia de las condiciones iniciales no es la única fuente de sorpresa. Existen sistemas dinámicos tales que ningún conocimiento finito de las condiciones iniciales, permite prever el resultado del juego. Para esta clase de sistemas dinámicos, basta que se cambien infinitesimalmente las condiciones iniciales para que se produzca otro suceso.

En la predicción del comportamiento de los sistemas inestables, no es la insuficiencia de conocimientos lo que está en juego, sino la naturaleza dinámica del sistema. Es la inestabilidad dinámica la que está en el origen de las nociones de probabilidad y de irreversibilidad. Para predecir sobre tiempos cada vez más largos (linealmente) la evolución de los sistemas dinámicos, debe disponerse con precisión cada vez más fina (en sentido exponencial) del conocimiento de las condiciones iniciales. Cualquier conocimiento finito del sistema implica la pérdida del concepto de predicción determinista.

Hasta no hace mucho tiempo, los físicos pensaban que no formulaban conjeturas; que debían poder conocer el Universo de una manera absoluta, mas del examen de sistemas dinámicos sencillos, se infiere que el determinismo es derrotado inmediatamente. En la Física Clásica se podía medir todo y conocerlo todo. Con la Física del Siglo XX se restringe esta visión simplificada del Universo. En la concepción clásica el determinismo era fundamental y la probabilidad, una aproximación a la descripción determinista, debida a nuestra información imperfecta. Hoy la situación se ha revertido; las estructuras de la Naturaleza, imponen al observador la introducción de la probabilidad independientemente de la información que posea. La descripción determinista no se aplica de hecho más que a situaciones sencillas, idealizadas, que no son representativas de la realidad física circundante.

La irreversibilidad es una característica generalizada en el Universo, no solamente restringida a alguna de sus partes. Tal vez sea concebible la creación de un Universo a partir del vacío, sin gasto de energía. El precio del Universo es un precio entrópico, una enorme producción de entropía en los orígenes del Universo, contrariamente a la idea clásica según la cual, el Universo habría comenzado con una entropía despreciable, la que iría en aumento hasta la muerte térmica, estado en el que la entropía sería máxima. Sin embargo, la muerte térmica está detrás de nosotros; la muerte térmica está en los inicios del Universo. Se ve que la inestabilidad, las fluctuaciones y la irreversibilidad desempeñan un papel en todos los niveles de la Naturaleza; químico, ecológico, climatológico, biológico con la formación de biomoléculas y finalmente cosmológico. Los aspectos del orden y del desorden son múltiples; algunos son estrechamente científicos, otros se refieren a problemas epistemológicos y filosóficos.

Cabe la pregunta, ¿el mundo es termodinámico o mecánico? Algunas decenas de años atrás, la respuesta habría sido que el mundo es esencialmente mecánico y que la Termodinámica asumiría un papel secundario. Hoy la respuesta es incierta, con resultados como la existencia de partículas inestables y los inherentes a la Física del no-equilibrio. Lo que caracteriza al pensamiento mecánico, dinámico, es el intento de aislar un sistema; de considerarlo independiente del Universo. Los sistemas dinámicos no son estables. La descripción termodinámica, en cambio, es de tipo global, coloca al sistema en su ambiente. Introduce además la idea de estabilidad. Por el Segundo Principio de la Termodinámica, los fenómenos irreversibles conducen a una producción positiva de entropía. Si se perturba un sistema aislado en equilibrio, éste vuelve al equilibrio. En el mundo de los fenómenos disipativos, pueden desprejarse las perturbaciones, en el mundo de la dinámica, no.

Si no hubiera estabilidad, el mundo cambiaría de continuo, por lo que no podría existir ninguna organización estable de las estructuras. La irreversibilidad es un factor muy relevante, pues se comprueba que los fenómenos irreversibles conducen a nuevas estructuras y desde el momento que aparecen nuevas estructuras como consecuencia de la irreversibilidad, ya no corresponde pensar, con Albert Einstein, que el “tiempo irreversible es una ilusión”.

La Mecánica Cuántica ha introducido el azar en la Física; lo ha hecho, a escala microscópica, concluyéndose que, en el ámbito macroscópico, el azar resultaría eliminado por la Ley de los Grandes Números. Puede verse que el azar permanece esencial incluso a escala macroscópica. Cerca del equilibrio siempre es posible linealizar, mientras que lejos del equilibrio, se tienen no-linealidades para los comportamientos de la materia. Se tienen de este modo, nuevos estados físicos de la materia, nuevos comportamientos. Las ecuaciones no-lineales tienen muchas soluciones posibles y por consiguiente una multiplicidad, una riqueza de comportamientos que no se encuentran cerca del equilibrio.

La irreversibilidad conduce a la autonomía; cambios extremadamente débiles en el medio externo pueden llevar a comportamientos internos completamente distintos, abriendo la posibilidad de que el sistema se adecue al mundo externo. En el curso de la evolución biológica han cambiado las cualidades de los sistemas dinámicos, con un aumento de complejidad que tiende hacia sistemas altamente inestables. Es la irreversibilidad en acción; la autonomía de los seres que tienden a hacerse cada vez más independientes del mundo externo. El mensaje del Segundo Principio de la Termodinámica, no es un mensaje de ignorancia, es un mensaje sobre la estructura del Universo. Los sistemas dinámicos que están en la base de la Química, de la Biología, son sistemas inestables que se dirigen hacia un futuro que no puede ser determinado a priori porque tenderán a cubrir tantas posibilidades y tanto espacio, como tengan a su disposición. Debe examinarse el sentido del Segundo Principio, no como negativo y de destrucción, sino como origen de otra concepción del tiempo. La evolución del Universo no ha sido en la dirección de la degradación, sino en la del aumento de la complejidad, con estructuras que aparecen progresivamente en cada nivel; desde el de las estrellas y las galaxias, a los sistemas biológicos. Los desarrollos recientes de la Termodinámica, proponen por tanto un Universo en el que el tiempo no es ni ilusión ni disipación, sino creación.

La cuestión del tiempo se ubica en la encrucijada del problema de la existencia y del conocimiento. El tiempo es la dimensión fundamental de nuestra existencia; emplazado asimismo, en el corazón de la Física; fue la incorporación del tiempo al esquema conceptual de la Física Galileana que constituyó el punto de arranque de la ciencia occidental. Seguramente, este punto de partida, constituye un triunfo del pensamiento humano y está igualmente en el origen del problema que hace a la razón de ser del libro *La Fin des Certitudes*. Einstein a menudo ha afirmado que «el tiempo es una ilusión». En efecto, el tiempo tal como ha sido incorporado en las leyes fundamentales de la Física, de la Dinámica Clásica Newtoniana; de la Relatividad y de la Física Cuántica, no autoriza ninguna distinción entre el pasado y el futuro. Aún hoy, para muchos físicos, importa una verdadera profesión de fe y al nivel de la descripción de la Naturaleza, no se advierte la flecha del tiempo.

¿Cómo puede emerger la flecha del tiempo de un mundo al cual la Física atribuye simetría temporal? Ésta es la paradoja del tiempo que traslada a la Física el «dilema del determinismo». Merece destacarse el intento del físico vienés Ludwig Boltzmann, por hacer evidente la contradicción entre las leyes de la Física Newtoniana basadas en la equivalencia entre pasado y futuro y todo esfuerzo de formulación evolucionista, afirmando una distinción esencial entre futuro y pasado. En su época, las leyes de la Física Newtoniana eran aceptadas como la expresión de un conocimiento ideal, objetivo y completo. Puesto que estas leyes afirman la equivalencia entre el pasado y el futuro, todo propósito de conferir una significación fundamental a la flecha del tiempo aparece como una amenaza contra este ideal.

Ahora bien, luego de Boltzmann, la situación cambió profundamente. El desarrollo espectacular de la Física del no-equilibrio y de la dinámica de los sistemas inestables asociados a la idea del caos, fuerza a revisar la noción del tiempo tal como fue formulada después de Galileo Galilei. La Física de los procesos de no-equilibrio, ha conducido a conceptos nuevos tales como la auto-organización y las estructuras disipativas que son hoy largamente utilizadas en dominios que van desde la Cosmología a la Ecología y las Ciencias Sociales, pasando por la Química y la Biología. La Física del no-equilibrio estudia los procesos disipativos, caracterizados por un tiempo unidireccional y este hecho confiere una nueva significación a la irreversibilidad. La Ciencia Clásica privilegia el orden, la estabilidad, cuando a todos los niveles de observación, reconocemos el rol primordial de las fluctuaciones y de la inestabilidad. Asociadas a estas nociones, aparecen también las elecciones múltiples y los horizontes de previsibilidad limitada. Nociones tales como caos, se han hecho populares e invaden todos los campos de la Ciencia, de la Cosmología a la Economía.

Sobre el fin del Siglo XX, cobra importancia la cuestión del porvenir de la ciencia. Para ciertos pensadores, tales como Stephen Hawking, autor de Breve Historia del Tiempo, estamos próximos al fin en el que seremos capaces de descifrar el «pensamiento de Dios». Creo contrariamente que nos encontramos en el comienzo de la aventura. Asistimos a la emergencia de una Ciencia que no está más limitada a situaciones simplificadas, idealizadas, sino que nos enfrenta con la complejidad del mundo real, una Ciencia que permite a la creatividad humana ser vivida como la expresión singular de un rasgo fundamental, común a todos los niveles de su naturaleza. El Siglo XIX nos ha legado una doble herencia, por una parte las leyes de Newton, que corresponden a un universo estático y por la otra, una descripción evolutiva asociada a la entropía. La entropía es el elemento esencial introducido por la Termodinámica, la Ciencia de los procesos irreversibles; éstos es, orientados en el tiempo. Podemos afirmar hoy que es gracias a los procesos irreversibles asociados a la flecha del tiempo que la Naturaleza realiza sus estructuras más delicadas y complejas. La vida no es posible sino en un universo alejado del equilibrio. El desarrollo notable de la Física y de la Química de no-equilibrio, durante los últimos decenios, refuerza las conclusiones publicadas en La nouvelle Alliance:

1. Los procesos irreversibles (asociados a la flecha del tiempo) son reales. Los procesos reversibles descritos por las leyes tradicionales de la Física, sólo pueden ser interpretados como aproximaciones de las leyes fundamentales;
2. Los procesos irreversibles juegan un rol constructivo en la Naturaleza;
3. La irreversibilidad exige una extensión de la Dinámica.

Si el mundo que nos rodea, debe ser comprendido a partir del modelo de los sistemas dinámicos estables, será un mundo estático y predecible, mas no estaremos allí para formular las predicciones. En el mundo que es el nuestro, descubrimos las fluctuaciones a todos los niveles; las bifurcaciones; las inestabilidades. Los sistemas estables, conducen a las certidumbres correspondientes a las idealizaciones; a las aproximaciones. La situación a la que arribamos, fue anticipada por Henry Poincaré. En un pasaje donde discute la significación de la Ley de Conservación de la Energía, arriba a una conclusión que puede aplicarse satisfactoriamente a la Segunda Ley de la Termodinámica, la Ley del Crecimiento de la Entropía. Poincaré escribe que esta ley «no puede tener más que un significado y es que existe una propiedad común a todas las situaciones posibles; sin embargo, dentro de la hipótesis determinista, hay una sola posible y entonces la ley carece de sentido. Para la hipótesis indeterminista por el contrario, el Segundo Principio adquiere un sentido absoluto; contraponiéndose a todo límite impuesto a la libertad.

El Segundo Principio, es el mensaje que advierte del error de abandonar el dominio de la Matemática y de la Física». La Ciencia es un diálogo con la Naturaleza y como dentro de todo diálogo verdadero, las respuestas son frecuentemente inesperadas. A diferencia de la rama Termodinámica asociada a la vecindad del equilibrio, donde se da una producción de entropía mínima, las estructuras disipativas aumentan generalmente la producción de entropía. La Termodinámica permite formular las condiciones necesarias para la aparición de estructuras disipativas en Química. Las estructuras disipativas se producen en condiciones alejadas del equilibrio; existe siempre una distancia crítica, tal que de un lado de ella, la rama termodinámica es estable. Las estructuras disipativas implican la existencia de etapas catalíticas. Esto significa que existe en la cadena de reacciones químicas una etapa en la cual un producto intermedio Y , es obtenido a partir de un producto intermedio X , cuando en otra etapa X , es producido a partir de Y . Estas condiciones, son satisfechas por todos los organismos vivientes. Las enzimas, que son codificadas dentro del material genético, aseguran una riqueza y una multiplicidad de reacciones catalíticas, sin equivalente en el mundo inorgánico. Sin ellas, el material genético, es letra muerta. En un informe reciente a la Comunidad Europea, C. K. Biebracher, G. Nicolis et P. Schuster han escrito: “el mantenimiento de la organización en la Naturaleza, no se realiza y no puede ser realizado por una gestión centralizada; el orden no puede ser mantenido sino merced a una auto-organización”.

Los sistemas auto-organizadores permiten la adaptación a las circunstancias ambientales; por ejemplo, reaccionan a las modificaciones del ambiente, gracias a una respuesta termodinámica que los hace extraordinariamente flexibles y robustos frente a las perturbaciones externas. Debe subrayarse la superioridad de los sistemas auto-organizadores en comparación con la tecnología humana habitual que evita cuidadosamente la complejidad y genera de manera centralizada la gran mayoría de los procesos técnicos. Por ejemplo, en Química de Síntesis las diferentes etapas de la reacción, son generalmente diligentemente separadas unas de otras y las contribuciones ligadas a la difusión de los reactivos, son evitadas mediante manejos. Una tecnología completamente nueva deberá ser desarrollada para explotar el gran potencial de ideas y de reglas de los sistemas auto-organizadores en materia de procesos tecnológicos. La superioridad de los sistemas auto-organizadores, se ilustra mediante los sistemas biológicos donde los productos complejos son formados con una precisión; una eficacia y una velocidad sin igual.

Lo posible es más rico que lo real. La Naturaleza nos presenta en efecto, la imagen de la creación; de la imprevisible novedad. Nuestro Universo ha seguido un camino de bifurcaciones sucesivas; ha podido recorrer otros. Quizás podemos decir otro tanto de la vida de cada uno de nosotros. La Ciencia es un diálogo con la Naturaleza. Las peripecias de este diálogo han sido imprevisibles. ¿Quién hubiera imaginado a comienzos del Siglo XX, la existencia de las partículas inestables; de un Universo en expansión; de los fenómenos asociados a la auto-organización y a las estructuras disipativas? ¿Mas como es posible tal diálogo? Un mundo simétrico en relación con el tiempo, es un mundo no conocible. Todo intento de medida, previo a la creación de conocimientos, presupone la posibilidad de ser afectado por el mundo, pues somos afectados por nuestros instrumentos. Sin embargo, el conocimiento no presupone solamente un vínculo entre quién conoce y lo que es conocido; exige que el nexos cree una diferencia entre pasado y futuro. La realidad del devenir es la condición *sine qua non* en nuestro diálogo con la Naturaleza. Comprender la Naturaleza, ha sido uno de los grandes proyectos del pensamiento occidental; no debe ser identificado con el de controlar la Naturaleza.

Venimos a ver que la irreversibilidad, puede ser el origen de la Cosmología, asociada al nacimiento mismo del Universo. Es necesario para la coherencia de nuestra posición que la flecha del tiempo; la diferencia entre el rol jugado por el pasado y por el futuro, tenga como punto de partida a la Cosmología, pues constituye un ámbito universal, compartido por todos los actores de la evolución cósmica; vivos o no. Mas los fenómenos irreversibles no son detenidos con la creación del Universo. Las reacciones nucleares continúan en el seno del Sol, la vida prosigue sobre la Tierra. Los fenómenos irreversibles de hoy deben hallar su explicación en la Física Clásica o Cuántica actual, independientemente de si su punto de partida es cosmológico.

Hemos relacionado la irreversibilidad con una nueva formulación probabilística de las Leyes de la Naturaleza. Esta formulación nos proporciona los principios que permiten descifrar la construcción del Universo de mañana; de un Universo en construcción. El futuro no está determinado. Vivimos el fin de las certidumbres. ¿Es esto un defecto para el espíritu humano? Estoy persuadido de lo contrario, dice Ilya Prigogine.

Lo que hoy emerge es entonces una descripción intermedia, situada entre dos representaciones alienantes; la de un mundo determinístico y la de un mundo arbitrario, sumido en el azar. Las leyes no gobiernan más el mundo, más éste no es tampoco regido por el azar. Las leyes físicas se corresponden con una nueva forma de inteligibilidad; expresan las representaciones probabilísticas irreductibles. Éstas se asocian a la inestabilidad, tanto a escala microscópica como macroscópica; describen los acontecimientos posibles, sin reducirlos a las consecuencias deducibles y previsibles de las leyes determinísticas. ¿Es la distinción entre lo que puede ser previsto y controlado y lo que no, lo que satisface la cuestión de la inteligibilidad de la Naturaleza en el corazón de la obra de Einstein?

En estos procesos de construcción de una vía estrecha entre leyes ciegas y acontecimientos arbitrarios, descubrimos que una gran parte del mundo que nos rodea se ha entonces «deslizado entre la trama de hilos de la red científica», para retomar una expresión de Whitehead. Discernimos los nuevos horizontes; los nuevos interrogantes; los nuevos riesgos. Vivimos un momento privilegiado de la Historia de las Ciencias. Espero, dice el Profesor Prigogine, haber comunicado estas convicciones a mis lectores.

10. 3. - ASPECTOS FORMALES

10. 3. 1. - COMPLEJIDAD Y RESTAURACIÓN AMBIENTAL. PROPUESTA CONCEPTUAL Y METODOLÓGICA PARA EL ESTUDIO FORMAL DE ECOSISTEMAS DOMINADOS POR EL HOMBRE

10. 3. 1. 1. - INTRODUCCIÓN: la toma de decisiones político-económicas en materia ambiental, debe apoyarse en el conocimiento científico, pues los hechos científicos y la evidencia, constituyen una guía para la acción de restauración de equilibrios dinámicos en los ecosistemas dominados por el hombre. Se requiere instrumentar políticas ambientales, cuyas acciones de reparación ecológica satisfagan los requerimientos inherentes al sistema sobre el que actúan, con el mínimo insumo energético, basado en criterios de maximización de la exergía como fracción de la energía aportada al sistema que se transforma en trabajo útil. El tratamiento sistémico de problemas ambientales, se ilustra en este apéndice, proponiendo un conjunto de elementos conceptuales y metodológicos, propios de la Teoría de la Complejidad, orientados a fundamentar un manejo ecológico de generación activa de estrategias, encaminadas a lograr que el sistema funcione de manera sustentable, pues el abandono de la responsabilidad ambiental, ocasiona una pérdida progresiva de la calidad de vida comunitaria y una afectación permanente de sus bienes, con aumento de la desocupación y la pobreza.

En el artículo Rain forest fragments fare poorly (Science, Vol. 278. 7 November 1997, page 1016) de Nigel Williams, se consideran aspectos referidos a la influencia mutua del cambio climático global y la capacidad fotosintética expresada como producción de biomasa, afirmándose que el desmonte masivo de la selva tropical y subtropical lluviosa durante las recientes décadas, tiene un profundo efecto sobre la atmósfera terrestre al incorporar anhídrido carbónico y acentuar otras causas antrópicas de calentamiento global. Los fragmentos o islas de selva o bosque preservados cuando se deforestan regiones con propósitos agrícola-ganaderos hacen también su contribución en la ecuación del CO₂. Habida cuenta que lo pequeño es vulnerable, las porciones aisladas de selva o bosque lluvioso sufren rápidamente por exposición a la acción de los elementos.

Estudios realizados por William Laurance del Instituto Nacional Brasileiro para Investigación en el Amazonas, muestran a través de 17 años de registros, que islas boscosas de reducido tamaño, tal como las franjas o barreras contempladas en la legislación vigente, aisladas del grueso de la formación forestal, son incapaces de mantener la estructura de la selva o bosque original. Pierden considerables cantidades de biomasa, conforme los grandes árboles quedan francamente expuestos al viento y sus efectos de turbulencia y a extremos climáticos o cambios en el microclima. Los individuos que mueren o resultan dañados provocan una reducción de la cantidad de material biológico capaz de absorber anhídrido carbónico. La relación directa entre la disminución global de la capacidad fotosintética y la pérdida de biomasa, no se circunscribe a los fragmentos aislados de la selva, pues en la faja próxima a los bordes de la formación no disturbada, se verifican similares procesos de degradación, observándose una disminución sustancial en los individuos ubicados dentro de los 100 primeros metros medidos desde el borde.

La complejidad original, en términos de biodiversidad y capacidad productiva natural, estimable como biomasa seca sobre el terreno (*above-ground dry biomass - AGBM -*) es reemplazada por matorrales arbustivos de menor volumen y biomasa. En síntesis, a la disminución de la capacidad fotosintética y el consiguiente incremento de la presión parcial de CO₂, causada por la deforestación, debe sumarse similar efecto por la degradación parcial de lo que se intenta mantener como selva o bosque no alterado. Trátase de un lazo de realimentación positivo, conducente a la degradación o al colapso del sistema. Gran parte de la biodiversidad, está localizada en las selvas lluviosas, pero la gestión de recursos y la protección ambiental, son responsabilidades globales que requieren ser atendidas con equidad y bases científicas, para garantizar la solidaridad internacional y el desarrollo sustentable. La **Fig. 1**, constituye un modelo conceptual que ilustra los efectos directos e indirectos del Hombre sobre la ecósfera. Los cambios en la abundancia de especies; particularmente aquellos que influyen la dinámica del agua y los nutrientes; las interacciones tróficas o bien, los que alteran las condiciones de régimen, afectan la estructura y funcionamiento de los ecosistemas. La biodiversidad incrementa la probabilidad de participación de especies con efectos positivos sobre el ecosistema y aumento en la eficiencia en el uso de recursos.

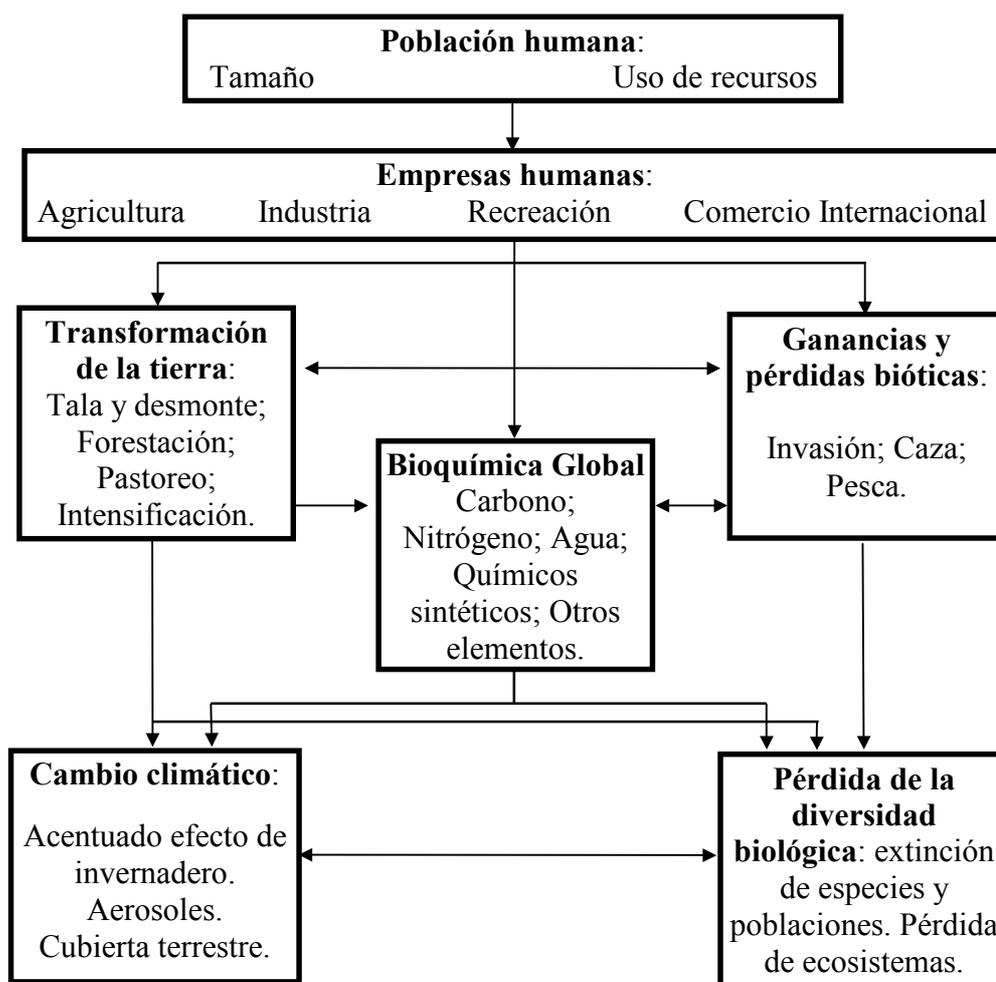


Fig. AC - 01 - MODELO CONCEPTUAL QUE ILUSTRAS SOBRE LOS EFECTOS DIRECTOS E INDIRECTOS DEL HOMBRE SOBRE LA ECÓSFERA

Las diferencias en términos de sensibilidad ambiental entre especies funcionalmente similares, brindan estabilidad a los procesos ecosistémicos; contrariamente las diferencias en sensibilidad entre especies funcionalmente diferentes, hacen al ecosistema más vulnerable al cambio. Los cambios ambientales afectan la composición de especies y la diversidad, alterando el funcionamiento de la biosfera. La **Fig. 2**, ilustra sobre los vínculos entre composición específica, diversidad y procesos ecosistémicos, los que incluyen aspectos vinculados con la productividad y el ciclo de nutrientes. En escala regional, deben contemplarse los flujos gaseosos hacia la atmósfera y los de nutrientes desde los sistemas terrestres a los acuáticos. Las interacciones que tienen lugar entre comunidades, comprenden la competencia y la depredación. Los servicios del ecosistema están asociados con los beneficios obtenidos por el Hombre, a partir de los procesos ecológicos.

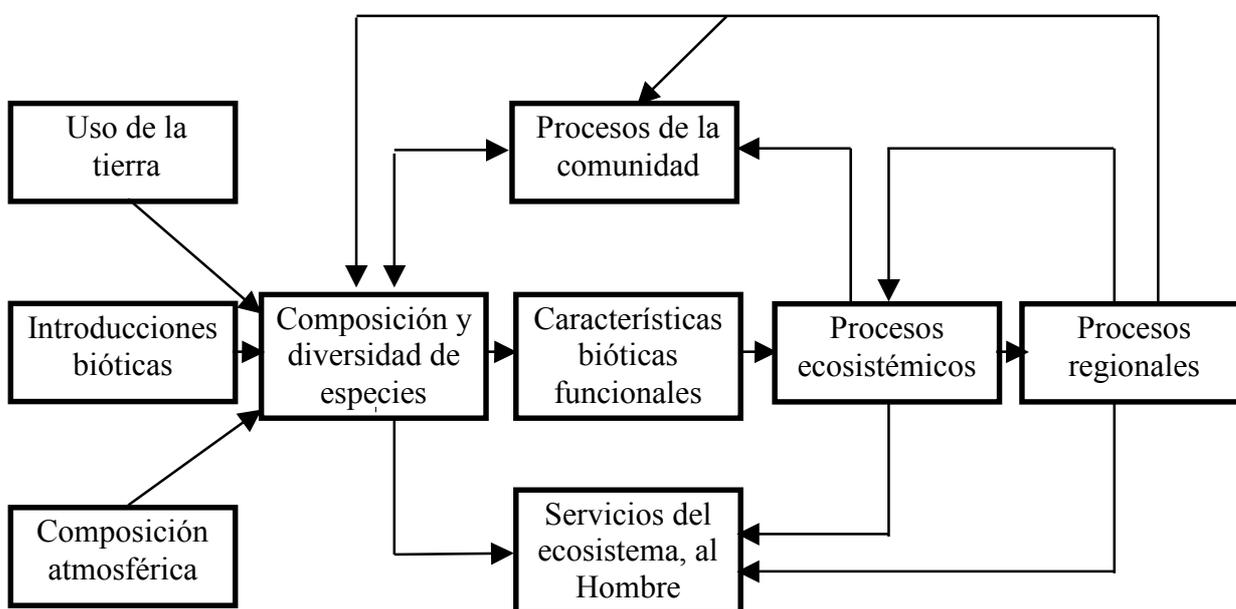


Fig. AC - 02 -ENLACES VINCULANDO COMPOSICIÓN Y DIVERSIDAD ESPECÍFICA Y PROCESOS ECOSISTÉMICOS, LOS QUE INCLUYEN PRODUCTIVIDAD Y CICLOS DE NUTRIENTES. LOS PROCESOS REGIONALES COMPRENDEN LOS FLUJOS DE GASES HACIA LA ATMÓSFERA Y EL TRANSPORTE DE NUTRIENTES DESDE LOS SISTEMAS TERRESTRES HACIA LOS ACUÁTICOS. LOS PROCESOS COMUNITARIOS, INVOLUCRAN LA COMPETENCIA Y LA DEPREDACIÓN. LOS SERVICIOS DEL ECOSISTEMA AL HOMBRE, SON LOS BENEFICIOS QUE LA ESPECIE HUMANA DERIVA DE LOS PROCESOS ECOLÓGICOS.

NOTA: adaptado del artículo Biotic Control over the Functioning of Ecosystems, de F. Stuart Chapin III *et al.*, Science, Vol.277, 25 July 1997, pages: 500-504.

La expansión y la intensificación de las áreas de cultivo se ubican entre los cambios globales predominantes del Siglo XX. La agricultura se ha hecho intensiva mediante el uso de híbridos; variedades; cultivares y plantas transgénicas de alto rendimiento, exigentes en insumos tales como fertilización, irrigación y plaguicidas. Estas prácticas han contribuido substancialmente al aumento de la producción de alimentos durante los últimos 50 años. Cabe observar que todo cambio en el uso o destino del suelo y la intensificación de las prácticas agrícolas, alteran las interacciones bióticas y los patrones de disponibilidad de recursos en el ecosistema; pueden por consiguiente, tener serias consecuencias ambientales, en escala local, regional o global.

10. 3. 1. 2. - TERMODINÁMICA Y TEORÍA GENERAL DE SISTEMAS: la unificación del conocimiento, importa la elaboración de síntesis conceptuales de amplio rango de explicación, con el surgimiento de interciencias y metateorías, cuyas innovaciones se incorporan a la actividad del pensamiento en cada una de sus ramas. En el positivismo, afirma Charles François, se limita el campo de las ciencias fácticas al análisis de lo observable; a los hechos y por lo tanto, a la descripción, a la medida y a la conexión de los fenómenos. Su objetivo es llegar, al descubrimiento de leyes funcionales, más o menos generales o especiales.

La búsqueda de explicaciones causales circunscripta al dato positivo y a los modos de existencia que caracterizan los diversos sustratos en los que se expresan los fenómenos, conduce a dividir la realidad en un cierto número de territorios, más o menos separados, o dispuestos según planos superpuestos, los que corresponden a los dominios de las diversas disciplinas científicas. Resulta así excluida toda investigación interdisciplinaria, cuyo principio contradice el de las fronteras consideradas naturales que separan unas categorías observables de otras. El positivismo trata lo social con la metodología que aplica a los hechos naturales (monismo positivista), lo que implica un reduccionismo mecanicista, por asimilación no legítima de lo social a lo natural. Según el mecanicismo, todos los fenómenos naturales pueden ser reducidos al comportamiento de una máquina, donde cada parte está condicionada por las demás. Todo hecho es rigurosamente determinado por los otros y determina a su vez, los hechos posteriores. Sin embargo, en el terreno mecánico, surge el concepto de adaptación, asociado a los de optimización y progreso y en consecuencia, a la noción de la finalidad entendida como causalidad lineal, donde el efecto aparece antes que la causa.

El espíritu y la sociedad humana deben hallar su inteligibilidad en sí mismos. Surge frente al monismo que subsume lo social en lo natural, el dualismo ontológico de naturaleza-cultura y el metodológico de explicación-comprensión. En el mundo de la cultura emerge lo intencional, donde debe buscarse y comprenderse el sentido de la actividad humana. Un modelo teórico en ciencias humanas debe abarcar, no sólo la causalidad material; ésto es, los aspectos externos del hecho, la explicación, sino también la comprensión o causalidad finalista, aquello que apunta a lo interno del hecho, a lo intencional. La cibernética de Norbert Wiener (1948) enuncia principios organizativos fundados en el concepto de información, superando los determinismos basados en causa inicial vs. causa final mediante la introducción del concepto de retroalimentación de la información. Explica el mantenimiento de un equilibrio dinámico en comportamientos de búsqueda de metas. Se conjugan la tendencia a naturalizar las ciencias del hombre y la recíproca de humanizar algunos procesos naturales. El enfoque sistémico intenta, con su visión englobadora, complementar el conocimiento especializado, propio de la visión analítica del pensamiento científico tradicional, que distingue las ciencias fácticas de las formales en función de que las primeras recurren al método inductivo, mientras que las segundas se basan en la deducción.

Toda observación implica una partición llevada a cabo por el observador, una selección de elementos relevantes e irrelevantes que participan o no en la conceptualización de la misma. Como construcción racional, el método de las ciencias fácticas pasa a ser interpretado como hipotético-deductivo; propio de todo saber tanto natural como humano. La hipótesis constituye una selección de elementos relevantes a ser introducidos en la búsqueda del ordenamiento de los hechos y de sus relaciones.

El enfoque sistémico como modelo conceptual o paradigma en la etapa de formulación de hipótesis, opera sobre los criterios de selección de elementos relevantes, ampliando el campo de significación, a fin de delimitar el objeto de estudio en función del conjunto de inter-relaciones que mantiene con la totalidad de lo real y abordando intencionalmente, toda su complejidad. El primer paso para abordar la complejidad es aceptar la unidad allí donde el análisis opera la segmentación en partes. El enfoque sistémico no desmiembra, no descompone, no reduce lo complejo a lo simple (reduccionismo cartesiano), sino que, permite ver la cosa en el juego de sus inter-relaciones, de una manera concreta. La abstracción estaría en aislar la parte del todo. Lo concreto es el todo, donde se busca una unidad legítima, no subalternizando lo social a lo natural, ni aislando ambos campos, sino procurando determinar su intersección. El concepto comprometido en ello, es el de estructuración de la realidad por niveles de complejidad creciente: físico, biológico y social, donde cada nivel persiste en el siguiente y por lo tanto conservan validez sus leyes, pero en cada nivel surgen propiedades emergentes, propias de cada uno de ellos e irreducibles al nivel inferior. La unidad es entonces, unidad en lo múltiple, una imbricación de inter-relaciones. Por el hecho de abordar de pleno esta multiplicidad es que la noción de sistema se acerca a la noción de símbolo.

La Teoría General de Sistemas, debida al biólogo austriaco Ludwig von Bertalanffy, demuestra la existencia de isomorfismos entre las ciencias; es esencialmente totalizadora, al reconocer que los sistemas no pueden ser plenamente comprendidos sólo por el análisis de cada una de sus partes. Se basa en la comprensión de la dependencia recíproca entre todas las disciplinas y en la necesidad de su integración e intenta restablecer la coherencia del conocimiento. Las **Tablas AC - 01 y 02**, establecen comparaciones entre el enfoque clásico y el sistémico:

Tablas AC - 01, 02 - COMPARACIONES ENTRE EL ENFOQUE CLÁSICO Y EL DE LA TEORÍA GENERAL DE SISTEMAS

Abordaje clásico:	Abordaje sistémico:
Aísla; se concentra sobre los elementos.	Relaciona; énfasis en las inter-relaciones entre elementos.
Se basa en la precisión de los detalles.	Se basa en la percepción global.
Independiente de la duración; fenómenos reversibles.	Integra duración e irreversibilidad.
La validación de los hechos se realiza por prueba experimental en el marco de una teoría.	Comparación del funcionamiento del modelo con la realidad, para validar los hechos.
Eficaz cuando las inter-relaciones son lineales y débiles.	Eficaz cuando las inter-relaciones no son lineales y son fuertes.
Conocimiento de los detalles, objetivos mal definidos.	Conocimiento de los objetivos, detalles borrosos.

Visión estática:	Visión dinámica:
Sólido.	Fluido.
Fuerza.	Flujo.
Sistema cerrado.	Sistema abierto.
Causalidad lineal.	Causación circular; múltiple y recíproca.
Equilibrio de fuerzas.	Equilibrio de flujos.
Ejemplo: cristal.	Ejemplo: célula.
Comportamiento de los sistemas: previsible; reproducible; reversible.	Comportamiento de los sistemas: poco previsible; irreproducible; irreversible.

Una premisa fundamental de la Teoría General de Sistemas, es la existencia de un orden jerárquico entre los sistemas; desde los más simples hasta los más complejos. Resulta así, un universo que contiene una jerarquía de sistemas, donde los niveles más elevados, se componen de sistemas de niveles inferiores.

Los sistemas se dividen en:

- Abiertos: cuando están en permanente relación con su entorno, intercambiando materia; energía; información y entropía. Éstas son empleadas en el mantenimiento de la organización, frente a la degradación provocada por el transcurso del tiempo. El sistema incrementa la entropía del entorno.
- Cerrados: cuando sólo intercambian energía con el medio; tienen un comportamiento determinado y programado o bien son sistemas completamente estructurados, donde los elementos se relacionan de manera rígida.
- Aislados: cuando no intercambian o interactúan con el mundo exterior. Estos sistemas teóricos, emplean sus reservas de energía potencial interna. A medida que las reacciones ocurren, se incrementa de modo irreversible la entropía. Al alcanzar el equilibrio termodinámico, la entropía es máxima y el sistema es incapaz de suministrar trabajo.

La definición de von Bertalanffy, según la cual el sistema es un complejo de elementos interactuantes, contiene dos conceptos, el de propósito u objetivo y el de globalismo o totalidad:

- Propósito u objetivo: las unidades o elementos, así como las relaciones, definen un comportamiento que siempre tiende a alcanzar el objetivo.
- Globalismo o totalidad: todo sistema tiene una naturaleza orgánica, por la cual una acción que produzca cambios en una de las unidades del sistema, con alta probabilidad deberá producir cambios en todas las otras unidades del mismo. En otros términos, cualquier estímulo en cualquier unidad del sistema afectará todas las demás unidades, debido a las relaciones existentes entre ellas. El efecto total de esos cambios o alteraciones se presentará como un ajuste de todo el sistema, el que experimentará cambios y ajustes sistemática y continuamente.

Otras características fundamentales para la comprensión de los sistemas son las que se refieren a estabilidad; variedad; funcionamiento probabilístico; equifinalismo; entropía; información y retroalimentación. En un sistema donde tiene lugar una transformación hay ingresos y egresos, los primeros resultan de la influencia del entorno sobre el sistema y los segundos de la acción del sistema sobre el entorno. En todo bucle o lazo de retroalimentación, las informaciones sobre los resultados son reenviadas a la entrada del sistema en forma de datos; si éstos contribuyen a facilitar y acelerar la transformación en el mismo sentido que los resultados precedentes, se trata de un lazo de retroalimentación positiva; sus efectos son acumulativos. Por el contrario, si los nuevos datos actúan en sentido opuesto a los resultados anteriores, se trata de un bucle negativo, sus efectos estabilizan el sistema. En el primer caso hay crecimiento o decrecimiento exponencial; en el segundo, mantenimiento del equilibrio. Todo sistema presenta dos modos fundamentales de existencia y de funcionamiento: la conservación o el cambio. El primero merced a los bucles de retroalimentación negativa; se caracteriza por la estabilidad. El segundo depende de los lazos positivos que causan el crecimiento o el decrecimiento. De la existencia de ambos resulta toda la dinámica de los sistemas abiertos. La noción de sistema está estrechamente ligada a la de observador. El observador es quien define el sistema y hace ésto, de acuerdo a sus propósitos; es una decisión subjetiva. Un sistema es una entidad separada del entorno por una operación de distinción. Variando los límites de distinción y/o el nivel de resolución, se define el sistema o bien el conjunto de entidades: suprasistema-entorno-sistema-subsistema-elemento. Los componentes de un sistema establecen relaciones entre ellos y con los elementos del entorno; las relaciones son flujos de intercambio de energía, materia, información y entropía.

El sistema abierto recibe ingresos del ambiente, los procesa y emite egresos nuevamente al ambiente, de tal modo que entre ambos – sistema y ambiente – existe una constante interacción. La influencia del sistema sobre el ambiente retorna al sistema a través de la retroalimentación. Para que el sistema sea viable y sobreviva, debe adaptarse al ambiente, su supervivencia depende de su capacidad para adaptarse, cambiar y responder a las exigencias y demandas del ambiente externo. El ambiente sirve como una fuente de energía, materia e información. Como el ambiente está continuamente cambiando, el proceso de adaptación del sistema es un proceso dinámico.

El entorno impone al sistema un límite. El sistema gana en organización incorporando del entorno, masa, energía e información, que le permiten ampliar su límite hasta que un nuevo límite aparece. El peligro radica en que estas aperturas no se realicen y el sistema más su entorno permanezcan como entidades cerradas. En términos generales la estructura es el conjunto de relaciones contextuales del sistema y todo cambio en el tiempo de materia, energía e información implica proceso; éste incluye el concepto de función como cambios reversibles que suceden en el tiempo y de evolución, interpretada como cambios no fácilmente reversibles que alteran la estructura y la función del sistema.

La Teoría de la Regulación y de la Comunicación, sea en las máquinas o en los seres vivientes, fue llamada por Wiener, cibernética; ésta se centra en el concepto fundamental de información, independientemente de las formas en que sea transmitida. La cibernética en este sentido es pues, un sistema lógico-matemático, construido sobre conceptos abstractos. La técnica clásica se ha ocupado de la objetivación del trabajo físico, mientras que la técnica cibernética se ocupa de la objetivación de las funciones que hacen a la consecución de un objetivo. La cibernética como teoría y técnica de las informaciones y de los sistemas elaboradores de información no trata primariamente sobre el contenido de la información, sino sobre la conexión entre las informaciones dadas y recibidas. La noción de máquina difiere de la concepción clásica del término, ya que hace hincapié en los aspectos organizativos. La máquina se convierte en una totalidad organizada, no reducible a sus elementos constitutivos, que tienen un determinismo opuesto a la aleatoriedad del medio.

Se buscan las analogías entre la máquina y los sistemas vivientes como un método para entender la complejidad de los mismos. En este sentido surgen modelos que intentan representar propiedades de los sistemas vivientes, utilizando el concepto de máquina cibernética y las propiedades emergentes de este concepto, marcando las diferencias entre la naturaleza de las máquinas y los sistemas vivientes. La máquina artificial, una vez que ha sido construida, sólo puede seguir un proceso degenerativo, mientras que la máquina viva es, aunque por un tiempo limitado, generativa, es decir, posee la aptitud de acrecentar su complejidad. Un principio general a aplicar, es el de la regulación por control del error, en donde el sistema es accionado por un dispositivo de control al que se suministra información sobre el estado efectivo comparado con el estado propuesto. Caracterizan a todo sistema de control:

- El sistema a ser controlado;
- El patrón, modelo o estado propuesto al sistema;
- Un dispositivo para medir el estado efectivo del proceso y en consecuencia su desviación o error con respecto al estado propuesto;
- Un medio de suministrar influencias correctoras para mantener al sistema dentro de los límites establecidos.

Una característica relevante de los sistemas complejos es la calificación dada por Jay W. Forrester de contraintuitivos. Esto significa que el comportamiento que la experiencia hace prever, no coincide con el comportamiento efectivo del sistema, pues la experiencia acumulada se basa en el conocimiento de sistemas simples de primer orden, definidos solo por una variable de estado o nivel, con bucles de retroalimentación negativa buscadores de metas, en donde la causa y el efecto están estrechamente relacionados en el tiempo y en el espacio en forma clara e inmediata. El comportamiento inherente al sistema complejo desafía las soluciones intuitivamente obvias. En sistemas complejos se debe admitir la inter-relación y profunda interdependencia de todos los niveles y dimensiones de la realidad; estas interacciones son frecuentemente más importantes que el contenido aislado de cualquier componente por separado. Toda ordenación tiene una energía potencial con respecto a un estado desordenado y esta energía tiende a reducirse a medida que se pierde el orden. Debido a que todas las cosas ordenadas se degradan, el mantenimiento del orden requiere un suministro de energía potencial para efectuar el trabajo de ordenación. El Primer Principio de la Termodinámica o de conservación de la energía establece que la cantidad total de la energía en el Universo permanece constante. La energía no puede ser creada, ni destruida¹.

¹ Mediante la transferencia de calor Q y la realización de trabajo W , se suministra o quita energía de un sistema. La transferencia de energía, modifica la energía interna del sistema. Dados dos estados 1 y 2, la diferencia $Q - W$ representa la variación de la energía interna del sistema $U_2 - U_1$ para todas las trayectorias que unen los puntos 1 y 2. Entonces: $U_2 - U_1 = Q - W \Rightarrow Q = U_2 - U_1 + W$, lo que constituye el Primer Principio de la Termodinámica, donde Q es positivo cuando el sistema recibe calor y W es positivo cuando la fuerza ejercida por el sistema y el desplazamiento tienen el mismo signo.

Un sistema aislado es el que no realiza trabajo exterior y hacia el cual, no hay flujo calórico ($W = Q = 0$, $U_2 - U_1 = \Delta U = 0$); ésto es, la energía interna de un sistema aislado, permanece constante. Este es el enunciado más general del Principio de Conservación de la Energía. En general el aumento de energía de un sistema, es igual a la energía que fluye hacia él en forma de calor, menos la que sale de él, como trabajo. Se tienen las expresiones siguientes para los procesos:

1. Adiabático: $U_2 - U_1 = -W$;
2. Isocórico: $Q = U_2 - U_1$;
3. Isotérmico: $Q = W$;
4. Isobárico: $W = p (V_{Vapor} - V_{Líquido})$, si L es el calor de vaporización:
 $Q = m L$, luego, en virtud del Primer Principio:
 $m L = (U_{Vapor} - U_{Líquido}) + p (V_{Vapor} - V_{Líquido})$.

En forma diferencial, el Primer Principio, puede expresarse así: $dQ = dU + dW$; si el sistema realiza trabajo mediante una expansión o una compresión, es: $dQ = dU + p dV$.

El Segundo Principio de la Termodinámica, se conoce también como Principio de la Entropía y postula que: no es posible ningún proceso cíclico, cuyo único resultado sea la absorción de calor de una fuente a una sola temperatura y su conversión completa en trabajo mecánico. Asimismo, no es posible ningún proceso cíclico, cuyo único resultado sea el paso de calor de una fuente o cuerpo frío a otro caliente. Todo proceso que tenga lugar en la Naturaleza, sea mecánico, eléctrico, químico o biológico, se verifica de acuerdo con los dos principios.

El calor entregado a un sistema, es diferente a lo largo de trayectorias distintas, sin embargo, si se divide el calor en cada punto de una trayectoria, por la temperatura absoluta del sistema en dicho punto y se suman todos los cocientes resultantes a lo largo de la trayectoria entre 1 y 2, esta suma tiene igual valor para todas las trayectorias reversibles comprendidas entre los mismos puntos inicial y final. El cambio de entropía, considerando dos estados de un sistema y un conjunto de trayectorias reversibles que los une, esta dado por:

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T} = \text{constante}, \text{ para todas las trayectorias reversibles entre los estados 1 y 2.}$$

El Segundo Principio de la Termodinámica o de degradación de la energía establece que la calidad de esta energía se degrada de manera irreversible. En un sistema aislado cualquier cambio espontáneo va acompañado de un aumento de entropía. La entropía del Universo no se conserva constante; siempre crece. La energía mecánica, química o eléctrica puede transformarse íntegramente en calor. Pero la transformación inversa, de calor en trabajo mecánico, por ejemplo, no puede hacerse íntegramente sin aportación exterior y sin pérdida de calor irrecuperable: Ello no quiere decir que la energía se destruya, significa que queda indisponible para realizar trabajo. La entropía mide cuanta información hace falta para comprender el orden de un sistema que parece desordenado. Es así, una medida de la incertidumbre. El tipo de equilibrio que alcanza un sistema y el modo de mantenerlo, dependen en gran medida de su relación con el medio, según sea el sistema, abierto, cerrado o aislado. Cada desequilibrio origina una fuerza, cada fuerza origina un flujo y cada flujo tiende a equilibrar el sistema. Para gradientes pequeños, en situaciones cercanas al equilibrio, la relación entre flujos y fuerzas conjugadas es lineal. Para gradientes grandes, en situaciones alejadas del equilibrio, la relación pasa a ser no lineal; este caso es de interés en relación con los sistemas complejos.

Si un sistema está aislado experimenta una serie de procesos que lo llevan al equilibrio. Estos procesos consumen su energía útil con el consiguiente aumento de entropía. A medida que el sistema adopta estados más probables, su entropía crece, hasta hacerse máxima. El equilibrio es el estado más probable; tiene más microestados y es también el que exige más información para especificar en cual de ellos está realmente el sistema. Como el equilibrio es el estado de máxima entropía, es el estado en que se tiene la mayor ignorancia sobre los microestados del sistema. Se relacionan así, entropía-información-equilibrio.

Los sistemas biológicos, sociales, económicos, no son aislados. Frente a la ley de degradación de la energía y el orden en los sistemas aislados, son capaces de mantener por períodos considerables de tiempo y dentro de ciertos niveles de estabilidad, la organización de su compleja estructura y funcionamiento internos. Alcanzan estados de equilibrio estacionario, logrados merced al intercambio que mantienen con su entorno; consumiendo energía libre y produciendo entropía. Se establece así, un equilibrio de flujos. Hay equilibrio cuando las velocidades de los flujos son iguales y de direcciones opuestas. El estado estacionario es un estado de desequilibrio mantenido constante gracias a la actuación del medio.

Un sistema homeostático es un sistema abierto que conserva su estructura y funciones por intermedio de una multiplicidad de equilibrios dinámicos de flujos. El sistema es capaz de mantener este comportamiento, de resistencia al cambio entre determinados umbrales de estabilidad. Las relaciones entre flujos y fuerzas permanecen en la linealidad. En los estados cercanos al equilibrio una fluctuación, provocada por una perturbación externa u originada espontáneamente en el interior del sistema, genera fuerzas que tienden a compensarla y a hacerla desaparecer; lejos del equilibrio, las fluctuaciones microscópicas se amplifican a escala macroscópica; el sistema se hace inestable, entra en crisis y da origen a un nuevo régimen.

En forma diferencial, se tiene: $dS = \frac{dQ}{T}$. En todo proceso natural, hay un aumento de entropía, siempre que se consideren todos los sistemas que intervienen. Entonces, cuando se tienen en cuenta todos los sistemas que toman parte en un proceso, la entropía permanece constante o aumenta, o recíprocamente, no es posible ningún proceso en el cual la entropía disminuya, si se consideran todos los sistemas involucrados. Cuando la entropía aumenta, la energía se hace menos utilizable y se dice que el Universo se ha degradado en la extensión representada por dicho aumento.

El sistema tiende a adoptar el estado que le permite originar un mínimo de entropía por unidad de tiempo. La transición a un nuevo estado, es el abandono de una estructura que para la situación o las condiciones imperantes, disiparía demasiada entropía o mejor, gastaría demasiada energía libre. Un sistema en crecimiento posee una estructura inicial que constituye una fluctuación con respecto a su estado adulto. Los sistemas complejos utilizan procesos no lineales para aumentar su disipación, al tiempo que forman estructuras disipativas espacio-temporales en los primeros pasos, a través de una sucesión de inestabilidades. Sólo una vez que dicha fase se ha superado se encara una evolución hacia un estado estacionario que se caracteriza por un mínimo de producción de entropía. El tema es desarrollado en el apéndice sobre **EL NACIMIENTO DEL TIEMPO Y EL FIN DE LAS CERTIDUMBRES**, basado en la obra de Ilya Prigogine.

De lo expuesto cabe insistir en el hecho que en la Termodinámica pueden concebirse estructuras en equilibrio; cerca del equilibrio y alejadas de él. Una gran diferencia separa los dos primeros estados del tercero. En los primeros, los flujos gobiernan las fluctuaciones. Lejos del equilibrio son las fluctuaciones quienes inducen nuevas estructuras, amplificándolas y arrastrando al sistema; rige el principio de orden por fluctuaciones. La diferencia que separa ambos principios puede resumirse cualitativamente en la propiedad siguiente: en la proximidad del equilibrio un sistema se ajusta lo más próximo al equilibrio. Lejos del equilibrio un sistema se reorganiza mediante la amplificación y posterior estabilización de fluctuaciones en presencia de los intensos flujos de materia y energía que el ambiente impone. Adaptación en un caso, reestructuración en el otro.

Como se expresó precedentemente, el Segundo Principio de la Termodinámica, se aplica a sistemas completamente aislados; especifica que tales sistemas evolucionan hacia un estado de equilibrio correspondiente a un máximo de entropía, es decir, a un desorden máximo. Pero en los sistemas complejos, por no ser aislados, la entropía no tiene forzosamente que crecer. Se trata de sistemas cuya principal característica consiste en estar alejados del estado de equilibrio previsto por el Segundo Principio. Su entropía no es pues máxima y existe un flujo continuo de energía a través del sistema. En su estado de equilibrio estacionario el flujo de energía evoluciona hacia un valor constante. Si se imagina un sistema intermediario entre una fuente de energía y un sumidero, se observa que el sistema intermediario está atravesado por un flujo de energía. La entropía de un sistema sometido a un flujo de energía puede decrecer. En otros términos, la energía que atraviesa el sistema es utilizada para producir el trabajo necesario para el mantenimiento del estado alejado del equilibrio. El trabajo realizado en el sistema intermediario va asociado al flujo de energía existente entre la fuente y el sumidero y en lo que respecta al sistema en su conjunto (sistema intermediario más medio), la producción de entropía es positiva. La existencia del sistema depende de un aumento continuo de la entropía del medio circundante. El gasto de energía libre en el medio es mayor que la almacenada por el sistema. La desorganización del medio es también proporcionalmente mayor que la organización que gana el sistema.

El Tercer Principio de la Termodinámica es aplicable a los sistemas abiertos. Llamado el principio de la máxima potencia, explica porqué algunos sistemas sobreviven. El sistema que sobrevive es el que recibe más energía y la emplea con más efectividad y eficiencia en la competencia con otros sistemas, haciendo máxima la exergía. Los sistemas que sobreviven compitiendo entre alternativas diferentes son los que desarrollan un flujo de entrada mayor y emplean éste de la mejor manera para sobrevivir.

Lo expresado precedentemente, se consigue:

- desarrollando reservas de energía de alta calidad;
- empleando la energía de los depósitos de reserva para incrementar las entradas, por medio de una retroalimentación;
- reciclando materiales según se necesitan;
- organizando mecanismos de control que mantengan el sistema adaptado y estable;
- estableciendo intercambios con los otros sistemas para atender las necesidades especiales de energía.

Cuando un sistema es alejado del equilibrio, su regreso a él puede cumplirse, al menos en parte, por otro camino. Esto da origen a un ciclo. Está demostrado que el flujo de energía desde una fuente a un sumidero a través de un sistema en estado estacionario origina, por lo menos, un ciclo material en el sistema. En el proceso entra energía continuamente y sale como energía calorífica degradada e inútil. Los ciclos al funcionar, almacenan energía y sus modos de organización son tales que estabilizan el flujo de energía, haciendo posible el mantenimiento de la vida en la biosfera. Un sistema complejo se caracteriza por su capacidad para adaptarse a las fluctuaciones que le impone el entorno gracias a la variedad de estados que puede adoptar como respuestas posibles ante dichas perturbaciones; sin embargo, un sistema organizado no puede adoptar cualquier estado. Si así fuera, se comportaría como un conjunto desorganizado y consiguientemente, no sería un sistema. En toda organización existen ciertas restricciones que alejan la posibilidad de que el sistema llegue a adoptar estados no deseables para su estabilidad-supervivencia. Las restricciones reducen la variedad del sistema como complejidad organizada. En una organización, el conocimiento acerca del estado de un sistema altera la distribución de probabilidades del siguiente estado, posibilitando la predicción de estados futuros. Cuanto más complejo sea el sistema, más posibilidades diferentes se encontrarán y la incertidumbre será mayor. Partiendo del conocimiento del estado, aunque sólo sea, el de una de las partes del sistema, se gana información sobre el todo. Hay más información en un sistema ordenado que en uno que no lo está. En el orden se basa justamente la capacidad de dar información. Se necesita energía para obtener información e información para manejar la energía.

Un sistema autorregulado no deja de estar sujeto a restricciones. El hecho fundamental es que cada restricción en particular está sujeta por su parte al conjunto de restricciones que determinan el funcionamiento global del sistema. Un sistema complejo es capaz de adaptarse y evolucionar. La habilidad para sobrevivir mejor, depende de la capacidad de variar y diversificar el conjunto de comportamientos que conducen a la supervivencia. Los sistemas tienden a la complejidad aumentando el número de interconexiones entre sus elementos y ganando en variedad. Según Ilya Prigogine, la Termodinámica comprende la Termoestática, la Termodinámica Lineal y la Termodinámica de los Sistemas Alejados del Equilibrio, donde se distinguen dos niveles: uno próximo al equilibrio y otro alejado del equilibrio. El primer nivel se identifica como lineal e irreversible; fue desarrollado por Lars Onsager (1903-1976) y se aplica a fenómenos de transporte, tales como difusión y conducción eléctrica y calorífica. Son flujos gobernados por relaciones lineales o de reciprocidad, en razón de ser funciones lineales de fuerzas o potenciales (Çambel, A. B., 1993). En una amplia variedad de sistemas dinámicos complejos, los flujos son funciones no lineales de las fuerzas; se tienen entonces, los sistemas auto-organizados, apartados del equilibrio termodinámico. La emergencia de estructuras de nivel superior, ocurre merced a la amplificación de fluctuaciones en el ámbito de los sistemas adaptativos complejos.

En las estructuras disipativas de Prigogine, cuando el sistema se aparta del equilibrio, una fluctuación aleatoria inicia un conjunto de fluctuaciones coordinadas, lo que genera una nueva estructura que persiste apartada del equilibrio. El comportamiento al nivel de detalle del nuevo sistema, es sensible a las condiciones iniciales. Las estructuras ecológicas de bajo nivel, son compartidas por ciclos ecológicos de diferente naturaleza, donde un organismo puede ser parte de ellos, sean biogeoquímicos; de sucesión; de nacimiento y muerte; etc. El elemento tangible, normalmente es sólo una etapa de procesos que involucran otras estructuras, las que a su vez participan de otros ciclos, tal como se considera más adelante.

Ilya Prigogine extendió el concepto de entropía de Rudolf Clausius (1822-1888) de los sistemas macroscópicos aislados y en equilibrio, a los sistemas abiertos. Como se ha expresado, éstos son atravesados por flujos entrantes y salientes hacia el ambiente, de masa, energía, información y entropía. Los sistemas que experimentan un incremento de entropía se conocen como estructuras disipativas, en éstas se basa la auto-organización, que implica que formas complejas pueden evolucionar a partir de otras más simples. El cambio neto total de entropía dS_T , es igual a la suma del cambio de entropía dentro del sistema dS_I ; éste es, la que aumenta y la entropía que el sistema abierto intercambia con el entorno $dS_E \Rightarrow dS_T = dS_I + dS_E$, donde $dS_I \geq 0$, pero dS_E puede ser menor, igual o mayor que cero. Si la entropía entra al sistema, $dS_E > 0$ y si la entropía es descargada al entorno, $dS_E < 0$. Si el sistema es aislado y reversible, $dS_E = 0$. Consiguientemente, dS_T puede ser positivo, negativo o cero, dependiendo de la magnitud relativa del cambio de la entropía disipativa dentro del sistema y del intercambio entrópico. Si $|dS_E| > |dS_I|$ y el sistema expulsa entropía, $dS_E < 0 \Rightarrow dS_T < 0$. Esto implica la remoción de entropía o ganancia de orden (reducción del ruido o del caos) o bien la auto-organización.

Si la tasa de producción de entropía se simboliza con $\dot{\sigma}_s$; la densidad por ρ ; la entropía por unidad de volumen por s ; la densidad de flujo entrópico por \mathbf{J}_s , que es la entropía que atraviesa la unidad de área en la unidad de tiempo y ∇ representa el operador vectorial nabra, puede escribirse:

$$\dot{\sigma}_s = \frac{\partial}{\partial t} (\rho s) + \nabla \cdot \mathbf{J}_s$$

Debe observarse que el producto escalar o producto punto $\nabla \cdot \mathbf{J}_s$ tal como se consigna en el apéndice sobre **CAMPOS ESCALARES Y VECTORIALES**, es una cantidad escalar. Para el caso de transporte de gases, la ecuación de Ludwig Boltzmann (1822-1888) asimétrica con respecto al tiempo es:

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \mathbf{v} \cdot \frac{\partial f}{\partial \mathbf{r}} + \mathbf{F} \cdot \frac{\partial f}{\partial \mathbf{v}} = \left(\frac{\partial f}{\partial t} \right)_{\text{colisión}}$$

En la expresión anterior f representa la función de distribución $f(\mathbf{v}, \mathbf{r}, t)$; \mathbf{v} , \mathbf{r} son los vectores de velocidad y posición y \mathbf{F} la fuerza, siendo $\mathbf{F} = \mathbf{F}(\mathbf{r}, t)$. Los términos del miembro de la izquierda consideran el movimiento de partículas, siendo el miembro de la derecha, el término de colisión. La entropía estadística, llamando k a la constante de Boltzmann y p_i a la

probabilidad de alcanzar el estado accesible i -ésimo, es: $S = -k \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i$.

Para Claude Shannon, la entropía se expresa por:

$$H_s = -K \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i, \quad \text{siendo: } S = \frac{k}{K} H_s$$

Sir Arthur Stanley Eddington relacionó la noción de flecha del tiempo con el Segundo Principio de la Termodinámica, ley suprema de la Naturaleza según su opinión, pues como la entropía aumenta con el paso del tiempo, la cuantificación del incremento permite discernir entre el pasado y el futuro; vincula irreversibilidad con caos y aleatoriedad. No es posible formular predicciones confiables a largo plazo, debido a la pérdida de información que acompaña al aumento de entropía. Para recuperar la precisión, resolución o apreciación original, debe suministrarse más información al proceso de pronóstico. En los procesos estocásticos, los parámetros del sistema, cambian con el tiempo, de modo probabilístico, lo que incorpora incertidumbre a la predicción, siendo la entropía para A. N. Kolmogorov, la medida de la información perdida en el espacio de fase “ene”-dimensional. Como se expresó, la exergía, como entidad termodinámica, se interpreta como fracción de la energía aportada al sistema que se transforma en trabajo útil; por consiguiente, la determinación de la eficiencia de uso de la energía, cuando se realizan tareas de restauración o remediación ambiental, puede ser encarada mediante procedimientos que evalúen el trabajo requerido para operar la restitución del sistema a una situación de productividad sostenible.

La noción de complejidad de un ecosistema, está asociada a la variedad de los elementos que lo constituyen; a las interacciones lineales y no lineales y a la totalidad organizada. Cuanto más complejo es un ecosistema, más debe serlo el sistema de control, a fin de ofrecer respuestas a las múltiples perturbaciones provenientes del contexto. Esto determina que la regulación para ser eficaz, debe apoyarse en un sistema de control de complejidad equivalente a la del ecosistema sobre el que actúa. Se necesita que las acciones de control sean de una variedad igual a la del sistema controlado. Un sistema de control ambiental, es un ordenamiento de componentes físicos, vinculados o relacionados de tal manera que mandan, dirigen o regulan dinámicamente al mismo ecosistema o a otro. Tal como se expresó previamente, los diseños de lazo cerrado, se caracterizan por la retroalimentación que permite que la salida se compare con la entrada o referencia, de modo que la acción de control ambiental apropiada pueda definirse como alguna función de la entrada y de la salida del ecosistema; existe pues, una secuencia cerrada de relaciones causa y efecto entre las variables del sistema natural-social. En el capítulo siguiente, se analizan aspectos vinculados con la relación entre Ecología y Teoría de la Complejidad (Waldrop, M. M., 1992).

10. 3. 1. 3. - ECOLOGÍA Y COMPLEJIDAD: la presentación de cuestiones vinculadas con el estudio de la Ecología en sentido amplio, se hace con el propósito de aportar elementos para el tratamiento formal, de los sistemas adaptativos complejos. En todos los casos los grupos de agentes buscan acomodamiento y autoconsistencia de modo de trascender, adquiriendo propiedades colectivas tales como la vida, el pensamiento y el propósito que no poseerían individualmente. Estos sistemas complejos auto-organizados son adaptativos y dinámicos; responden por consiguiente de manera activa a los cambios del sistema y su entorno. Desarrollan la habilidad de balancear el orden y el caos. El balance se establece en la frontera del caos, donde los componentes del sistema no se inmovilizan ni se disuelven en la turbulencia y el desorden. Esta frontera del caos es donde la vida tiene suficiente estabilidad para mantenerse a sí misma y la necesaria creatividad para merecer ser reconocida como tal. El agente mejor adaptado sobrevive.

Para Ilya Prigogine, los sistemas vivientes actúan según una dinámica espontánea de auto-organización común, que les confiere unidad; en estos sistemas, el auto-reforzamiento se manifiesta como una tendencia a magnificar pequeños efectos cuando las condiciones son adecuadas. Ésto genera retornos crecientes, según Brian Arthur, a modo de una retroalimentación positiva. La constatación del auto-reforzamiento, se opone a la noción de retornos o beneficios o rendimientos decrecientes, que es el criterio que prevalece en la Economía Clásica. En la **Tabla AC - 03**, se sintetizan las características inherentes al enfoque socio-económico tradicional y al basado en la noción de complejidad.

Tabla AC – 03 - CARACTERÍSTICAS DEL ENFOQUE SOCIO-ECONÓMICO TRADICIONAL Y DEL DE LA COMPLEJIDAD

Viejo enfoque socio-económico:	Nuevo enfoque socio-económico:
Retornos decrecientes.	Retornos crecientes.
Basada en la Física del Siglo XIX (equilibrio; estabilidad; dinámica determinística).	Basada en la Biología (estructura; patrones de forma y comportamiento; auto-organización; ciclos biológicos).
Personas idénticas.	Focalizada en la vida individual; personas separadas y diferentes.
Si no ocurrieran externalidades y todos tuvieran iguales habilidades, se alcanzaría un estado ideal de perfección.	Las externalidades y las diferencias, son fuerzas conductoras. Todo sistema evoluciona constantemente.
Los elementos son cantidades y precios.	Los elementos son patrones de forma y comportamiento y posibilidades.
No existe una situación dinámica real, pues todo se encuentra en equilibrio.	La economía está constantemente en el borde del tiempo. Corre hacia delante; sus estructuras constantemente coalescen; decaen; cambian.
Los sujetos son visualizados como estructuralmente simples.	Los sujetos son visualizados como inherentemente complejos.
La economía es interpretada como una disciplina blanda.	La economía es entendida como una ciencia altamente compleja.

En el mundo real, los resultados son elaborados gradualmente, conforme algunos sucesos de baja probabilidad de ocurrencia son amplificados aleatoria y no linealmente, por lazos de retroalimentación positiva. Las economías exitosas se desarrollan porque los beneficios crecientes tornan inestables y lucrativos los mercados de alta tecnología. Pequeños acontecimientos, pueden tener grandes efectos. Todo está interconectado, de modo que es posible observar complicados patrones de comportamiento, a partir de sistemas relativamente simples. Stephen Wolfram sostiene que sistemas físicos y biológicos, manifiestamente complicados, tienen componentes básicos y leyes formalmente simples. La complejidad surge debido a las múltiples interacciones simultáneas entre componentes simples o agentes. Una consecuencia de la no-linealidad dinámica es que el todo es diferente y mayor que la suma de las partes, en contraposición con la dinámica lineal, donde el todo es igual a la suma de las partes y cada componente es libre e independiente de lo que ocurra a otros elementos del sistema. Para John H. Holland la evolución y el aprendizaje tienen mucho que ver con las estrategias del juego. En ambos casos se tiene un agente actuando contra su ambiente, procurando ganar en cantidad suficiente para asegurar su existencia. En la evolución, el pago es literalmente la supervivencia y una chance para el agente de transferir sus genes a la siguiente generación. En el aprendizaje, el pago es una recompensa de variada naturaleza, tal como alimento; satisfacción emocional; etc. El pago o la falta de éste proporciona al agente la retroalimentación que necesita para mejorar su performance, si pretende ser adaptativo. El agente procura mantener las estrategias que le aseguran el mejor pago, eliminando a los oponentes.

El agente actualiza constantemente sus estrategias y tácticas conforme gana en experiencia y aprende más con relación al otro jugador. Es en esencia un sistema adaptativo que no procura el equilibrio, pues éste implica un punto final. La esencia de la evolución radica en el cambio. Los fenómenos sociales de auto-organización, ocurren a partir de la selección que en diferentes momentos, los individuos hacen entre alternativas culturales, como consecuencia de distintas percepciones del ambiente. La complejidad reside en la organización, de la que surgen formas de síntesis como sus emergentes. Independientemente de la naturaleza de los agentes, éstos están constantemente organizándose y reorganizándose en estructuras emergentes mayores, a través de la confrontación y acomodamiento mutuo.

Todo sistema con comportamientos coherentes, es el resultado de la competencia y de la cooperación entre sus componentes. La conducta emergente de un sistema socio-económico, es la resultante de una miríada de decisiones socio-económicas, tomadas cotidianamente por una multitud de seres individuales. Un sistema adaptativo complejo tiene varios niveles de organización, con agentes en todos los niveles, actuando como bloques o unidades constructivas de agentes de un nivel superior; ocurriendo en todos los casos, revisiones constantes y reacomodamientos de los bloques constructivos, conforme el conjunto gana en experiencia. El control de un sistema adaptativo complejo, tiende a ser muy disperso.

Uno de los mecanismos fundamentales de la adaptación, es la revisión y recombinación de los bloques constructivos. Todos los sistemas adaptativos complejos, tienen capacidad de anticipación y de elaboración predictiva basada en diversos modelos internos y dinámicos del mundo; estos modelos se comportan como subrutinas, las que son ejecutadas en determinadas circunstancias, actuando como bloques constructivos del comportamiento. Éstos pueden ser probados; ajustados y reagrupados conforme el sistema adquiere experiencia. Los nichos del sistema adaptativo complejo, son ocupados por agentes adaptados, lo que genera nuevos nichos, con lo que surgen oportunidades que despliegan el sistema bajo formas de transición, esencialmente inestables o no estacionarias.

Para que los agentes sobrevivan y prosperen, es necesaria la predicción como estrategia de anticipación y la retroalimentación del ambiente que contribuye a la selección natural. Los agentes no pueden optimizar su adaptación o el beneficio que extraen, pues en cualquier ambiente real el espacio de posibilidades es tan extenso que no existe forma de que un agente pueda encontrar el óptimo, ni siquiera aún reconocerlo. Ésto ocurre antes de tener en cuenta el hecho de que el entorno puede cambiar de manera imprevista. La acción como respuesta a un problema no bien definido debe realizarse en un ambiente mutante, donde los cambios son desconocidos. Se toman rutinariamente decisiones en contextos insuficiente o mal definidos; adaptando o copiando, con éxito relativo lo que funcionó previamente. El propósito de la complejidad es hallar estrategias de modelización formal que permitan estructurar el núcleo de una teoría. A pesar de que los sistemas complejos reales, difieren en sus detalles, todos exhiben una singular coherencia ante los cambios. Esta circunstancia justifica la designación dada por John H. Holland, de sistemas adaptativos complejos (*complex adaptive systems*), donde el comportamiento depende de las interacciones entre los agentes. Éstos conforman agregados que pueden organizarse en nuevos niveles jerárquicos (Holland, John H., 1996). Un agente basado en reglas, actúa conforme a la proposición lógica: *si un estímulo, entonces una respuesta* y su performance es la sucesión de eventos estímulo-respuesta. Los cambios en la estructura del sistema, conforman una estrategia basada en la experiencia de éste. Estos cambios conducen a la adaptación y al aprendizaje.

Los siete atributos básicos de los sistemas adaptativos complejos comprenden cuatro propiedades y tres mecanismos; a saber:

Propiedades:

1. Agregación;
2. No-linealidad;
3. Flujos;
4. Diversidad;

Mecanismos:

1. Etiquetado (signos; símbolos y mensajes identificatorios);
2. Modelos internos;
3. Bloques constructivos o generadores.

La descripción de agentes adaptativos se realiza empleando reglas como recursos descriptivos formales; éstas deben utilizar una sintaxis simple, la que ha de proporcionar una descripción de los mecanismos de interacción entre agentes, debiendo disponerse de procedimientos aceptables para la modificación adaptativa de reglas. La adaptación se realiza mediante la asignación de créditos cuando el ambiente refuerza o premia las acciones del agente; esto modifica la fuerza o importancia relativa de las reglas involucradas. La adaptación implica también, la aplicación de algoritmos genéticos a bloques constructivos o generadores. En los algoritmos genéticos se emplean los operadores de reproducción; entrecruzamiento (*crossing over*) y mutación. Este tema se desarrolla en el apéndice sobre **ALGORITMOS GENÉTICOS**. Los organismos adaptados resultan ser progenitores exitosos, que dan lugar a una descendencia que oportunamente actuará como padres. Debe advertirse la analogía entre progenitores y reglas fuertes; pues la descendencia generalmente coexiste con los padres, reemplazando a otros agentes más débiles. Esta situación es importante en un sistema basado en reglas, pues las reglas fuertes equivalen al conocimiento adquirido en condiciones de competencia. Las reglas fuertes usualmente determinan las acciones de los agentes de modo que constituyen el núcleo de los modelos internos de éstos. La descendencia no es idéntica a los progenitores; este proceso de descubrimiento vale tanto en genética como en los sistemas basados en reglas. La interacción genética de entrecruzamiento (*crossing over*) determina que las características de los padres aparezcan como nuevas combinaciones en la descendencia.

Para simular el proceso de producción de una nueva generación a partir de otra determinada, los algoritmos genéticos aplican los siguientes pasos:

1. Reproducción en función de la evaluación de atributos adaptativos; donde, cadenas seleccionadas de la población conforme a un conjunto de reglas, actúan como padres. Cuanto más adecuada la cadena, más fuerte la regla y consiguientemente mayor la probabilidad de intervenir como progenitor. Una cadena de alta evaluación puede actuar como padre en varias oportunidades;
2. Las cadenas parentales son apareadas; recombinadas por entrecruzamiento y objeto de mutación para producir cadenas filiales;
3. Las cadenas descendientes reemplazan otras cadenas aleatoriamente elegidas en la población. Este ciclo se repite para producir generaciones sucesivas.

La adaptación y el aprendizaje aparecen como emergentes en los sistemas adaptativos complejos; John H. Holland propone la aplicación de su modelo computacional Echo, basado en una red topológica de sitios que contienen recursos y agentes.

Cada sitio puede tener una fuente que proporciona una selección de recursos en cada paso de tiempo. Los agentes tienen estructuras representadas mediante cadenas llamadas cromosomas, en razón de alguna similitud con sus homólogos biológicos. Cada agente tiene reservorios para almacenamiento de recursos adquiridos a través de interacciones con el sitio y con otros agentes en éste. Para reproducirse un agente debe coleccionar suficientes recursos mediante interacciones, para hacer una copia de sus cromosomas. Éstos consisten de un segmento identificatorio (*tag segment*) y un segmento de control. El cromosoma proporciona al agente tres etiquetas; tres condiciones de interacción, capacidad para modificar los recursos y un medio para hacer que el agente sea activo o inactivo.

El segmento identificatorio contiene tres etiquetas; una de ofensa; una de defensa y una de adhesión. Cuando dos agentes interactúan la etiqueta de ofensa de cada uno es apareada con la etiqueta de defensa del otro, de modo de establecer la cantidad de recursos intercambiados entre ellos. La etiqueta de ofensa se emplea también para restringir el intercambio condicional, la selección de apareamiento y las interacciones de replicación condicional. La etiqueta de adhesión establece el grado de adhesión entre dos agentes interactuantes. El segmento de control contiene tres clases de objetos: condiciones (intercambio; apareamiento y replicación o reproducción); transformaciones de recursos (fuentes y objetivos) y un marcador de actividad (hay un marcador en el segmento de control; puesto en uno, el multiagente emplea las etiquetas para mediar sus operaciones; caso contrario el multiagente actúa como si el agente no estuviera presente en su agregado). Los autómatas celulares fueron inventados en 1953 por John von Neumann, con el propósito de representar mecanismos reproductivos. Constituyen un recurso computacional de modelización discreta, basado en el empleo de variables de estado espacio-temporales, con interacciones entre elementos; para ello, se aplica la noción del vecino más próximo (Gaylord, R. J. and K. Nishidate, 1996).

En 1984 Stephen Wolfram, también reconocido por haber desarrollado el *software Mathematica*, observó que un autómata celular, operando como una simple línea de células, produce cuatro diferentes tipos de comportamiento:

- Clase 1: prácticamente todas las configuraciones iniciales, terminan en un estado estacionario, con todas las células en la misma situación, indefinidamente. Este estado, es independiente de la configuración inicial;
- Clase 2: prácticamente todas las configuraciones iniciales, terminan en un estado estacionario o ciclan periódicamente, pero cada estado en particular, depende de la configuración inicial;
- Clase 3: prácticamente todas las configuraciones iniciales conducen a un estado caótico, aparentemente impredecible, a pesar de ser generado por reglas;
- Clase 4: algunas configuraciones iniciales, conducen a estructuras localizadas complejas y el autómata aparece realizando operaciones de cálculo (Stewart, I., 1998).

La mejora sostenida de los modelos, se interpreta como evolución, donde un agente adaptativo debe ser capaz de extraer ventajas de los mensajes del entorno. No es posible formalizar el comportamiento socioeconómico en un contexto de cambio, basándose en el equilibrio; en la noción de retornos decrecientes, del equilibrio estático y de la perfecta racionalidad, propios del enfoque neoclásico, donde el agente racional, optimiza su funcional de utilidad. Contrariamente, la complejidad resalta la constatación de los retornos crecientes; de la racionalidad restringida y de la dinámica de la evolución y el aprendizaje.

La evolución, no se detiene ante problemas mal definidos, ni ante ambientes no estacionarios. Los agentes adaptativos, responden a modos diversos de compensación, sin necesidad de hacer suposiciones sobre el origen de éstas. En esto se basan los sistemas de clasificación, donde las reglas de clasificación, son hipótesis en relación con el mundo, que pueden ser mutuamente contradictorias. El sistema ensaya permanentemente sus hipótesis, para determinar cuales son útiles en la búsqueda de recompensas, aún en un contexto de información incompleta y con un ambiente cuyos cambios son imprevisibles. El sistema socio-económico se auto-organiza y adapta; su comportamiento, como la biosfera, cambia y evoluciona permanentemente, explorando siempre nuevos territorios.

La vida artificial según Christopher G. Langton es básicamente la antítesis de la biología convencional. En lugar de constituir un esfuerzo de comprensión de la vida mediante el análisis, dividiendo comunidades, en especies; organismos; órganos; tejidos; células; organelas; membranas y finalmente moléculas, es un intento de comprender la vida mediante la síntesis. Esto implica reunir componentes simples para generar comportamientos que emulen la vida, la que no es una propiedad de la materia en sí misma, sino de la organización de la materia. Las leyes de la vida, afirma Langton, son las de las formas dinámicas, independientemente de los detalles sobre el advenimiento de la química del carbono cuatro mil millones de años atrás. La esencia del proceso mecánico, responsable de su comportamiento, es una estructura de control abstracta; un programa que puede ser expresado como un conjunto de reglas, con independencia de la naturaleza material de la máquina (Alonzo Church, Kurt Gödel, Alan Turing). Un comportamiento complejo, no implica necesariamente reglas de operación también complejas.

El Teorema de la Indecidibilidad, postula que salvo que un programa computacional, sea trivialmente simple, la forma más rápida de descubrir lo que éste, efectivamente hace, consiste en correrlo y observar su comportamiento. El modo de lograr un comportamiento que emule a la vida, es simulando poblaciones de unidades simples, en lugar de una unidad compleja mayor; controles locales, en vez de control global, permitiendo que el comportamiento emerja desde el fondo o desde la base hacia arriba, en contraposición a la opción de arriba hacia abajo. La atención debe concentrarse en el comportamiento como proceso; no en el resultado final, pues los sistemas vivientes, nunca se asientan. El aprendizaje y la evolución, estabilizan la frontera del caos; ésta es una condición natural de los sistemas adaptativos complejos.

En relación con la Economía; los valores ambientales y la política de conservación de recursos naturales, puede formularse un planteo en tres niveles diferentes. El primer nivel es el del enfoque costo-beneficio convencional; consiste en identificar los costos de cada curso de acción específico, cuantificando los beneficios asociados, para lograr la relación óptima entre ellos. Esto importa considerar las implicaciones de cada alternativa. La dificultad del enfoque costo-beneficio convencional radica según William Brian Arthur, en que generalmente se asume que los problemas están bien definidos; que las opciones y las políticas están también, bien definidas. De este modo el análisis consiste en asignar valores numéricos a costos y beneficios de cada alternativa. Desafortunadamente para la teoría estándar, el mundo real y de manera particular los aspectos ambientales, son difusos y cambiantes y las valoraciones numéricas descansan en juicios subjetivos, los que en general desestiman los temas en relación con los cuales no hay criterios de evaluación. Este planteo posiciona al observador, fuera del sistema; por consiguiente, no lo integra a éste.

El segundo nivel de definición de políticas se basa en un análisis institucional de quienes son los actores y porqué, como si el sistema político fuera exógeno, en vez de ser considerado como una consecuencia dinámica del inter-juego de todos los elementos, sujetos a alianzas, coaliciones, confrontaciones, etc. En el tercer nivel de análisis se consideran, el punto de vista estándar del equilibrio, heredado del Iluminismo y el enfoque de la Complejidad. En el punto de vista estándar, prevalece la idea de la dualidad entre el Hombre y la Naturaleza y de la existencia de un equilibrio entre ellos, el que debe ser óptimo para el Hombre. Es el ámbito de la optimización de las decisiones relacionadas con los recursos ambientales. En el planteo que formula la Complejidad, no se admite la dualidad Hombre-Naturaleza, pues el Hombre constituye la Naturaleza; está inserto en ella; es parte de su compleja red de inter-relaciones. Ver el apéndice sobre **EL HOMBRE Y LA NATURALEZA**. No hay acciones que puedan beneficiar unilateralmente a la especie humana; la noción de optimización entonces, carece de sentido; lo tienen en cambio, el acomodamiento y la coadaptación. Esto implica modificar la visión de la Naturaleza como objeto de explotación, en beneficio de un mutuo entendimiento del Hombre con su entorno, siempre cambiante y de relaciones no lineales, donde el rol de la Complejidad, es de ayuda en la acción de observación del mundo siempre cambiante y en la interpretación de la realidad observada. En un sistema manifiestamente complejo, los patrones de forma y comportamiento no son exactamente repetibles; sin embargo, existen componentes reconocibles.

Murray Gell-Mann propugna un ejercicio de percepción integrada; viable y a largo plazo, de las interacciones con la Naturaleza, que garanticen la biodiversidad en un contexto global sostenible. Para ello la sociedad humana debe operar en el mediano plazo:

- 1 - Una transición demográfica hacia una población mundial numéricamente estable;
- 2 - Una transición tecnológica que minimice el impacto ambiental per cápita;
- 3 - Una transición económica hacia un mundo que considere contabilizar los costos reales de bienes y servicios, incluyendo los costos ambientales, de tal suerte que la economía mundial tenga incentivos para vivir de los intereses de la Naturaleza, en lugar de agotar su capital;
- 4 - Una transición social hacia una distribución equitativa del ingreso, asociada con un aumento de las oportunidades de ocupación en tareas no destructivas, para los segmentos carenciados de la sociedad, conjugando este esfuerzo con la aceptación de las diferencias individuales y grupales;
- 5 - Una transición institucional hacia un conjunto de alianzas supranacionales que faciliten el ataque global de los problemas planetarios, permitiendo la integración de estrategias de acción;
- 6 - Una transición informacional que posibilite la comprensión de los desafíos que la sociedad enfrenta, reforzando asimismo, la investigación científica, la educación y el monitoreo global.

En Ecología y en Ciencias del Ambiente en general, el trabajo experimental se organiza conforme a marcos referenciales (Allen, T. F. H. and T. W. Hoekstra, 1992). Una noción fundamental es la de escala, tanto temporal como espacial. Un proceso en gran escala, es el que requiere un seguimiento prolongado en el tiempo o bien abarca una superficie dilatada o ambos. Cuanto más heterogéneo es el sistema objeto de observación, mayor debe ser la escala estructural en términos de ámbito físico; ésto difiere del criterio cartográfico, donde la representación de áreas mayores se logra empleando escalas menores y recíprocamente. Debe advertirse que los comportamientos o procesos de baja frecuencia de ocurrencia, se corresponden con niveles más altos de organización.

Los organismos cuya disposición sobre el terreno es uniforme, se consideran de baja dispersión o de reducida variabilidad numérica entre muestras estadísticas. Dos patrones diferentes de distribución espacial de individuos vegetales, originan histogramas de frecuencias distintos; tal es el caso de áreas con patrones alternantes; unas con elevada agregación y otras con ausencia relativa de una especie determinada. La variabilidad de la colección de muestras, es entonces, amplia, exhibiendo elevada dispersión. Se tienen frecuencias comparativamente altas de muestras de pocos y de muchos individuos. Si la población se distribuye uniformemente, la mayoría de las muestras contienen números similares de individuos; consiguientemente, la distribución estadística de frecuencias es concentrada o de escasa dispersión. De acuerdo al uso que se da al concepto de escala en Ecología, se tiene:

1. Entidades grandes y lentas: son de gran escala, mientras que las pequeñas y efímeras, son de pequeña escala;
2. Hechos escalo-dependientes: requieren en función del propósito de análisis, una determinada escala de percepción para ser evidentes;
3. Sistemas materiales que deben ser tratados como escalo-dependientes;
4. Entidades escalo-independientes, que no modifican sus cualidades cuando se las observa bajo diferentes escalas;
5. Dispositivos conceptuales; tales como, nombres de clases; organismos; poblaciones comunidades; etc., que son escalo-independientes.

Los sistemas ecológicos se ordenan según jerarquías crecientes, en los siguientes niveles convencionales de organización: célula; organismo; población; comunidad; ecosistema; paisaje; bioma y biosfera. Para una comprensión adecuada del mundo real, conducente a la formulación de predicciones robustas, deben considerarse simultáneamente tres niveles, en correspondencia con la noción de escala como principio organizador:

1. El nivel de agregación en cuestión;
2. El nivel inmediatamente inferior de pequeña escala, que es el de los atributos y el que provee la explicación de los mecanismos básicos de funcionamiento;
3. El nivel superior de gran escala, que aporta el contexto; el rol y la significación.

El grano y la extensión, se emplean para identificar la escala y el rango de la organización y pueden ser aplicados a la relación entre el organismo y la población como forma de agregación. En la formulación de generalizaciones o leyes, es siempre conveniente hacer un empleo moderado o medido de recursos, conforme prescribe el principio de parsimonia o navaja de William of Occam o Ockham². La máxima conocida como Occam's razor, no aparece como tal en sus trabajos, sin embargo, sí se lee: es vano hacer con más, lo que puede hacerse con menos — *it is vain to do with more what can be done with fewer* — (Russell, B. A., 1945).

² En *De successivis et Prologus de la Expositio in octo libros physicorum* de Guillermo de Ockham (1324), traducción, introducción y notas de Francisco José Fortuny, publicación de 1985 de Ediciones Orbis S. A.; Distribución Hyspamérica – Paracuellos de Jarama, Madrid España (160 págs.), se lee que la universalidad de un signo complejo, una proposición, se alcanza merced a la mediación formal del principio de economía o de parsimonia o navaja de Occam u Ockham, en una función epistemológica que, sólo derivadamente y en el ámbito de lo posible, fundamenta su valoración como principio de elegancia teórica y de crítica disolvente de anteriores teorías. En virtud de este principio, no hay mayor razón o no deben multiplicarse las entidades sin necesidad teórica de ello, para salvar los datos del problema.

Se puede pasar o saltar formalmente de A es B a Todo la que sea A será B . Si algo aparentemente idéntico a A no es B , habrá que denominarlo, verbal o escriturísticamente, A_1 ; mentalmente esta corrección es automática, ya que el signo mental simple sólo puede ser unívoco, según Ockham establece al comienzo de su *Logica Maior*.

En el Capítulo XIV de la Parte II del Libro Segundo de la Historia de la Filosofía Occidental de Bertrand Russell, destinado a la Filosofía Católica; los Escolásticos Franciscanos, se menciona que si algo en una ciencia puede ser interpretado sin asumir una o otra entidad hipotética, no hay fundamento para hacerlo. Para Occam, la Lógica es un instrumento de la Filosofía de la Naturaleza, la que puede ser independiente de la Metafísica. Compete a la Lógica, el análisis de la Ciencia Discursiva; en cambio, la Ciencia tiene sentido en relación con las cosas.

Se aplican cinco criterios inter-relacionados que vinculan los niveles más altos con los más bajos:

- 1- Fuerza o intensidad de los vínculos: las conexiones internas de una entidad son más fuertes que las que se establecen a través de su superficie o superficie de control. Las superficies que separan entidades de un nivel, pueden conformar los vínculos que integran esas unidades conformando un sistema de un nivel superior, donde sólo señales débiles atraviesan la nueva frontera. Las conexiones débiles entre entidades de un nivel, se convierten en los vínculos que proporcionan unidad a la entidad ubicada un nivel más arriba. Conforme el nivel es más alto, más débiles son los lazos que vinculan sus subsistemas.

Nota: la ruptura de los lazos químicos por el fuego o una explosión, libera mucho menos energía que la separación de los componentes del átomo en una bomba termonuclear o en una varilla o pastilla de uranio radiactivo, empleado como combustible en un reactor.

- 2- Frecuencia relativa: los comportamientos que aparecen como direccionales, pueden ser cíclicos al ser observados durante períodos más largos. El intervalo de tiempo en que se agota un inventario material o energético determinado, en un organismo particular, puede interpretarse como expresión o medida de la presión selectiva pasada. Los niveles de organización se ordenan en función de la frecuencia con que se realizan los reaprovisionamientos críticos. Los niveles más altos, exhiben una frecuencia más baja.

- 3- Contexto: los comportamientos de baja frecuencia, o más lentos definen a un nivel como contexto de otro de menor jerarquía. El contexto es espacialmente mayor o temporalmente más estable que el nivel que incluye. La mayor estabilidad temporal, incluye cambios de ocurrencia regular. La supervivencia de los más adaptados, implica un mejor acoplamiento con el contexto. La vida se caracteriza por la capacidad de actuar u operar predictivamente.

- 4- Contención: como acción de contener. En los sistemas animados, el todo cumple un ciclo o describe una trayectoria circular, más lentamente que sus partes y el todo es claramente, el contexto de sus partes. Los sistemas anidados son jerárquicamente robustos y el anidamiento mantiene constante el orden de los niveles, aun cuando el observador cambie su posición relativa o las reglas de vinculación entre niveles.

- 5- Restricción: los niveles superiores restringen a los niveles inferiores, como consecuencia de su comportamiento de baja frecuencia. La restricción es escalada dentro de los marcos de tiempo empleados en el nivel objeto de restricción. Se desestima toda limitación que comparada con el marco de tiempo, es temporaria.

Las restricciones o los factores limitantes (visión o enfoque reduccionista) contribuyen al ordenamiento por niveles, lo que permite que los sistemas sean predecibles. La predicción (enfoque holístico) depende en menor medida de los detalles del sistema material que del modo empleado en su descripción efectiva. En los sistemas ecológicos, prevalece la Ley de Liebig o Ley del Mínimo³; el factor limitante, determina la respuesta predecible del sistema dinámico.

³ Cualquier condición que se aproxime o exceda los límites de tolerancia, se denomina condición o factor limitante. En situación estable, el material básico disponible en las cantidades más próximas al requerimiento mínimo, tiende a ser el limitante. La Ley del Mínimo de Liebig sólo es aplicable en condiciones uniformes, cuando las aportaciones se equilibran con las salidas de materia y energía.

Un organismo se caracteriza por: 1- integridad genética, por provenir de una línea germinal simple, como un huevo o espora; 2- forma corporal discreta; 3- integridad fisiológica interna y autonomía fisiológica en relación con otros organismos. Las poblaciones son colecciones de organismos individuales, normalmente pertenecientes a una especie y por consiguiente con genotipos similares. El criterio de comunidad involucra el de poblaciones como subconjuntos o subsistemas que la integran, compitiendo de un modo complejo en un contexto ambiental variable. Comunidad es la integración del comportamiento complejo de la biota en una determinada área; es la manifestación de un todo cohesivo y multifacético, autorregulado y autoafirmativo en la modificación del ambiente físico.

El ecosistema funcional se interpreta como el enlace y articulación entre biota y entorno o ambiente abiótico. Los límites o contorno del sistema, incluyen el ambiente físico. Un ecosistema es esencialmente un conjunto complejo, interactuante de flujos que se tipifican como fenómenos de transporte de masa, energía, información y entropía. Henry A. Gleason visualizó la comunidad vegetal como una colección de individuos, filtrados por el ambiente; Frederic E. Clements consideró a la comunidad vegetal como un todo integrado, ubicado en un ambiente físico y Arthur G. Tansley interpretó a las plantas, su entorno biótico y su ambiente físico, como componentes propios del ecosistema. El paisaje se ordena conforme al principio de la contigüidad espacial y la dinámica de las especies con sus flujos de materiales. Un bioma cubre grandes áreas y está definido por la fisonomía vegetal dominante y una situación climática crítica que condiciona a los otros aspectos ambientales. Los biomas se caracterizan por su componentes bióticos, siendo el suelo la resultante del clima sobre la roca madre. La biósfera, es de escala planetaria, por consiguiente es un ecosistema de macro-nivel.

En relación con el tema de las dimensiones, debe observarse que si se grafica el log del perímetro estimado de la poligonal cerrada que define una región, en una determinada escala, en función del log de la longitud del segmento empleado en la estimación (segmento estimador), se tiene una nube de dispersión de pares ordenados. La pendiente de la recta de regresión, permite calcular la dimensión fractal (Spinadel, V.; J. G. Perera y J. H. Perera, 1993), haciendo: $pendiente = 1 - dimensión\ fractal \Rightarrow dimensión\ fractal = 1 - m$ (Fig. AC - 03).

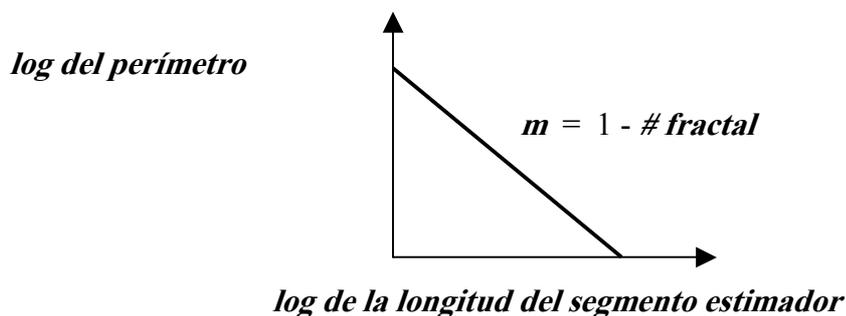


Fig. AC - 03 - CÁLCULO DE LA DIMENSIÓN FRACTAL, COMO PENDIENTE DE UNA RECTA DE REGRESIÓN

Si el grado de complejidad del contorno de un área, varía con la escala, entonces el gráfico doble logarítmico exhibirá un punto de quiebre en correspondencia con la escala a la cual la complejidad del patrón de forma, cambia. En ese punto cambia la dimensión fractal. Si el contorno en escala ecológica pequeña es complejo pero simple en escala ecológica grande, resulta el gráfico que se presenta en la página siguiente (Fig. AC - 04).

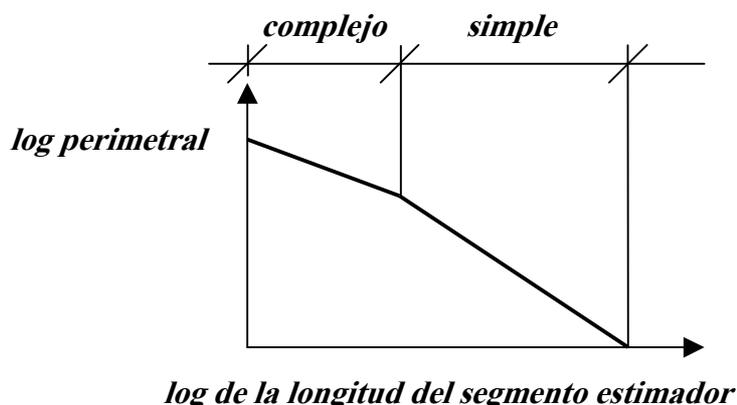


Fig. AC - 04 - RESPUESTA 1 A LA VARIACIÓN CON LA ESCALA, DEL GRADO DE COMPLEJIDAD DEL CONTORNO

Si el contorno es simple a escala ecológica pequeña, pero complejo en gran escala ecológica, se tiene la gráfica siguiente (Fig. AC - 05):

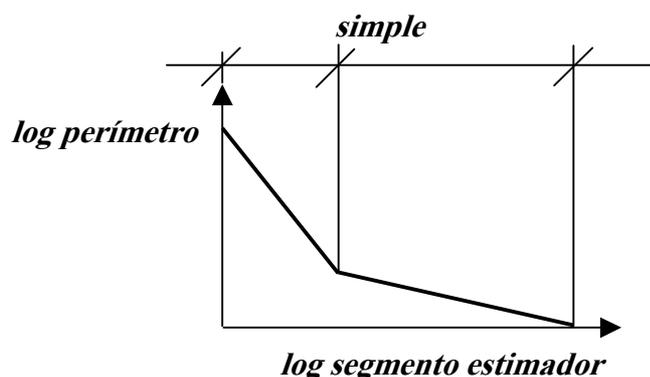


Fig. AC - 05 - RESPUESTA 2 A LA VARIACIÓN CON LA ESCALA, DEL GRADO DE COMPLEJIDAD DEL CONTORNO

En general, en la pequeña escala, el paisaje es influenciado por la actividad humana (ecosistemas dominados por el hombre) y en gran escala, por la topografía determinada por los procesos de glaciación y erosión. En las escalas medias, donde se produce el cambio de la dimensión fractal, el sistema es impredecible. Si r es la relación de escala; N el número de partes y D el exponente, la dimensión fractal de Hausdorff-Besicovitch, se tiene haciendo:

$$N r^D = 1 \Rightarrow D \log r = -\log N \Rightarrow D = \frac{\log N}{-\log r} = \frac{\log N}{\log\left(\frac{1}{r}\right)}$$

La dimensión fractal del conjunto de Cantor, por ejemplo, se calcula considerando que luego de n pasos de escisión-iteración, se tienen $N = 2^n$ segmentos de longitud $r = \left(\frac{1}{3}\right)^n$,

entonces: $D = \frac{\log 2^n}{\log 3^n} = 0,630929753\dots$; en el caso del copo de nieve de Helge von Koch, se

tiene la siguiente dimensión fractal: $D = \frac{\log 4}{\log 3} = 1,261859507\dots$; etc.

El paisaje es el más tangible de los criterios ecológicos; normalmente estudiado en escala humana y consiguientemente, sin auxilio instrumental. El Hombre reconoce con mayor facilidad las circunstancias directamente ligadas a su supervivencia biológica, siendo su percepción del paisaje, el resultado de presiones selectivas. Es razonable suponer que entre otros aspectos, la selección ha operado en el sentido de dotar al ser humano de capacidades predictivas. Como los cambios de escala modifican significativamente los modos y resultados de la percepción, el reconocimiento de patrones de forma y comportamiento, con independencia de la escala particular aplicada, reviste importancia teórica y práctica. En la Naturaleza, los patrones escalonados, asumen las formas siguientes: meandros; espirales; explosiones y sistemas ramificados. El criterio de ecosistema, como el de comunidades, implica complejas relaciones con el de paisaje. La noción del balance de masas se centra en la conservación de materia y energía; en las cantidades ingresadas al sistema y en las que salen o permanecen en él.

La estructura y el comportamiento de las comunidades son el resultado de la evolución por selección natural, la que opera conforme a los principios de competencia, mutualismo y depredación. Los ecosistemas como secuencias de eventos de transformación y transporte de masa, energía, información y entropía, con interacciones temporalmente orientadas a la ejecución de procesos, dependen de entidades evolucionadas. Están particularmente sujetos a funciones de éstas, como la producción primaria y a patrones estables que permiten retener los componentes materiales bajo configuraciones observables, tales como los ciclos bio-geo-químicos. Una comunidad es una estructura dinámica compleja, cuyos elementos son organismos pertenecientes a taxones biológicos, integrados merced a su contigüidad espacial y temporal. Debe observarse que los animales están sujetos a desplazamientos; movimientos migratorios; etc. y que la flora experimenta cambios, tal como ocurre con las sucesiones.

Un sitio en particular, puede ser descrito empleando las especies que en él están presentes. A cada especie se asigna una coordenada, basada en el número de individuos; en el área de la superficie cubierta; en la biomasa seca por encima del terreno; etc. Con n especies, se tiene un espacio n -dimensional. Si se representan dos sitios en el mencionado hiperespacio, la distancia euclídea entre ellos, es la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de las diferencias numéricas sobre cada eje o dimensión del espacio de especies. Se tiene que: $distancia\ euclídea = \{(\Delta esp. 1)^2 + (\Delta esp. 2)^2 + \dots + (\Delta esp. n)^2\}^{1/2}$, donde: $\Delta esp. j = | \text{valor numérico de la especie } j \text{ en el sitio } 2 - \text{valor numérico de la especie } j \text{ en el sitio } 1 |$

La distancia entre dos sitios, en el espacio de especies, puede determinarse también, vectorialmente. Si se analizan varios sitios en un espacio multivariable o multiespecie, puede calcularse el centroide o centro de gravedad de la nube de dispersión, calculándose luego distancias o medidas de dispersión a entidades geométricas o de significado estadístico. En el análisis de conglomerados, pueden conformarse clases que incluyan sitios cuyas comunidades vegetales se compongan de especies botánicamente próximas o idénticas y luego ordenarlas sobre la base de un gradiente para expresar similitudes en función de la proximidad medida. Las etiquetas de filas de las matrices que se obtienen, corresponden a los sitios de observación y los rótulos de columnas a las especies. En un organismo, la integridad u homogeneidad genética corresponde a una manifestación física discreta en el espacio. Las propiedades emergentes de un organismo, además de las mencionadas, son la disposición de subsistemas fisiológicos que realizan funciones de servicio como la circulación de recursos; la coordinación entre las partes; la irritabilidad o respuesta a los estímulos externos y la reproducción con una cierta consistencia genética.

Para Stephen Lenin (1986) el icosaedro (sólido regular con veinte caras triangulares, treinta aristas y doce vértices) es la unidad básica de construcción de los organismos en escalas y niveles de agregación diversos. Los icosaedros pueden agruparse, conformando paquetes de estructuras de mayor nivel. Pueden asimismo disponerse en columnas torsionadas helicoidalmente, cuyo comportamiento resistente es el de barras sometidas a compresión – tracción. Las deformaciones resultantes de las tensiones que definen el estado de carga del elemento resistente, se distribuyen de modo aproximadamente uniforme; esta circunstancia modifica favorablemente las restricciones determinantes de la forma estructural del organismo como sistema mecánico.

James G. Miller sugiere en su Teoría de los Sistemas Vivientes (Miller, J. G., 1978) la existencia de diecinueve subsistemas críticos con roles análogos, en entidades jerarquizadas y altamente organizadas, desde la célula, hasta el sistema político internacional global. Se trata de un enfoque basado en los procesos inherentes a cada jerarquía. Los Subsistemas Críticos de Miller son de tipo general, pero particularmente aplicables a los organismos, tales como células; órganos; organismos y cuatro categorías ascendentes como niveles de sistemas sociales, hasta llegar a la política internacional. Los sub-sistemas críticos, pueden ser ordenados como sigue:

1. Reprodutor: crea nuevas versiones del sistema al cual pertenece;
2. Límites o contornos: contienen al sistema y lo protegen del entorno, permitiendo solamente algunos ingresos.

Procesadores de materia y energía:

3. Ingestor: incorpora o ingiere materiales;
4. Distribuidor: mueve los materiales incorporados al sistema, dentro de éste;
5. Conversor: transforma los ingresos de materia y energía, en formas funcionalmente más convenientes;
6. Productor: crea asociaciones de materiales empleados con fines de reparación y crecimiento;
7. Almacenamiento de materia y energía;
8. Extrusor: expulsa los desechos o residuos;
9. Motor: mueve el todo o las partes;
10. Soporte: mantiene las relaciones espaciales.

Subsistemas de procesamiento de la información:

11. Transductor de ingresos: sensa el entorno o ambiente;
12. Transductor interno: transfiere señales en el interior del sistema, frecuentemente, a un medio diferente;
13. Canal y red: mueve la información en el interior del sistema;
14. Decodificador: convierte señales de ingreso a códigos internos particulares;
15. Asociador: realiza el aprendizaje de primer nivel;
16. Memoria: realiza el aprendizaje de largo plazo;
17. Decisor: es el sistema de información ejecutivo;
18. Codificador: traduce los códigos internos particulares a códigos públicos empleados en el entorno;
19. Transductor de salidas o egresos: envía información al exterior.

Actualmente, se han propuesto otras dos categorías: el temporizador y el contador.

Los estudios de dinámica de poblaciones, orientados a modelizar relaciones inter-específicas de competencia y/o depredación, consideran situaciones de competencia y/o depredación planteadas entre dos especies diferentes, cuyos recuentos corresponden a variaciones de oscilación regular; de oscilación amortiguada; de oscilación amplificada; de comportamiento caótico; etc. Para que un sistema sea caótico, debe ser no lineal, con componentes aleatorios y series de tiempo irregulares. Debe ser asimismo, de comportamiento sensible a las condiciones iniciales; tener atractores extraños; probablemente dimensión fractal; siendo disipativo, entropía de Kolmogorov positiva y coeficientes de Lyapunov positivos. Un sistema caótico, amplifica la señal de entrada y su espectro de potencia, resultante del análisis armónico, se ensancha. La función de autocorrelación $R(\tau) = \sum f(t) f(t + \tau)$ que permite comparar una serie de tiempo con otra, atrasada τ unidades de tiempo, decae si el sistema es caótico al aumentar τ ; es decir, se tiene que: $\lim_{\tau \rightarrow \infty} R(\tau) \mapsto 0$. Esto equivale a afirmar que la señal, sólo se correlaciona con su pasado reciente; consiguientemente en el largo plazo, el sistema es impredecible. El tratamiento teórico de los sistemas caóticos, importa articular recursos de modelización determinísticos y estocásticos, originalmente asociados a las Ciencias Físicas y a las Ciencias Sociales, respectivamente.

Las oscilaciones regulares consideradas en el modelo presa-depredador clásico (Lotka-Volterra), conducen a modos neutros de estabilidad. Los recuentos poblacionales de la presa y del depredador exhiben oscilaciones conforme a un comportamiento periódico, donde la señal que representa las variaciones poblacionales del depredador, se desfasa temporalmente en atraso con respecto a la de la presa. La desviación numérica inicial entre ambos recuentos, persiste en el tiempo y los valores instantáneos de recuento presa-depredador, como par ordenado en un diagrama de fase, no llegan a una situación de equilibrio conjunto, describiendo una trayectoria cerrada. Las dos poblaciones oscilan continuamente con similar amplitud, alrededor de una condición no alcanzable de equilibrio.

Holling introdujo la modificación de hacer oscilar amortiguadamente a ambas poblaciones, las que arriban a un valor de equilibrio, a partir del cual, cada una mantiene su densidad a lo largo del tiempo. En un diagrama de fase, se tiene una trayectoria en espiral que converge a un punto. Poblaciones grandes o pequeñas de la presa o del depredador, pueden generar oscilaciones amplificadas, hasta tanto una población o ambas se extinguen. En el diagrama de fase, se tiene una espiral divergente que cuando intersecta uno de los ejes cartesianos, anula el recuento correspondiente a la otra población. En el origen del sistema bidimensional, las dos poblaciones son cero.

Revisten importancia conceptual las representaciones gráficas de De Wit, donde en un sistema bidimensional de tres ejes cartesianos ortogonales, se consignan respectivamente:

1. Sobre el eje de abscisas, los porcentajes de la especie **A** en la población o comunidad, de 0 % a 100 % y los de la especie **B**, de 100 % a 0 % ;
2. En el eje izquierdo de ordenadas, se tienen dos puntos; uno en cero biomasa para la especie **A** y otro en el valor que corresponda, para el 100 % de la especie **B**;
3. El eje derecho de ordenadas, debe registrar el valor de biomasa correspondiente al 100 % de la especie **A** y en cero, la biomasa de la especie **B**.

Los cuatro puntos, se unen con rectas auxiliares. La recta superior, representaría la variación lineal de la biomasa total, en función del porcentaje de cada especie. Esta situación corresponde a la ausencia de competencia inter o intraespecífica. Las otras dos rectas, representan la variación de la biomasa de cada especie, en función de su porcentaje. En cada extremo del gráfico, se tiene una población pura y en el punto medio del eje de abscisas, 50 % de **A** y 50 % de **B**. La performance de cada especie, analizada por separado, permite inferir que si la gráfica de su biomasa real, está por encima de la recta de referencia inherente a la variación lineal, en el intervalo [0 , 100] para **A** o en el intervalo [100 , 0] para **B**, la competencia intra-específica prevalece sobre la inter-específica. Si los valores observados son inferiores a los esperados, la competencia entre especies, es causa de mayor interferencia que la que ocurre dentro de cada especie.

En relación con el manejo ambiental, pueden formularse tres observaciones vinculadas con los ecosistemas dominados por el hombre: la primera es que las cadenas y redes alimentarias que involucran al hombre, tienen límites difusos y variables; la segunda es que conforme mayor es la intervención humana, mayores las pérdidas ecológicas, como pérdidas materiales y energéticas y la tercera, es que en relación con el pasado histórico, aún los mayores sub-sistemas ecológicos en la biosfera, están hoy fuera o apartados del equilibrio y en un estado de flujo probablemente sin precedentes.

El equilibrio o el desequilibrio, no son estrictamente propiedades de la Naturaleza, sino modos de descripción de ésta. Los cambios menores y rápidos, son absorbidos en virtud de la capacidad de amortiguamiento asociada a la interacción compleja entre las partes del sistema. Los grandes cambios ocurridos durante la historia geológica de la biosfera, han sido en general lentos, permitiendo a los sub-sistemas mayores, acomodarse merced a un desplazamiento hacia otras latitudes, sin necesidad de cambios estructurales. Las modificaciones presentes, de origen antrópico, son rápidas y de gran escala en superficie y magnitud. Consiguientemente, el sistema natural, limitado o impedido en su movilidad, se aparta marcadamente del equilibrio y pierde integridad. Como se expresó precedentemente, el estado de equilibrio no es inherente a la Naturaleza; ésta como sistema complejo, se adapta a las perturbaciones. El Hombre, último incorporado al escenario natural, introduce modificaciones que llevan el sistema a un nivel más alto de organización. Las débiles restricciones iniciales, son substituidas por efecto de la intervención antrópica, por otras que limitan la autonomía de los biomas; de las comunidades mayores; de los principales ecosistemas; de las regiones florísticas y de los grupos faunísticos.

Luego de repetidas perturbaciones, los sistemas complejos robustos incorporan a su dinámica los cambios ocurridos; éstos o sus efectos atenuados, son normalmente elementos activos de la nueva entidad. La organización jerárquica con estructuras antrópicas de nivel superior, impone restricciones que someten a los sub-sistemas naturales a un estado regular de cambio. La actitud de aceptación del prójimo diferente, por parte del ser humano, constituye una acción de la inteligencia en el ejercicio de la voluntad de adaptación y de cooperación bajo condiciones de cambio constante e impredecible. Estos aspectos, hacen al sostenimiento o sustentabilidad del sistema global, donde los procesos vinculan sistemas continuamente dinámicos, inmersos en entornos o ambientes, también, continuamente dinámicos, por ello, el manejo más efectivo de un sistema ecológico, consiste en conocer como el contexto se degrada, para identificar los aportes o servicios que éste debería brindar a la unidad objeto de manejo y consiguientemente subsidiar el contexto, como estrategia de acción indirecta sobre el sistema.

Antes del manejo, la unidad está desconectada del contexto y la intervención estimula el desarrollo del sistema en ausencia de una vinculación con el contexto natural. La unidad debe funcionar sin carencias; éstas han de ser atendidas actuando sobre el contexto. Si el régimen de manejo es efectivo, la unidad manejada maximizará la retribución o retorno a este esfuerzo. Cuando el contexto de un sistema ecológico opera convenientemente, se dan condiciones de homeostásis; la constancia de ésta, asume diversas formas, tales como los ciclos regulares de estados sucesivos o bien la recuperación del sistema frente a perturbaciones repetidas. Ésto implica un suministro de recursos materiales desde el contexto, tanto como una expulsión de materiales y formas degradadas de energía hacia el contexto. En ausencia de éste, el intercambio se interrumpe con degradación del sistema por pérdida de soporte.

Los niveles más altos en una jerarquía mantienen a los niveles más bajos apartados del equilibrio y simultáneamente garantizan un contexto que los protege de la interferencia externa. En esencia, el manejo ecológico es una metodología blanda o mejor, compleja de generación activa de diversos puntos de vista y estrategias de acción, que tienen el propósito de retornar el sistema a alguna condición de funcionamiento sustentable.

El empleo de criterios múltiples, aplica entre otros recursos metodológicos la teoría del campo ecológico que identifica cada posición sobre el terreno, como sujeta a la influencia de acciones o fuerzas bióticas y abióticas. Como pueden establecerse correspondencias con patrones de crecimiento, un individuo vegetal define una superficie de control aproximadamente cónica, cuya altura corresponde a la intensidad de campo de su influencia sobre su espacio de localización y cuya base se asocia a su área de interacción o dominio de influencia. Este criterio permite elaborar mapas de contorno; de isolíneas; etc.

Se utilizan asimismo otros recursos conceptuales de naturaleza topológica, para modelizar las líneas de conexión o de flujo de materiales en los ciclos bio-geo-químicos. En una superficie tórica, por ejemplo, el hueco central puede asimilarse a la estructura ecológica de referencia, donde se hace corresponder con la circunferencia de tangencia del toro, una superficie cilíndrica interna. La traza de la intersección de la superficie tórica con uno de los infinitos planos que contienen al eje de rotación, es un par de circunferencias de igual radio, equidistantes de éste. Un número finito de circunferencias generatrices representará un número finito de ciclos que contienen o incluyen a la estructura de referencia. Cada uno de estos ciclos, incluirá las estructuras que los componen, las que pueden formar parte de ciclos de otras superficies tóricas adyacentes. Se tienen de este modo, estructuras compartidas por dos ciclos y ciclos indirectamente conectados con la estructura de referencia. En conclusión, esta conceptualización topológica, relega a las entidades tangibles al hueco del toro y enfatiza los ciclos intangibles, que conforman la superficie tórica como objeto topológico.

10. 3. 1. 4. - ESTADO DE LOS SISTEMAS TERRESTRES DE SOPORTE DE LA VIDA: en el marco de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (*Millennium Ecosystem Assessment*), coordinada por el Programa Ambiental de las Naciones Unidas (*United Nations Environment Programme*), se ha realizado recientemente, un esfuerzo masivo para documentar el estado de los ecosistemas y su capacidad para brindar servicios al hombre, tales como alimento; abrigo; combustibles; medicinas; etc. Este deja como resultado grandes desafíos y difíciles respuestas (Stokstad, E., 2005). El Informe de Síntesis de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, propone un conjunto de directrices que se tratan seguidamente en forma resumida (Reid, W. V., 2005).

En los últimos 50 años, el hombre ha transformado los ecosistemas más rápida y extensamente que en ningún otro período de tiempo de la historia humana con el que se pueda comparar; en gran medida para resolver rápidamente las demandas crecientes de alimentos; agua dulce; madera; fibra y combustible. Esta transformación del planeta ha aportado considerables beneficios netos para el bienestar humano y el desarrollo económico. Pero no todas las regiones ni todos los grupos de personas se han beneficiado de este proceso; de hecho, a muchos les ha perjudicado. Además, sólo ahora se están poniendo de manifiesto los verdaderos costos asociados con esos beneficios. El número de especies sobre el planeta está disminuyendo. En los últimos siglos, los seres humanos han hecho aumentar la tasa de extinción de especies hasta 1000 veces por encima de las tasas típicas de la historia del planeta. Entre el 10 y el 30% de las especies de mamíferos; aves y anfibios están actualmente amenazadas de extinción. En general, los hábitats de agua dulce tienden a tener la más alta proporción de especies amenazadas de extinción.

De los servicios examinados durante la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio, aproximadamente el 60% (15 de 24) están negativamente afectados, o se aplican de manera no sostenible, con inclusión del agua dulce; la pesca de captura; el suelo y el aire. Ésto incide sobre la regulación del clima regional y local; provoca la pérdida de biodiversidad y la degradación del suelo; incrementa los riesgos naturales y las plagas. Muchos perjuicios son consecuencia de actuaciones llevadas a cabo para aumentar el suministro de otros servicios, como los alimentos. Estas elecciones y arreglos suelen desplazar los costos de la degradación de un grupo de personas a otro, o traspasan los costos a las generaciones futuras. Los cambios que se han hecho en los ecosistemas están aumentando la probabilidad de cambios no-lineales en los mismos (incluidos cambios acelerados, abruptos y potencialmente irreversibles, tales como aparición de enfermedades; eutrofización e hipoxia; colapso de las pesquerías; introducciones y pérdidas de especies; cambio climático regional), con consecuencias importantes para el mantenimiento de la vida humana. Contribuyen asimismo, al aumento de las desigualdades y disparidades entre los grupos de personas, lo que en ocasiones, es el principal factor causante de la pobreza y del conflicto social. Esto no significa que el aumento de la producción de alimentos, por ejemplo, no haya contribuido a que muchas personas salgan de la pobreza o del hambre, pero esos cambios han perjudicado a muchos otros individuos y comunidades, cuya apremiante situación muchas veces se ha pasado por alto.

El consumo de los servicios de los ecosistemas, que ya no es sostenible en muchos casos, continuará aumentando como consecuencia de un crecimiento probable del PIB mundial, de entre tres y seis veces para 2050, a pesar de que se prevé que el crecimiento de la población mundial se hará más lento y se estabilizará a mediados de siglo. No es probable que la mayoría de los importantes generadores directos de cambio en los ecosistemas disminuyan en la primera mitad del siglo, y dos generadores (el cambio climático y la carga excesiva de nutrientes) serán aún más severos. La gestión sostenible de los ecosistemas requiere cambios sustanciales en las instituciones y en las políticas económicas y de incentivos; en los factores sociales; en la tecnología y en la Gestión del Conocimiento.

Se requieren acciones de integración de los objetivos de manejo de los ecosistemas en sectores tales como el agro-forestal, con las finanzas; el comercio y la salud. Debe tenderse al aumento de la transparencia; a la rendición de cuentas de los gobiernos y al control del sector privado en el aprovechamiento de los ecosistemas. Deben asimismo eliminarse los subsidios perversos, regulándose el aumento de la utilización de los instrumentos económicos y de los enfoques basados en el mercado. Han de fortalecerse los grupos que dependen de los servicios de los ecosistemas, a los que afecta su degradación. Deben alentarse las tecnologías que permitan aumentar el rendimiento de las cosechas sin tener consecuencias perjudiciales en el medio ambiente.

Lo que influye más firmemente en la mayoría de las decisiones con respecto a la gestión de los recursos, es la entrada de los servicios de los ecosistemas en los mercados; fruto de ello, los beneficios no comercializados a menudo desaparecen o se degradan. Estos beneficios no comercializados son generalmente más altos y a veces, más valiosos que los comercializados. El valor económico total vinculado a la gestión más sostenible de los ecosistemas, es a menudo más alto que el valor vinculado a la transformación de los ecosistemas mediante la agricultura y ganadería; la tala rasa u otros usos intensivos. La degradación de los servicios de los ecosistemas supone la pérdida de bienes capital, sin embargo, a pesar de que en algunos casos se podría justificar la degradación de algunos servicios, porque producen un beneficio mayor, en otros, la mayor degradación de estos servicios, no es de interés para la sociedad, porque muchos de los servicios degradados tienen entidad de bienes públicos (ver apéndice sobre **BASES CONCEPTUALES Y METODOLÓGICAS PARA UN BALANCE COSTO-BENEFICIO AMBIENTAL Y SOCIAL**).

La agricultura; la pesca y la explotación forestal conformaban antes, la mayor parte de las economías nacionales y el control sobre los recursos naturales predominaba en la programación de las políticas. Pero aunque esas industrias basadas en los recursos naturales siguen siendo generalmente importantes, en el siglo pasado ha aumentado en los países industrializados la importancia económica y política relativa de otras actividades, fruto de la transición en curso de economías agrícolas a economías industriales y de servicios; de la urbanización y del desarrollo de nuevas tecnologías que aumentan la producción de algunos servicios y proporcionan sustitutos de otros. No obstante, la degradación de los servicios de los ecosistemas influye negativamente en la calidad de vida de las regiones industriales y de las poblaciones de los países en desarrollo.

La inercia de los sistemas ecológicos y la separación temporal y espacial de los costos y los beneficios de los cambios de los ecosistemas, a menudo dan lugar a situaciones en las que los individuos que sufren los daños de los cambios, como las futuras generaciones, no son los mismos que los que obtienen los beneficios. Se suma, el agravamiento de la pobreza de algunos individuos y grupos de personas y la contribución al aumento de las desigualdades y disparidades entre comunidades humanas. El patrón de ganadores y perdedores, relacionado con los cambios en los ecosistemas y en particular las repercusiones de estos cambios sobre las personas pobres; las mujeres y los pueblos indígenas, no se han tenido en cuenta adecuadamente en la toma de decisiones relativas a la gestión.

10.3.1.4.1. - Escenarios de Exploración de Futuros Verosímiles para los Ecosistemas y el Bienestar Humano: la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio desarrolló cuatro escenarios, sobre la base de diferentes suposiciones acerca de las fuerzas generadoras de cambio y sus posibles interacciones:

Orquestación Mundial: este escenario presenta una sociedad globalmente interconectada que se concentra en el comercio mundial y la liberalización económica y adopta un enfoque reactivo ante los problemas de los ecosistemas, pero también toma serias medidas para reducir la pobreza y las desigualdades e invierte en cuestiones de interés público, como las infraestructuras y la educación. En este escenario el crecimiento económico es más alto que en cualquiera de los demás y la población en 2050 es la más baja.

Orden Desde la Fuerza: este escenario presenta un mundo regionalizado y fragmentado, preocupado con la seguridad y la protección, que pone énfasis sobre todo en los mercados regionales, prestando poca atención a las cuestiones de interés público y adoptando un enfoque reactivo ante los problemas de los ecosistemas. En este escenario las tasas de crecimiento económico son más bajas que en cualquiera de los demás; particularmente bajas en los países en desarrollo y disminuyen con el tiempo, en tanto que el crecimiento de la población es el más alto.

Mosaico Adaptativo: en este escenario los ecosistemas regionales a escala de las cuencas son el centro de las políticas y de la actividad económica. Se refuerzan las instituciones locales y son comunes las estrategias de gestión de los ecosistemas locales; las sociedades desarrollan un enfoque fuertemente proactivo con respecto a la gestión de los ecosistemas. Las tasas de crecimiento económico son relativamente bajas al principio pero aumentan con el tiempo, mientras que la población en 2050 es casi tan alta como en Orden Desde la Fuerza.

Tecnojardín: este escenario presenta un mundo globalmente interconectado que depende en gran medida de tecnologías confiables, utilizando ecosistemas altamente gestionados, recurriendo frecuentemente a arreglos de ingeniería para obtener los servicios de los ecosistemas, adoptando un enfoque proactivo en la gestión de estos últimos para anticiparse a los problemas. El crecimiento económico es relativamente alto y se acelera, mientras que la población en 2050 está en la mediana de los cuatro escenarios.

Los escenarios precedentes, no constituyen predicciones sino que fueron desarrollados para analizar las características impredecibles del cambio en los generadores y en los servicios de los ecosistemas. Ninguno de los escenarios representa una continuidad de lo que ahora tenemos, si bien todos parten de las condiciones y tendencias actuales. Para desarrollar los escenarios se usaron tanto los modelos cuantitativos como los análisis cualitativos. Para algunos generadores de cambio (tales como el crecimiento económico; los cambios en el uso de la tierra y las emisiones de carbono) y algunos servicios de los ecosistemas (extracciones de agua; producción de alimentos; etc.), los cálculos de las proyecciones cuantitativas se hicieron utilizando modelos ya establecidos que han estado sujetos a la revisión entre pares. Otros generadores de cambio como los ritmos del cambio tecnológico; el crecimiento económico; los servicios de los ecosistemas, particularmente los servicios de apoyo y los culturales; la formación de suelo y las oportunidades recreativas y los indicadores del bienestar humano, como la salud y las relaciones sociales, para los cuales no hay modelos globales apropiados, fueron calculados de manera cualitativa. En general, los modelos cuantitativos utilizados para estos escenarios abordaron los cambios en aumento, pero no pudieron tratar los umbrales; los riesgos de eventos extremos, o las repercusiones en los servicios de los ecosistemas ante cambios significativos, extremadamente costosos o irreversibles. Estos fenómenos fueron tratados cualitativamente mediante la consideración, en cada escenario, de los riesgos y repercusiones de cambios en los ecosistemas muy significativos pero impredecibles.

Tres de los escenarios, Orquestación Mundial; Mosaico Adaptativo y Tecnojardín, incorporan cambios significativos en las políticas destinadas a abordar los desafíos del desarrollo sostenible. En Orquestación Mundial se eliminan las barreras comerciales; se anulan los subsidios que provocan distorsiones y se pone un gran énfasis en la eliminación de la pobreza y el hambre. En Mosaico Adaptativo, para 2010 la mayoría de los países están gastando cerca del 13% del PIB en educación, en comparación con el 3,5% promedio en 2000, y comienzan a proliferar los arreglos institucionales para la transferencia de capacidades y conocimientos entre grupos regionales. En Tecnojardín, se establecen políticas para efectuar pagos a individuos y empresas que brindan o mantienen la provisión de servicios de los ecosistemas. Por ejemplo, en este escenario, para el 2015, un 50% de la agricultura europea y un 10% de la agricultura norteamericana están destinados a equilibrar la producción de alimentos con la producción de otros servicios de los ecosistemas. En este escenario se hacen avances significativos en el desarrollo de tecnologías ambientales destinadas a aumentar la producción de servicios, crear substitutos y reducir las elecciones negativas.

En los cuatro escenarios, los cambios pronosticados en los generadores dan por resultado un significativo aumento del consumo de los servicios de los ecosistemas; una continuada pérdida de biodiversidad y más degradación de algunos servicios de los ecosistemas. Se calcula que durante los próximos 50 años, la demanda de alimentos provenientes de los cultivos aumentará entre 70 y 85% y la demanda de agua entre el 30 y 85%. Se calcula que las tomas de agua en los países en desarrollo aumentarán significativamente, aunque se estima que bajarán en los países industriales. No se alcanza la seguridad alimentaria para 2050, y no se erradica la malnutrición infantil y en algunos de los escenarios se estima que aumentará en algunas regiones, a pesar de un mayor suministro de alimentos y de dietas más diversificadas. En los cuatro escenarios de la Evaluación se calcula que la pérdida de hábitats y otros cambios en los ecosistemas lleva, para 2050, a una merma de la diversidad local de especies nativas. En los escenarios, se estima que a nivel mundial el número de equilibrio de las especies de plantas, se reduce en un 10 a 15% solo como resultado de la pérdida de hábitats durante el periodo de 1970 a 2050 y que otros factores, como el exceso de tomas; las especies invasoras; la contaminación y el cambio climático, incrementarán el ritmo de la extinción.

10.3.1.4.2. - Degradación de los Servicios de los Ecosistemas como Barrera para el Logro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio y de las Metas para el 2015: los Objetivos de Desarrollo del Milenio adoptados por las Naciones Unidas en el 2000, están orientados a mejorar el bienestar humano mediante la reducción de la pobreza; del hambre y de la mortalidad infantil y materna; asegurando la educación para todos; controlando y gestionando las enfermedades; ocupándose de las disparidades de género; garantizando la sostenibilidad ambiental y buscando asociaciones mundiales. Para cada uno de los ODM, los países han adoptado metas que se deben alcanzar en el 2015. Las regiones que se enfrentan a los retos más grandes para alcanzar esas metas son las mismas que se enfrentan a los problemas más serios en cuanto a degradación de los ecosistemas.

Tres de los cuatro escenarios de la Evaluación muestran que con cambios significativos en las políticas; instituciones y prácticas, se pueden mitigar muchas de las consecuencias negativas de las crecientes presiones sobre los ecosistemas, si bien los cambios que se requieren son grandes y en la actualidad no están en marcha. En solo uno de los escenarios (Orden Desde la Fuerza) se pronostica que todos los servicios de provisión; de regulación y culturales estarán en peores condiciones en 2050 que lo que están ahora. En los otros tres escenarios, por lo menos una de las tres categorías de servicios estará en mejores condiciones en el 2050 de que lo que estaba en el 2000. Las acciones del pasado para aminorar o revertir la degradación de los ecosistemas han generado beneficios significativos, pero por lo general estas mejoras no han mantenido el mismo ritmo que las crecientes presiones y demandas.

La degradación de los ecosistemas, raramente puede revertirse sin acciones que aborden los efectos negativos o refuercen los efectos positivos de uno o más de las cinco generadores indirectos del cambio: cambios en la población (incluyendo su crecimiento y las migraciones); cambios en la actividad económica (incluyendo el crecimiento de la economía; las disparidades en la riqueza y los patrones de comercio); los factores sociopolíticos (incluyendo factores que van desde la existencia de conflictos, hasta la participación del público en las decisiones); factores culturales, y cambio tecnológico. Las intervenciones prometedoras incluyen:

- La inclusión de las metas de la gestión de los ecosistemas en otros sectores y dentro de marcos más amplios de la planificación del, y para el desarrollo.

- La mayor coordinación entre los principales acuerdos multilaterales sobre el medio ambiente y entre éstos y otras instituciones internacionales económicas y sociales.
- La mayor transparencia y rendición de cuentas con respecto a la actuación de los gobiernos y del sector privado, en lo relativo a decisiones que tienen una repercusión sobre los ecosistemas, incluso a través de una mayor participación en la toma de decisiones de los interesados directamente involucrados.

10.3.1.4.3. - Ejemplos de Respuestas Prometedoras y Efectivas para Determinados Sectores:

Agricultura:

- Remoción de los subsidios a la producción que tienen efectos económicos; sociales y ambientales adversos.
- Inversiones en difusión de la ciencia y de la tecnología agrícolas que puedan sostener el necesario incremento del suministro de alimentos, sin tener que hacer elecciones dañinas que impliquen un uso excesivo de agua; nutrientes o pesticidas.
- Aplicación de políticas que reconozcan el papel de las mujeres en la producción y en el uso de los alimentos y que estén diseñadas para potenciarlas y asegurarles el acceso a, y el control de los recursos necesarios para la seguridad alimentaria.
- Aplicación de mecanismos que sean una mezcla de regulación; de incentivos y de uso del mercado para reducir la excesiva aplicación de nutrientes.

Pesquerías y Acuicultura:

- Reducción de la capacidad de pesca en los mares.
- Estricta regulación de la pesca marina, tanto en lo relativo al establecimiento y respeto de cuotas de pesca, como en cuanto a pasos para abordar la cuestión de la pesca no declarada y no regulada. En algunos casos pueden ser apropiadas las cuotas individuales transferibles, especialmente para las pesquerías basadas en una sola especie de aguas frías.
- Establecimiento de sistemas de regulación apropiados para reducir los impactos perjudiciales de la acuicultura.
- Establecimiento de áreas marinas protegidas, incluyendo zonas flexibles donde se excluya la pesca.

Agua:

- Pagos por los servicios suministrados por las cuencas.
- Mejor asignación de los derechos de uso de los recursos de agua dulce, para alinear los incentivos con las necesidades de conservación.
- Mayor transparencia en la información relativa a la gestión del agua y mejor representación de los interesados directos que están marginados.
- Desarrollo de mercados del agua. Mayor énfasis en el uso del medio ambiente natural y de las medidas que no sean la construcción de presas y diques para el control de las inundaciones.
- Inversiones en ciencia y tecnología para aumentar la eficiencia del uso del agua en la agricultura.

Sector Forestal:

- Inclusión de prácticas acordadas de gestión forestal sostenible, en las instituciones financieras; reglas del comercio; programas mundiales sobre el medio ambiente y decisiones sobre la seguridad a nivel mundial.
- Potenciación de las comunidades locales en apoyo de iniciativas para el uso sostenible de los productos forestales; tomadas en conjunto, estas iniciativas son más significativas que los esfuerzos encabezados por gobiernos o procesos internacionales, pero requieren el apoyo de éstos últimos para que se generalicen.
- Reforma de la gestión relativa a los bosques y al desarrollo de programas nacionales sobre bosques liderados por los países pertinentes, con un enfoque estratégico, negociado por los interesados directos.

Las intervenciones de tipo económico y financiero, son instrumentos poderosos para regular la utilización de los bienes y servicios de los ecosistemas; incluyen:

- La eliminación de los subsidios que promueven un uso excesivo de los servicios de los ecosistemas y cuando sea posible, la transferencia de esos subsidios al pago por servicios de los ecosistemas que no se comercializan en los mercados.
- Un mayor uso de instrumentos económicos y de enfoques basados en los mercados en la gestión de los servicios de los ecosistemas (impuestos o pago de derechos de uso para actividades con costos “externos”; creación de mercados, incluyendo los sistemas de límite e intercambio o *cap-and-trade*; pagos por los servicios de los ecosistemas; mecanismos que permitan que los consumidores expresen sus preferencias a través de los mercados).

Las respuestas sociales y de comportamiento, incluyendo las políticas demográficas; la educación pública; las acciones de la sociedad civil; la potenciación de las comunidades; la participación de las mujeres y los jóvenes, pueden ser de mérito instrumental en el tratamiento del problema de la degradación de los ecosistemas. Las intervenciones prometedoras incluyen:

- Las medidas para reducir el consumo total de servicios de los ecosistemas gestionados de manera no sostenible.
- La comunicación y la educación.
- La potenciación de los grupos que dependen marcadamente de los servicios de los ecosistemas o que están afectados por su degradación, incluyendo las mujeres; los pueblos indígenas y los jóvenes.

Dada la creciente demanda de servicios de los ecosistemas y las presiones cada vez más intensas sobre el ambiente, es esencial el desarrollo y difusión de tecnologías diseñadas para aumentar la eficiencia en el uso de los recursos, o para reducir las repercusiones de los generadores de cambio, tales como el cambio climático y la carga de nutrientes. Las intervenciones prometedoras incluyen:

- La promoción de tecnologías que permitan mayores rendimientos de las cosechas sin repercusiones negativas relativas al agua; los nutrientes y el uso de plaguicidas.
- La restauración de los servicios de los ecosistemas.
- La promoción de tecnologías para aumentar la eficiencia energética y reducir las emisiones de gases con efecto invernadero.

La efectiva gestión de los ecosistemas se ve limitada tanto por la falta de conocimiento e información acerca de los diferentes aspectos de éstos, como por el uso inadecuado de la información de que se dispone, para tomar decisiones en cuanto a la gestión. Las intervenciones prometedoras incluyen:

- La inclusión de los valores de los ecosistemas que no entran en el mercado, en las decisiones relativas a la gestión y a las inversiones.
- La utilización de todas las formas pertinentes de conocimiento e información en las evaluaciones y en la toma de decisiones, incluido el conocimiento tradicional y el de los que actúan en el terreno.
- El refuerzo y mantenimiento de la capacidad humana e institucional para evaluar las consecuencias para el bienestar humano, del cambio en los ecosistemas, actuando a partir del resultado de esas evaluaciones.

Puede utilizarse una variedad de marcos y métodos para tomar mejores decisiones frente a la incertidumbre, en cuanto a los datos; las predicciones; el contexto y la escala. La gestión activa adaptativa, puede ser un instrumento particularmente valioso para reducir la incertidumbre acerca de las decisiones relativas a la gestión de los ecosistemas.

10. 3. 2. - ALGORITMOS GENÉTICOS

10. 3. 2. 01. - INTRODUCCIÓN: la primera monografía sobre Algoritmos Genéticos, es la de John H. Holland; su título puede traducirse como: “Adaptación en Sistemas Naturales y Artificiales”. Los Algoritmos Genéticos (A. G.), operan satisfactoriamente en problemas de optimización que requieren una búsqueda efectiva y eficiente de extremados de funciones; por ello, han encontrado aceptación en ciencia, ingeniería y en el ámbito de los negocios. El número creciente de aplicaciones, se debe a que son algoritmos de búsqueda robustos y computacionalmente simples. No están limitados por supuestos restrictivos sobre el espacio de búsqueda, tales como los referidos a continuidad; existencia de derivadas, unimodalidad y otros (Goldberg, D. E., 1989).

En relación con la robustez de los métodos de optimización y de búsqueda tradicionales, cabe distinguir entre tres tipos principales:

- Los basados en el Cálculo, que se subdividen en dos clases principales: indirectos y directos. Los métodos indirectos buscan el extremo local, resolviendo un conjunto no lineal de ecuaciones, resultantes de igualar a cero la pendiente de la función objetivo. Es una generalización multidimensional de la noción del cálculo de puntos extremos o extremados. Los métodos directos, buscan un óptimo local de la función, mediante una estrategia asimilable al escalamiento de montañas, según una dirección permitida. Ambos métodos han sido mejorados y generalizados; sin embargo, no son robustos, por estar focalizados en la búsqueda de un óptimo en la vecindad de una posición inicial. Esta búsqueda puede conducir hacia una cumbre o extremo local, diferente del objetivo principal que es el pico más alto. Estos métodos dependen de la existencia de derivadas.

El mundo real de búsqueda presenta discontinuidades y espacios multimodales y ruidosos; consiguientemente, los métodos con restricciones de continuidad y existencia de derivadas, adecuados en un dominio limitado de problemas de búsqueda local, son insuficientemente robustos en dominios indeterminados.

- Los esquemas enumerativos, dentro de un espacio de búsqueda finito o de un espacio de búsqueda infinito discretizado, emplean algoritmos que comienzan considerando una función objetivo que evalúa cada punto en el espacio, a razón de uno por vez. Aunque simples y basados en una estrategia intuitiva, cuando el número de posibilidades crece en espacios grandes, se hacen ineficientes.
- Los algoritmos de búsqueda al azar, de creciente popularidad, emplean un código que opera en un espacio parametrizado. Otra técnica de búsqueda conocida como *simulated annealing* (fortalecimiento simulado) usa procesos al azar para ayudar a guiar la búsqueda de estados de energía mínimos. Debe observarse en conexión con el método de fortalecimiento simulado y los A. G., que la búsqueda azarosa no necesariamente implica una búsqueda no direccionada.

La circunstancia de no ser robustos los métodos de búsqueda tradicionales, no implica que no sean útiles. Los esquemas mencionados; las combinaciones híbridas y las permutaciones han sido usados exitosamente en muchas aplicaciones. Antes de examinar los mecanismos y la potencia de un Algoritmo Genético Simple (A. G. S.), corresponde precisar el significado de optimizar una función o un proceso. La optimización procura que una actividad sea hecha del mejor modo (con los mayores beneficios y/o los menores costos; en el menor tiempo; etc.). La teoría de la optimización se ocupa del estudio cuantitativo del óptimo y de los métodos para encontrarlo. Toda mejora en eficiencia, implica el proceso de mejora y el destino u óptimo mismo, expresado con la noción de convergencia sobre la meta. La más importante meta de la optimización es mejorar. El logro del óptimo es menos importante para sistemas complejos.

Los A. G. son diferentes de los procedimientos tradicionales de optimización y búsqueda, en cuatro aspectos:

- Los A. G. trabajan con códigos de un conjunto de parámetros; no con los parámetros mismos.
- Los A. G. buscan a partir de una población de puntos; no desde un punto simple.
- Los A. G. usan información referida al *payoff* (función objetivo); no derivadas u otros recursos formales.
- Los A. G. emplean reglas de transición probabilísticas; no reglas determinísticas.

Los A. G. requieren un conjunto de parámetros naturales para ser codificados como cadenas (*strings*) de longitud finita, con un alfabeto finito. Como ejemplo, considérese el problema de maximizar la función $f(x) = x^2$ en el intervalo entero $[0, 31]$. El primer paso del proceso de optimización, consiste en codificar el parámetro x como una *string* de longitud finita; por ejemplo, de cinco *bits*. El objetivo de este problema es poner los interruptores (*switches*) de una caja negra, de modo de obtener el máximo valor posible de f . Un simple código puede ser generado al considerar una cadena de 0's y 1's donde cada uno de los cinco *switches* se representa por un 1 si el *switch* está en *on* y por un 0 si el *switch* está en *off*. Con este código, la cadena 11110 codifica el agrupamiento (*setting*) donde los primeros cuatro *switches* están en *on* y el quinto interruptor está en *off*. Posteriormente, se verá como los A. G. hacen uso en forma general, de similitudes de códigos. Como resultado de ello, no están limitados por exigencias de continuidad; existencia de derivadas; unimodalidad; etc.

En numerosos métodos de optimización, puede pasarse desde un punto simple en el espacio de decisión, al siguiente usando reglas de transición. Este operar punto a punto, entraña el peligro de alcanzar cumbres falsas en espacios de búsqueda multimodales o de muchas cumbres. Por el contrario, los A. G. trabajan a partir de una base de datos de puntos o población de cadenas, simultáneamente, escalando en paralelo, diferentes cumbres. De este modo, la probabilidad de encontrar una cumbre falsa, se reduce en relación con los otros métodos, que van punto a punto. En el problema de optimización de la caja negra, otras técnicas empezarían con un conjunto de *settings* de *switches*, y aplicando reglas de transición, generarían un nuevo *setting* de *switches*. Un A. G. comienza con una población de cadenas y después, da lugar a sucesivas poblaciones de cadenas. En el problema de los 5 *switches*, un inicio al azar basado en sucesivos tiros de monedas (cara = 1, sello = 0), podría generar la pequeña población inicial de tamaño

n = 4 : 01101
 11000
 01000
 10011

Luego de este comienzo, se generan poblaciones sucesivas. Al operar a partir de la diversidad de una población bien adaptada, en lugar de un simple punto, el A. G. aprovecha los beneficios de los grandes números. Las técnicas de búsqueda en general, requieren información auxiliar para operar apropiadamente. Por ejemplo, las basadas en gradientes emplean derivadas, calculadas analítica o numéricamente, para alcanzar los extremados. Otros procedimientos de búsqueda local como las técnicas de optimización combinatoria, requieren acceder a la mayoría sino a todos los parámetros tabulares. Por el contrario, los A. G. no necesitan de toda esta información auxiliar; para efectuar una búsqueda efectiva de mejores estructuras, sólo requieren valores *payoff* (valores de la función objetivo), asociados con cadenas individuales. Los A. G. usan reglas probabilísticas de transición, para guiar su búsqueda hacia regiones con mejoras del espacio de búsqueda.

Las cuatro diferencias antes mencionadas: uso directo de un código; búsqueda desde una población; empleo de información referida a la función objetivo y operadores estocásticos, contribuyen a la robustez de los A. G. y resultan una ventaja sobre otras técnicas más comúnmente usadas. Los mecanismos empleados en un A. G. S., son sencillos; involucran el copiado y la permutación parcial de cadenas.

Retomando el problema de la caja negra, con una población inicial de cuatro cadenas: 01101; 11000; 01000; 10011, elegidas al azar mediante veinte lanzamientos sucesivos de una moneda honrada, debe definirse un conjunto de operaciones simples que, partiendo de esta población, genere sucesivas poblaciones que mejoren de una a la siguiente. En su forma simple, cada individuo en la población consiste de una cadena de dígitos binarios (*bits*). Por analogía con los sistemas biológicos, la cadena de *bits* se considera el genotipo. Cada individuo consiste del material genético que se organiza en un cromosoma haploide (perteneciente a un conjunto simple de cromosomas). Cada posición de *bit* (puesta en 0 o en 1) representa un gen. No es forzoso que la población inicial de individuos sea generada al azar.

El mérito de cada individuo se evalúa empíricamente en un ambiente o entorno (por simulación en computadora; por interacciones con otros individuos de la población o con el mundo físico o bien mediante un juicio subjetivo) y se le asigna una calificación numérica, empleando una función de adaptabilidad. Luego de definir la población inicial con sus respectivos individuos, debe establecerse un conjunto de operaciones simples que sobre esta población inicial, generen sucesivas poblaciones, que se espera mejoren en función del tiempo.

10. 3. 2. 02. - OPERADORES EMPLEADOS EN LOS ALGORITMOS GENÉTICOS: un A. G. S. que produce buenos resultados en problemas prácticos, emplea tres operadores:

1 - Reproducción: proceso por el cual las cadenas de individuos se copian de acuerdo a los valores de la función objetivo de adaptabilidad f (medida del beneficio; utilidad o bondad que se quiere maximizar). Ésta determina, cómo cada gen o *bit* de un individuo será interpretado. Copiar cadenas de acuerdo a sus valores de adaptabilidad significa que las cadenas con un alto valor, tienen una elevada probabilidad de contribuir con uno o más descendientes en la próxima generación. La función objetivo es el criterio final de supervivencia de las cadenas-individuos. Este operador, es una versión artificial del mecanismo de selección natural, que determina la supervivencia del más apto.

En poblaciones naturales la adaptabilidad está determinada por la habilidad de un individuo de sobrevivir a los depredadores; las plagas y enfermedades y a otros obstáculos. Una forma de implementar el operador de reproducción, es mediante una rueda de ruleta donde cada cadena de la población tiene un sector de ranuras de la rueda, proporcionalmente asignado a su adaptabilidad. El operador de reproducción puede ser aplicado en forma algorítmica, de diversos modos. En la población del problema con cuatro cadenas, la función objetivo o función de adaptación-evaluación, toma los valores que se indican en la **Tabla AAG - 01** (interinamente, se aceptan los valores consignados, como la salida de una caja negra *arbitraria*). Sumando la adaptabilidad o evaluación de todas las cadenas, se obtiene un total de 1170; indicándose también en la **Tabla AAG - 01**, el porcentaje de evaluación sobre el referido total.

Tabla AAG - 01 – CADENAS; VALORES DE LA FUNCIÓN DE EVALUACIÓN Y PORCENTAJES, CORRESPONDIENTES A LA POBLACIÓN DE TAMAÑO 4 DEL EJEMPLO.

Número:	Cadena:	Función de Evaluación:	% del Total:
1	01101	169	14,4
2	11000	576	49,2
3	01000	64	5,5
4	10011	361	30,9

Para la reproducción, se gira la rueda de la ruleta sesgada, cuatro veces. La cadena número 1 tiene un valor de evaluación de 169 , el cual representa el 14,4 % del total de adaptabilidad. Como resultado, a la cadena 1 se asigna un 14,4 % del total de sectores de la rueda de la ruleta; consiguientemente, en cada prueba, la cadena número 1 , tiene una probabilidad de 0,144 de ser favorecida. Las cadenas con evaluación más alta, tienen un número mayor de descendientes en la siguiente generación. Una vez que se selecciona una cadena para la reproducción se hace una copia exacta y se la coloca en una lista de apareamiento para la acción del próximo operador.

2 - Sobrecruzamiento o entrecruzamiento: en la reproducción muchos de los cromosomas son idénticos o poco diferentes de las generaciones previas ya que este operador, sólo produce copias. En cambio el entrecruzamiento combina segmentos de los cromosomas y produce otros nuevos, manteniendo muchos de los rasgos de las generaciones previas. Puede procederse en dos pasos, de modo que los miembros de cadenas recientemente reproducidas e incorporadas a la lista de apareamiento, se reúnan de a pares al azar, para lo cual se puede usar o simular un procedimiento aleatorio como el lanzamiento de una moneda. Luego, cada par de cadenas sufre un cruce como sigue: se selecciona al azar una posición entera k , entre uno y la longitud de la cadena menos uno $[1, l-1]$. Las nuevas cadenas se crean intercambiando sus caracteres entre las posiciones $k+1$ y l , inclusive.

Si se consideran las cadenas $A1 = 01101$ y $A2 = 11000$ de la población inicial del ejemplo y se supone que al elegir un número al azar entre 1 y 4 , se obtiene un $k = 4$ (como se indica por el símbolo separador |), se tiene:

$$\left\{ \begin{array}{l} A1 = 0110|1 \\ A2 = 1100|0, \text{ el entrecruzamiento resultante,} \\ A1' = 01100 \\ A2' = 11001 \end{array} \right.$$

produce dos nuevas cadenas donde los Ai' significan las cadenas que son parte de una nueva generación:

Los mecanismos de reproducción y entrecruzamiento, son simples e involucran la generación de números al azar; copias de cadenas y copias parciales de cadenas. El proceso de reproducción y entrecruzamiento en un A. G. es una forma de intercambio. Los atributos de mejor performance son repetidamente evaluados e intercambiados con el propósito de lograr mejores resultados.

3 - La mutación natural o artificial, es la alteración al azar de un valor en una posición de la cadena. Tiene baja probabilidad de ocurrencia y juega un rol secundario en la operación de un A. G., contribuyendo a evitar la pérdida de algún material genético útil (1's o 0's en ubicaciones particulares); es una regla segura contra pérdidas prematuras de caracteres importantes. En código binario, solamente significa cambiar un 1 por un 0 y viceversa. Las mutaciones en los *bits* de mayor orden (los ubicados más a la izquierda) son más significativas que las mutaciones en los *bits* de menor orden. Esto puede contradecir la idea de que las cadenas de *bits* en sucesivas generaciones tienen mejor chance que el promedio de adaptabilidad alta, porque las mutaciones pueden ser destructivas. El operador de mutación, como mecanismo adaptativo, actúa con una frecuencia del orden de una mutación por mil transferencias de *bits* (posiciones). Las tasas de mutación son similares o más pequeñas en poblaciones naturales. La mayoría de las implementaciones de este operador, cambian al azar un número fijado de *bits* en cada generación, sobre la base de una probabilidad de mutación especificada.

Los operadores genéticos y las estrategias reproductivas han sido extraídos de mecanismos biológicos; son computacionalmente simples y efectivos en problemas de optimización. Se aplicarán en la resolución de un problema de optimización, que consiste en maximizar la función $f(x) = x^2$, donde x varía entre 0 y 31. Para usar un A. G. S., se deben primero codificar variables de decisión del problema, como alguna cadena de longitud finita. En este problema, se codifica la variable x como un entero binario sin signo, de longitud 5, con el que pueden obtenerse números entre 0 (00000) y 31 (11111). Con una función objetivo bien definida y un código, se simula luego, una generación del A. G. S., empleando reproducción, entrecruzamiento y mutación. Se selecciona inicialmente, una población al azar de tamaño cuatro ($n = 4$), lanzando una moneda honrada veinte veces. Las **Tablas AAG - 02** y **03**, presentan la población inicial y la que se obtiene en la generación siguiente; los valores decodificados de x ; los de la función objetivo; algunos parámetros poblacionales; etc.

Tabla AAG - 02 - POBLACIÓN INICIAL; VALOR DE x ; $f_i(x)$; PROBABILIDAD DE QUE LA CADENA SEA SELECCIONADA, $P_{selec.} = f_i(x) / \sum f_i(x)$; RECuento ESPERADO: $f_i(x) / f(x)$, DONDE $f(x)$ ES EL VALOR PROMEDIO DE LA FUNCIÓN DE EVALUACIÓN Y NÚMERO DE EJEMPLARES DE CADA CADENA EN LA LISTA DE APAREAMIENTO

CADENA NÚMERO:	POBLACIÓN INICIAL:	VALOR DE x	$f_i(x) = x^2$	$P_{selec.} = f_i(x) / \sum f_i(x)$	$f_i(x) / f(x)$	NRO. CADENA EN LISTA DE APAREAM.
1	01101	13	169	0,14	0.58	1
2	11000	24	576	0,49	1.97	2
3	01000	8	64	0,06	0.22	0
4	10011	19	361	0,31	1.23	1
SUMA:			1170	1,00	4,00	4
PROMEDIO:			293	0,25	1,00	1
MÁXIMO:			576	0,49	1,97	2

Tabla AAG-03- LISTA DE APAREAMIENTO LUEGO DE LA REPRODUCCIÓN; SELECCIÓN ALEATORIA DE PAREJAS DE CADENAS; UBICACIÓN DEL ENTRECRUZAMIENTO; NUEVA POBLACIÓN; VALOR DE x Y $f_i(x)$ PARA LA NUEVA POBLACIÓN

LISTA DE APAREAM.	PAREJA SELECCIÓN	UBICACIÓN ENTRECRUZAM.	NUEVA POBLACIÓN	VALOR DE x	$f_i(x)$
0110|1	2	4	01100	12	144
1100|0	1	4	11001	25	625
11|000	4	2	11011	27	729
10|011	2	2	10000	16	256
SUMA:					1754
PROMEDIO:					439
MÁXIMO:					729

Los valores de adaptabilidad o de la función de evaluación $f(x)$, son calculados a partir de una cadena como representación de atributos; por ejemplo, la tercera *string* de la población inicial, es la cadena 01000. Al decodificarla como entero binario sin signo, se obtiene $x = 8$. Haciendo $f(x) = x^2$, resulta: $f(x) = 8^2 = 64$; etc.

Una generación de un A. G. comienza con la reproducción. Se selecciona la lista de apareamiento para la próxima generación, al girar la rueda ponderada de la ruleta cuatro veces. La simulación de este proceso, da como resultado que la cadena 1 y la cadena 4 reciban una copia cada una en la lista de apareamiento; la cadena 2 tenga dos copias y la cadena 3 no sea copiada. Comparando este resultado, con el número esperado de copias, se advierte la concordancia: del mejor, se hacen más copias; las cadenas promedio, permanecen y el peor desaparece.

El entrecruzamiento procede en dos etapas: primero, las cadenas son apareadas al azar y luego las parejas de cadenas apareadas son objeto de entrecruzamiento en sitios escogidos aleatoriamente. El último operador, la mutación, se ejecuta *bit por bit*. Se asume que la probabilidad de mutación es de 0,001. Con 20 posiciones de *bits* se esperarían $(20)(0.001) = 0,02$ *bits* mutantes durante una generación dada. Consiguientemente, la simulación de este proceso, no introduce modificaciones por mutación; es decir, ninguna posición de *bit* es cambiada desde un 0 a un 1 o viceversa, durante esta generación. Una vez cumplidas la reproducción, el entrecruzamiento y la mutación, la nueva población está en condiciones de ser evaluada. Para ello, se decodifican las nuevas cadenas creadas por el A. G. S. y se calculan los valores de la función objetivo. La performance máxima y el promedio mejoran en la nueva población. La adaptabilidad promedio, se ha incrementado desde 293 a 439 en una generación y la adaptabilidad máxima, desde 576 a 729 durante el mismo período.

Los procedimientos de búsqueda pueden mejorarse si se consideran similitudes en los códigos empleados; ésto conduce a la noción de modelos de similitud o esquemas y a la hipótesis de bloques de construcción. En un proceso de búsqueda, como el ilustrado en la **TABLA 1**, dados los datos de evaluación (valores de adaptabilidad), interesa conocer la información contenida en una población de cadenas y los valores de la función objetivo. Observando la columna de las cadenas, se encuentran ciertas similitudes; determinados patrones parecen asociados con buena performance; por ejemplo, en la población de prueba, las cadenas que comienzan con un 1 parecen estar entre las mejores.

Se buscan similitudes entre las cadenas de la población y relaciones causales entre esas similitudes y alta adaptabilidad. El esquema (*schema*) o patrón de similitud en ciertas posiciones de las cadenas más adaptadas, puede ayudar a guiar la búsqueda. Al alfabeto binario {0, 1}, por ejemplo, se añade un símbolo especial; el asterisco (*) con el significado de no importa cual sea el valor del dígito ubicado en esa posición. Con este alfabeto ternario {0, 1, *} o extendido, pueden crearse esquemas de cadenas (*schemata*) que equiparan una cadena particular con un patrón. Si para cada posición en el esquema donde aparezca un 1 o un 0, se tiene un 1 o un 0 en la cadena, se procede a la equiparación; un *, se equipara indistintamente con un 1 o con un 0.

A modo de ejemplo considérense cadenas y esquemas de longitud 5. El esquema *0000, equipara dos cadenas: {10000, 00000}; el esquema *111* describe un subconjunto con 4 miembros {01110, 01111, 11110, 11111}. El esquema 0*1** se equipara con cualquiera de las 8 cadenas de longitud 5 que comienzan con un 0 y tienen un 1 en la tercera posición. El * es solo un meta-símbolo o un símbolo sobre otros símbolos; no es explícitamente procesado por el A. G. Constituye un recurso de notación que permite una descripción de todas las posibles similitudes entre las cadenas de una longitud y alfabeto particular.

Con $l = 5$, hay $(3)(3)(3)(3)(3) = 3^5 = 243$ modelos de similitud diferentes, pues cada una de las cinco posiciones puede ser un 0, un 1 o un *. En general, para alfabetos de cardinalidad o número de caracteres del alfabeto k , hay $(k + 1)^l$ esquemas; para un alfabeto con k elementos hay solo k^l cadenas diferentes de longitud l . Es posible establecer una correspondencia entre los sistemas genéticos naturales y los artificiales, tal como ilustra la **Tabla AAG - 04** :

Tabla AAG - 04 – CORRESPONDENCIA ENTRE EL LENGUAJE EMPLEADO EN LOS SISTEMAS GENÉTICOS NATURALES Y LOS ARTIFICIALES:

TERMINOLOGÍA NATURAL:	TERMINOLOGÍA DE LOS A. G.:
Cromosoma	Cadena
Gen	Rasgo o carácter
Alelo	Valor del rasgo o carácter
Locus	Posición en la cadena
Genotipo	Estructura
Fenotipo	Conjunto de parámetros
Epistasis	No-linealidad

10. 3. 2. 03. - FUNDAMENTOS MATEMÁTICOS DE LOS A. G.: la operación de un A. G. S. comienza con una población aleatoria de n cadenas; copia las mejores cadenas; las aparea; intercambia parcialmente subcadenas y muta ocasionalmente el valor de un *bit*. Este procesamiento explícito de cadenas causa el procesamiento implícito de esquemas durante cada generación. Para analizar el crecimiento o decaimiento de los esquemas contenidos en una población, se aplica una notación simple. Las operaciones de reproducción, entrecruzamiento y mutación actúan sobre los esquemas contenidos en una población de cadenas construidas empleando el alfabeto binario $V = \{0, 1\}$. Se hace referencia a las cadenas mediante letras mayúsculas y a los caracteres individuales con letras minúsculas subindizadas según su posición.

La cadena de siete *bits* $A = 0111000$ puede ser representada simbólicamente como sigue: $A = a_1 a_2 a_3 a_4 a_5 a_6 a_7$. Cada a_i corresponde a una característica o atributo binario simple, donde cada carácter puede tomar un valor 0 o 1. En la cadena particular $A = 0111000$, $a_1 = 0$, $a_2 = 1$, etc. Ésto es también posible para cadenas donde los atributos o características no están ordenados secuencialmente como en la cadena A . Por ejemplo, la cadena A' podría tener el siguiente orden: $A' = a_2 a_6 a_4 a_3 a_7 a_1 a_5$.

La búsqueda genética requiere una población de cadenas. Las cadenas individuales A_j , $j = 1, 2, \dots, n$, están contenidas en la población $A(t)$ al tiempo o generación t . Además de la notación empleada en poblaciones; cadenas; posiciones de *bits* y alelos, se necesita una notación conveniente para describir los esquemas contenidos en cadenas y poblaciones individuales. Se consideran los esquemas H tomados del alfabeto de tres letras $V+ = \{0, 1, *\}$, donde el símbolo adicional $*$ (asterisco) puede tomar indistintamente los valores 0 o 1, en una posición particular. Algunos esquemas son más específicos que otros. Por ejemplo el esquema $0111*1**$ es más definido en cuanto a la similaridad que el esquema $0*****$. Ciertos esquemas abarcan más posiciones de la longitud total de la cadena que otros; por ejemplo, el esquema $1****1*$ abarca una porción más larga de cadena que el esquema $1*1****$. Para cuantificar estas ideas, se introducen dos propiedades del esquema: orden y longitud de definición del esquema. El orden de un esquema H , denotado por $o(H)$, es el número de posiciones fijas (en un alfabeto binario, el número de 1's y 0's) presentes en la plantilla. El orden del esquema $011*1**$ es 4; simbólicamente $o(011*1**) = 4$, mientras que el orden del esquema $0*****$ es 1. La longitud de definición de un esquema H , denotada por $\delta(H)$, es la distancia entre la primera y la última posición específica de la cadena. Por ejemplo, el esquema $011*1**$ tiene una longitud de definición $\delta = 4$ ya que la última posición específica es 5 y la primera es 1; entonces, la distancia entre ellas es $\delta(H) = 5 - 1 = 4$. En el esquema $0*****$ la longitud de definición es cero, puesto que hay una sola posición fija; la primera y la última posición fija son las mismas, consiguientemente la longitud de definición es $\delta = 0$.

Considerando el efecto individual y combinado de la reproducción, entrecruzamiento y mutación en los esquemas contenidos dentro de una población de cadenas, se observa que el efecto de la reproducción sobre el número esperado de esquemas en la población es fácil de determinar. Si a un dado tiempo t existen m ejemplares de un esquema particular H contenidos dentro de la población $A(t)$, donde $m = m(H, t)$ (pueden existir distintas cantidades del esquema H en tiempos t diferentes). Durante la reproducción, una cadena es copiada de acuerdo a su evaluación, más precisamente, una cadena A_i es seleccionada con probabilidad $p_i = f_i / \sum f_j$. Después de la selección de una población no superpuesta de tamaño n , a partir de la población $A(t)$, se espera tener $m(H, t+1)$ representantes del esquema H en la población al tiempo $t+1$, dado por la ecuación:

$$m(H, t+1) = [m(H, t)] (n) \left[\frac{f(H)}{\sum f_j} \right], \text{ siendo } f(H) \text{ la evaluación promedio de las}$$

cadenas representantes del esquema H al tiempo t . El valor de adaptación promedio de toda la población puede ser escrito como $\bar{f} = \sum f_j / n$; entonces la ecuación de crecimiento

reproductivo del esquema puede expresarse como sigue: $m(H, t+1) = m(H, t) \frac{f(H)}{\bar{f}}$.

Un esquema particular crece como una proporción del valor de ajuste promedio del esquema al valor de ajuste promedio de la población. Los esquemas con valores de ajuste por encima del promedio de la población, tendrán un número mayor de ejemplares en la próxima generación, mientras que esquemas con valores de ajuste por debajo del promedio de la población estarán en número menor.

El entrecruzamiento es una estructura de intercambio aleatorio de información entre cadenas; crea nuevas estructuras con un mínimo de perturbación en la estrategia de asignación, dictada por la reproducción solamente. Para ver cuáles esquemas son afectados por el *crossover* y cuáles no, se considera una cadena particular de longitud $l = 7$ y dos esquemas representativos de esta cadena:

$$A = 0111000$$

$$H_1 = *1****0$$

$$H_2 = ***10** ; \text{ estos dos esquemas, } H_1 \text{ y } H_2 \text{ están}$$

representados en la cadena A y para cuantificar el efecto del entrecruzamiento, luego de la selección aleatoria de apareamiento, se determina al azar el sitio de cruce; procediéndose luego al intercambio de subcadenas. Si en la cadena A , de longitud $l = 7$, resulta que el sitio de entrecruzamiento, se ubica entre el tercero y el cuarto *bit*, se tiene:

$$A = 011|1000$$

$$H_1 = *1*|***0$$

$$H_2 = ***|10**$$

A menos que la cadena que se aparee con A sea idéntica a ésta en las posiciones fijas del esquema, el esquema H_1 será modificado, ya que el 1 en la posición 2 y el 0 en la posición 7, serán ubicados en diferentes descendientes. Con el mismo punto de corte, el esquema H_2 sobrevivirá debido a que el 1 en la posición 4 y el 0 en la posición 5, serán copiados intactos en la descendencia. Aunque se ha usado un punto de corte específico para el ejemplo, el esquema H_1 es menos probable que sobreviva al entrecruzamiento, que el esquema H_2 , ya que, en promedio, existe una mayor probabilidad de que el punto de corte resulte entre las posiciones fijas extremas.

Para cuantificar esta observación, nótese que el esquema H_1 tiene una longitud de definición de 5. Si el sitio de cruce es seleccionado aleatoriamente en forma uniforme entre $l - 1 = 7 - 1 = 6$ sitios posibles, entonces el esquema H_1 es destruido con una probabilidad $p_d = \delta(H_1) / (l - 1) = 5 / 6$ (sobrevive con probabilidad $p_s = 1 - p_d = 1 / 6$). El esquema H_2 tiene una longitud de definición $\delta(H_2) = 1$ y es destruido con una probabilidad $p_d = 1 / 6$ y sobrevive con $p_s = 1 - p_d = 5 / 6$.

Ya que un esquema sobrevive cuando el sitio de cruce resulta fuera de la longitud de definición, la probabilidad de sobrevivir al operador de entrecruzamiento es: $p_s = 1 - \delta(H) / (l - 1)$ y el esquema será destruido siempre que el cruce esté dentro de la longitud de definición, es decir, en los $l - 1$ sitios posibles.

Si el entrecruzamiento se realiza por selección aleatoria, con probabilidad p_c en un apareamiento particular, la probabilidad de sobrevivir esta dada por la expresión:

$$p_s \geq 1 - p_c \frac{\delta(H)}{l - 1} .$$

El efecto combinado de la reproducción y el entrecruzamiento, se muestra en la ecuación:

$$m(H, t+1) \geq m(H, t) \frac{f(H)}{\bar{f}} \left[1 - p_c \frac{\delta(H)}{l-1} \right]$$

El esquema H crece o decae dependiendo tanto de que si el esquema está por encima o por debajo del promedio de la población y de que si el esquema tiene corta longitud de definición.

El último operador a considerar es la mutación, alteración aleatoria de una simple posición con probabilidad p_m . Ya que un alelo sobrevive con probabilidad $(1 - p_m)$ y cada mutación es estadísticamente independiente, un esquema particular sobrevive cuando cada una de las $o(H)$ posiciones fijas dentro del esquema, sobrevive. Multiplicando la probabilidad de supervivencia $(1 - p_m)$ por $o(H)$ veces, se obtiene la probabilidad de supervivencia a la mutación, $(1 - p_m)^{o(H)}$. Para valores pequeños de p_m ($p_m \ll 1$), la probabilidad de sobrevivir del esquema esta dada por la expresión $1 - o(H) * p_m$.

Un esquema H recibe un número esperado de copias en la siguiente generación bajo reproducción, entrecruzamiento y mutación como lo muestra la siguiente ecuación:

$$m(H, t+1) \geq m(H, t) \frac{f(H)}{\bar{f}} \left[1 - p_c \frac{\delta(H)}{l-1} - o(H) p_m \right]$$

Los esquemas con longitud de definición corta; bajo orden y promedio alto, reciben un número de cadenas, exponencialmente creciente en las generaciones siguientes. A esta conclusión se da el nombre de Teorema de Esquema o Teorema Fundamental de los Algoritmos Genéticos. La **Tabla AAG - 05**, ilustra numéricamente, el Teorema Fundamental de los A. G.

Tabla AAG - 05 – ILUSTRACIÓN NUMÉRICA DEL TEOREMA FUNDAMENTAL DE LOS ALGORITMOS GENÉTICOS:

CADENA Nº	POBLACIÓN INICIAL	VALOR DE x	$f(x) = x^2$	$p_{\text{select } i} = f_i / \Sigma f$	RECUENTO ESPERADO f_i / \bar{f}	RECUENTO ACTUAL
1	01101	13	169	0,14	0,58	1
2	11000	24	576	0,49	1,97	2
3	01000	8	64	0,06	0,22	0
4	10011	19	361	0,31	1,23	1
SUMA:			1170	1,00	4,00	4,00
PROMEDIO:			293	0,25	1,00	1,00
MÁXIMO:			576	0,49	1,97	2,00
PROCESAMIENTO DE ESQUEMAS:						
			ANTES DE LA REPRODUCCIÓN			
			Cadenas Representativas:			Eval. Promedio del Esquema $f(H)$
H_1	1****		2, 4			469
H_2	*10**		2, 3			320
H_3	1***0		2			576

PROCESAMIENTO DE CADENAS:					
LISTA DE APAREAMIENTO DESPUÉS DE LA REPRODUCCIÓN:	APAREAMIENTO SELECCIONADO AL AZAR:	SITIO DE CROSSOVER SELECCIONADO AL AZAR:	NUEVA POBLACIÓN:	VALOR DE x:	$f(x) = x^2$:
0110|1	2	4	01100	12	144
1100|0	1	4	11001	25	625
11|000	4	2	11011	27	729
10|011	3	2	10000	16	256
SUMA:					1754
PROMEDIO:					439
MÁXIMO:					729
PROCESAMIENTO DE ESQUEMAS:					
DESPUÉS DE LA REPRODUCCIÓN:			DESPUÉS DE TODOS LOS OPERADORES:		
RECUENTO ESPERADO:	RECUENTO ACTUAL:	CADENAS REPRESENTATIVAS	RECUENTO ESPERADO:	RECUENTO ACTUAL:	CADENAS REPRESENTATIVAS
3,20	3	2, 3, 4	3,20	3	2, 3, 4
2,18	2	2, 3	1,64	2	2, 3
1,97	2	2, 3	0,00	1	4

La **Tabla AAG - 05** muestra tres esquemas particulares: $H_1 = 1****$; $H_2 = *10**$ y $H_3 = 1***0$. Durante la reproducción, las cadenas son copiadas de acuerdo a su función de evaluación. Las cadenas 2 y 4 son representativas del esquema H_1 . Después de la reproducción, hay tres cadenas que responden a ese esquema (las cadenas 2, 3 y 4).

Por el Teorema Fundamental de los A. G., se espera tener $m * f(H) / \bar{f}$ copias. El promedio del esquema $f(H_1)$, es: $(576 + 361) / 2 \cong 469$; \bar{f} (promedio de la población) = $1170 / 4 \cong 293$; $m(H_1, t) = 2$, entonces $m f(H_1) / \bar{f} = 2 * 469 / 293 = 3,20$. Al aplicar el *crossover*, no se ve ningún efecto sobre este esquema, ya que tiene una longitud de definición corta: $\delta(H_1) = 0$.

Con una tasa de mutación de $p_m = 0,001$, se espera tener $m * p_m = 3 * 0,001 = 0,003$ bits que cambien; en el caso presente no ocurrirá ningún cambio de bit. Lo mismo sucede con el H_2 , que comienza con dos copias de cadenas y después de la reproducción, continúa también con dos copias. Aplicando el Teorema Fundamental de los Algoritmos Genéticos, se tiene: $m(H_2, t+1) = m(H_2, t) \{ [(f_2 + f_3) / 2] / [(f_1 + f_2 + f_3 + f_4) / 4] \} = 2 [(640/2) / (1170/4)] = 2 * 320 / 293 = 2,18$. Cuando se aplica el *crossover* al esquema H_2 (de longitud de definición corta), se mantienen las dos copias, resultando:

$$m(H_2, t+1) = m(H_2, t) \frac{f(H_2)}{\bar{f}} \left[1 - p_c \frac{\delta(H_2)}{l-1} \right] = 2 \frac{320}{293} \left[1 - 1 \frac{1}{4} \right] \cong (2,19) (0,75) \cong 1,64$$

El esquema H_3 , comienza con una sola cadena (la número 2) y luego de la reproducción, recibe dos copias: $m(H_3, t) = 1 * 576 / 293 = 1,97$. La longitud del esquema, es: $\delta(H_3) = 4$ (larga longitud); el *crossover* destruye este esquema.

10. 3. 2. 04. - OPERADORES AVANZADOS: el genotipo más simple encontrado en la naturaleza es el del cromosoma haploide o cromosoma único, en el cual, una única cadena contiene toda la información relevante. En la forma diploide, un genotipo lleva uno o más pares de cromosomas llamados cromosomas homólogos; cada uno conteniendo información para las mismas funciones. En una estructura de cromosomas diploides, las distintas letras representan diferentes alelos o valores de la función del gen; por ejemplo:

AbCDe
aBCde

Cada posición o locus de una letra representa un alelo; mayúsculas y minúsculas son los alelos alternativos en cada posición. En la naturaleza cada alelo podría representar una característica fenotípica diferente, o tener algún efecto no-lineal o epistático sobre una o más características fenotípicas. Por ejemplo, el alelo B corresponde al gen de ojos marrones y el alelo b, al gen de ojos azules. Un par de genes describe cada función, algún mecanismo debe decidir cuál de los dos valores seleccionar, ya que, por ejemplo, el fenotipo no puede tener ojos marrones y azules simultáneamente. El mecanismo principal para resolver este conflicto de redundancia, es el de un operador genético, llamado dominancia. En un locus, un alelo dominante, se impone o domina a los otros alelos alternativos, llamados recesivos. Más específicamente, un alelo es dominante, si está expresado fenotípicamente cuando se aparea con algún otro alelo. En el ejemplo precedente, si se supone que todas las letras mayúsculas son dominantes y todas las minúsculas son recesivas, el fenotipo expresado por el par de cromosomas del ejemplo puede ser escrito así:

AbCDe
 ⇒ ABCDe
aBCde

En cada locus, el gen dominante está siempre expresado y el gen recesivo, solamente cuando está en compañía de otro recesivo. Se dice que el gen dominante se expresa cuando es heterogéneo o heterocigota o mezclado, $Aa \rightarrow A$ o bien homogéneo; puro u homocigota, $CC \rightarrow C$ y el alelo recesivo se expresa solamente cuando es homogéneo u homocigota $ee \rightarrow e$. La memoria redundante del caso diploide, permite que múltiples soluciones estén contenidas en una solución particular.

10. 3. 2. 05. - DIPLOIDÍA Y DOMINANCIA EN A. G. S.; PERSPECTIVA HISTÓRICA: uno de los primeros ejemplos de aplicación práctica de A. G. con genotipos diploides y mecanismos de dominancia, es de Bagley, donde un par de cromosomas diploides, es mapeado según un fenotipo particular, utilizando un mapa de dominancia variable, codificado. Según Bagley (1967), cada locus activo contiene la información que identifica al parámetro con el cual está asociado; el valor particular del parámetro y un valor de dominancia. En cada locus, el algoritmo selecciona el alelo que tiene el valor dominante más alto. El proceso de decisión en caso de que hubiera valores de dominancia iguales, se realiza de la siguiente manera:

Uno de los cromosomas es seleccionado arbitrariamente para ser el cromosoma clave y sus posiciones son examinadas, de izquierda a derecha. Cada vez que se ubica un locus activo, el contenido del locus del cromosoma homólogo, es recuperado. Los valores de dominancia son comparados y se selecciona el alelo asociado al valor de dominancia más alto. Si los valores de dominancia son idénticos, se respeta la dominancia del cromosoma clave; de lo contrario el homólogo es el que domina.

La introducción de un valor de dominancia para cada gen permitió a este esquema adaptarse a las generaciones futuras. Bagley encontró que en las simulaciones, los valores de dominancia tendían a fijarse demasiado temprano. Además, no usó el operador de mutación para procesar los valores de dominancia, acentuando consiguientemente, la convergencia prematura de los valores de dominancia. El estudio de orientación biológica de Rosenberg (1967), contiene un modelo de cromosoma diploide. El efecto de dominancia, fue el resultado de la presencia o ausencia de una enzima particular que podía inhibir o facilitar una reacción bioquímica, controlando de esa manera el resultado fenotípico.

Hollstien (1971) incluyó el caso diploide y mecanismos de dominancia evolutiva; utilizó el más simple en su planteo de optimización de la función. En el primer modelo, cada gen binario era descrito por dos genes, un gen modificador y un gen funcional. El gen funcional tomaba los valores normales 0 o 1, y era decodificado como algún parámetro en la forma normal. El gen modificador tomaba valores M o m. En este esquema los alelos 0 (cero) eran dominantes cuando había al menos un alelo M presente en uno de los locus modificadores.

Brindle (1981) llevó a cabo experimentos con varios esquemas de dominancia en un marco de optimización funcional, considerando los siguientes seis esquemas:

- Dominancia global, fija y aleatoria;
- Dominancia global y variable;
- Dominancia global, variable y determinística;
- Selección de un cromosoma aleatorio;
- Dominancia del mejor cromosoma;
- El haploide controla la dominancia adaptativa del diploide.

En el esquema de dominancia global, fija y aleatoria, la dominancia de los alelos binarios se determina para todos los *loci*, durante todo el tiempo, desde el comienzo de la corrida. Un solo mapa de dominancia es generado, lanzando una moneda honrada para cubrir cada locus. El alelo dominante se expresa, tanto si está presente por separado en heterocigosis o de a pares en homocigosis. El alelo recesivo es expresado sólo cuando está presente de a pares o en homocigosis.

El mapa de dominancia global y variable es un esquema donde la probabilidad de dominancia de un 0 o un 1, en un locus particular, es calculada como la proporción de ceros o unos en la generación actual. Después de determinar la proporción de ceros y unos en cada locus, la expresión de los alelos, se tiene de acuerdo a lo determinado por los sucesivos ensayos de Bernoulli para *loci* heterocigotas. En dominancia global, variable y determinística, la proporción de 0's (ceros) y de 1's (unos), es nuevamente calculada para cada uno de los locus. Con este mecanismo, el alelo con la mayor proporción se declara dominante. En el esquema de dominancia del cromosoma aleatorio, un cromosoma es seleccionado mediante el lanzamiento de una moneda honrada y todos sus alelos pasan a ser dominantes. Ésto es equivalente a seleccionar y utilizar un par homólogo de cromosomas en forma aleatoria. En dominancia del mejor cromosoma, se evalúa la capacidad de dos cromosomas y se selecciona el mejor como dominante. En el esquema donde el haploide controla al diploide, un tercer cromosoma haploide lleva un mapa de dominancia adaptativo para determinar la expresión del par diploide normal (Brindle, 1981).

La construcción de un mapa que de esta forma beneficia a un organismo, puede conseguirse permitiendo que el algoritmo genético desarrolle dinámicamente los mapas de dominancia. Cada individuo de la población lleva un tercer cromosoma que actúa durante la evaluación, como el mapa de dominancia para ese individuo. Durante el ciclo reproductivo, este cromosoma, se comporta como un organismo haploide, recombinándose con el cromosoma dominante del segundo padre durante el apareamiento y muta con la misma frecuencia que los cromosomas homólogos. Al igual que los primeros esquemas de Hollstien (1971) y Bagley (1967), este método utiliza un mapa de dominancia adaptativo. Brindle (1981) separó completamente el mapa de dominancia o de los genes modificadores, del cromosoma normal o de los genes funcionales. Desde un punto de vista biológico ésto parece extraño. Los genotipos en la naturaleza no son mitad diploide y mitad haploide. Además, parece que un gen modificador estaría vinculado a su correspondiente gen funcional, para crear un bloque raramente alterado, mediante la acción del *crossover*. La separación propuesta por Brindle (1981), anuló el vínculo entre el mapa de dominancia y los genes funcionales.

Estudios más recientes, de Goldberg y Smith (1987) y de R. E. Smith (1987 y 1988) consideran el rol de la dominancia y la diploidía como correspondiente a estructuras y mecanismos en desuso. Smith y Goldberg han comparado el funcionamiento de tres Algoritmos Genéticos; uno diploide; otro con mapa de dominancia fijo, donde los 1's prevalecen sobre los 0's y un tercero diploide con mapa de dominancia de tres alelos, o de Hollstien-Holland, aplicados a un problema no-estacionario. Los resultados de los experimentos con el esquema de tres alelos de Hollstien-Holland, constituyen una mejora significativa sobre el mapa de dominancia original, fijo. Este esquema permite la evolución de la dominancia en cada locus; consiguientemente, la población es capaz de adaptarse más rápidamente de lo que es posible en los casos que tienen un mapa de dominancia fijo o una estructura haploide. Para entender el efecto de la diploidía y la dominancia en problemas no-estacionarios, debe considerarse que la cantidad de esquemas H contenidos en la siguiente población, $m(H, t + 1)$, está relacionada con la cantidad en la población actual, $m(H, t)$, según la siguiente ecuación:

$$m(H, t + 1) \geq m(H, t) \frac{f(H)}{\bar{f}} \left[1 - p_c \frac{\delta(H)}{l - 1} - o(H) p_m \right].$$

En la ecuación anterior, p_c y p_m son las probabilidades de *crossover* y mutación, respectivamente, $f(H)$ es la función de evaluación promedio del esquema; \bar{f} es la evaluación promedio de la población; $\delta(H)$ es la longitud definida del esquema o distancia entre las posiciones fijas extremas y $o(H)$ es el orden del esquema o número de posiciones específicas. Con el agregado de la dominancia y la diploidía, un esquema H real o físico puede o no ser expresado, dependiendo de su estado de dominancia y de su compañero homólogo actual, lo que requiere la siguiente modificación en la ecuación de desarrollo del esquema:

$$m(H, t + 1) \geq m(H, t) \frac{f(H_e)}{\bar{f}} \left[1 - p_c \frac{\delta(H)}{l - 1} - o(H) p_m \right].$$

La función de evaluación promedio del esquema H , $f(H)$, se reemplaza por la función de evaluación promedio del esquema expresado H_e , $f(H_e)$. En el caso de un esquema H completamente dominante, la evaluación promedio del esquema físico siempre equivale a la evaluación promedio esperada del esquema expresado H_e : $f(H) = f(H_e)$.

En el caso de un esquema H dominado, se espera que la evaluación promedio del esquema expresado, sea mayor o igual que la capacidad promedio del esquema físico:

$$f(H_e) \geq f(H).$$

La reorganización de la ecuación de desarrollo del esquema, permite calcular la proporción de alelos recesivos, P^t , en las sucesivas generaciones t . Si se supone que sólo hay dos alternativas, la forma dominante con un valor de evaluación esperada constante f_d y la recesiva con f_r , se tiene que la proporción de recesivos esperados para la próxima generación puede ser calculada de la siguiente manera, según Goldberg y Smith (1987):

$$p^{t+1} = p^t K \left[\frac{p^t + r(1 - p^t)}{(1 - r)p^t + r} \right].$$

Siendo $r = f_d/f_r$ y $K =$ constante de pérdida por mutación y *crossover*.

Una ecuación similar puede ser derivada para el caso haploide, donde la alternativa perjudicial, la recesiva, siempre es expresada cuando está presente en una estructura haploide:

$$p^{t+1} = p^t \left[\frac{K}{p^t + r(1 - p^t)} \right].$$

Holland (1975) presentó un análisis de los requerimientos de mutación de estados constantes de las estructuras diploides comparadas con las estructuras haploides. Para una estructura haploide bajo selección y mutación, se puede mostrar que la proporción de alelos recesivos en la próxima generación P^{t+1} , está relacionada con la proporción en la generación actual, P^t , mediante la ecuación:

$$P^{t+1} = (1 - E) P^t + p_m (1 - P^t) - p_m P^t.$$

Se tiene la suma de tres términos; la proporción adecuada para la selección; la fuente de alelos a partir de la mutación y la pérdida de alelos por mutación. El factor $E(t)$ es la proporción perdida debido a la selección y a otras causas. En estado estacionario, $P^{t+1} = P^t = P_{ss}$; resolviendo para P_{ss} , se obtiene la ecuación: $P_{ss} = p_m / (2 p_m + E)$, la que sugiere que la razón entre un estado estacionario y final de alelos es directamente proporcional al ritmo de mutación; con un E grande y un p_m pequeño.

Para una estructura diploide bajo selección y mutación, se puede mostrar que la proporción de alelos recesivos en la próxima generación, está relacionada con la proporción de la generación actual, mediante la ecuación: $P^{t+1} = (1 - 2 E P^t) P^t + 2 p_m (1 - 2 P^t)$.

En condiciones estacionarias, se obtiene la siguiente relación entre el ritmo de mutación requerido y la proporción de estados de alelos recesivos: $p_m = E P_{ss}^2 / (1 - 2 P_{ss})$. Para proporciones reducidas de alelos recesivos, $P_{ss} < 1$, esta ecuación sugiere que el ritmo de mutación requerido para mantener una cierta proporción de alelos recesivos, es proporcional al cuadrado de la proporción. La misma proporción de alelos en el caso diploide, no significa que serán muestreados con la misma frecuencia, sino con una frecuencia proporcional a la raíz cuadrada de la razón.

10. 3. 2. 06. - OPERADORES DE INVERSIÓN Y RE-ORDEN: el operador de inversión, como la mutación, es un operador unario. Funciona de la siguiente manera: se eligen dos puntos a lo largo del cromosoma; el cromosoma es cortado en esos puntos y la sección de corte es invertida. Por ejemplo, en la siguiente cadena de ocho posiciones, se eligen aleatoriamente dos lugares de inversión, los lugares 2 y 6 como se muestra a continuación:

$$1\ 0\ |1\ 1\ 1\ 0\ |1\ 1$$

Usando el operador de inversión, se obtiene la siguiente cadena:

$$1\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1$$

En la naturaleza los genes pueden ser intercambiados en una cadena y aún ser responsables por la producción de la misma enzima, es decir, el significado de un alelo, es independiente de su posición. Si se asigna a cada alelo un entero entre 1 y 8 identificando la posición de cada uno, al aplicar el operador de inversión, se asocia también, información sobre la posición:

$$\begin{array}{r}
 \begin{array}{cccccccc}
 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \\
 A = & 1 & 0 & | & 1 & 1 & 1 & 0 & | & 1 & 1
 \end{array}
 &
 \begin{array}{cccccccc}
 & 1 & 2 & 6 & 5 & 4 & 3 & 7 & 8 \\
 A' = & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1
 \end{array}
 \end{array}$$

Utilizando esta representación, los valores de *bit* retienen sus significados sin tener en cuenta sus posiciones. El operador de inversión individual, actuando por sí solo, no tiene un efecto inmediato sobre la función de evaluación de la cadena.

10. 3. 2. 07. - OPERADORES DE RE-ORDEN EN A. G. S.; PERSPECTIVA HISTÓRICA: las simulaciones por computadora de Bagley (1967) contenían un operador de inversión simple y una representación extendida de la cadena. Los cruces entre pares de cadenas no-homólogas, fueron tratados como ilustra el ejemplo:

$$\begin{array}{r}
 \begin{array}{cccc|cccc}
 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \\
 A = & 1 & 0 & 1 & 1 & | & 1 & 0 & 1 & 1
 \end{array}
 \\
 \\
 \begin{array}{cccc|cccc}
 & 1 & 2 & 6 & 5 & 4 & 3 & 7 & 8 \\
 B = & 1 & 0 & 0 & 1 & | & 1 & 1 & 1 & 1
 \end{array}
 \end{array}$$

Si éstas se cruzan utilizando el *crossover* simple, en el lugar 4, por ejemplo, se obtienen las dos cadenas de descendencia siguientes:

$$\begin{array}{r}
 \begin{array}{cccc|cccc}
 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \\
 A' = & 1 & 0 & 1 & 1 & | & 1 & 1 & 1 & 1
 \end{array}
 \\
 \\
 \begin{array}{cccc|cccc}
 & 1 & 2 & 6 & 5 & 4 & 3 & 7 & 8 \\
 B' = & 1 & 0 & 0 & 1 & | & 1 & 0 & 1 & 1
 \end{array}
 \end{array}$$

Ninguna de las cadenas de descendencia contiene un complemento de gen completo. Este problema es el primer argumento en contra del uso de cruces simples entre cadenas arbitrariamente ordenadas. Para eliminar esta dificultad, Bagley (1967) no empleó cruces entre cadenas no-homólogas. La inversión causa un incremento en la duración de las corridas y un decremento en el ritmo efectivo de *crossover*, dado que el mismo es inhibido entre las partes de cromosomas que no pertenecen a *loci* homólogos. Un ritmo más bajo de *crossover* tiene un efecto adverso en la simulación y es este efecto el que predomina en los resultados. Bagley permitió sólo el intercambio entre subcadenas homólogas durante el *crossover*.

10. 3. 2. 08. - MICRO-OPERADORES; SEGREGACIÓN; TRANSPOSICIÓN Y ESTRUCTURA DE CROMOSOMAS MÚLTIPLES:

en la naturaleza muchos organismos tienen genotipos con múltiples cromosomas. Por ejemplo, el hombre tiene 23 pares de cromosomas en sus células diploides. Para adoptar una estructura similar en la búsqueda genética artificial, se requiere extender la representación permitiendo que un genotipo sea una lista de k pares de cadenas. Holland (1975) sugirió que los genotipos de cromosomas múltiples podrían ser útiles para aumentar el poder de los algoritmos genéticos cuando se usan en conjunción con otros dos operadores: la segregación y la transposición.

En el proceso de formación de gametas, con un par de cromosomas en el genotipo, el *crossover* procede como antes, seleccionándose aleatoriamente una, de cada cromosoma haploide. Este proceso de selección aleatoria, se llama segregación; interrumpe cualquier vínculo que pudiera existir entre los genes de diferentes cromosomas. La transposición puede ser vista como un operador de *crossover* intercromosomal. Para implementar este operador se etiquetan los alelos con los nombres de sus genes, a fin de identificar sus significados cuando son trasladados desde un cromosoma a otro. En la naturaleza, es posible producir genotipos sin el complemento completo del gen, siguiendo una transposición.

La duplicación intracromosomal actúa duplicando un gen particular y ubicándolo con su progenitor a lo largo del cromosoma. La supresión aparta un gen duplicado del cromosoma. Holland (1975) sugirió que estos operadores pueden ser métodos efectivos para controlar adaptativamente el ritmo de la mutación; si éste se mantiene constante y la duplicación produce k copias de un gen particular, la probabilidad de mutación efectiva, es decir, la probabilidad de que al menos una de las k copias experimente una mutación, para ese gen, se multiplica por k . A la inversa, cuando ocurre una supresión, el ritmo de mutación efectiva es decrementado. Una vez que ocurre una mutación en uno de los nuevos genes bajo este esquema, debe decidirse cuál de las alternativas es expresada. De hecho, pueden ser examinadas múltiples copias induciendo una dominancia intracromosomal como oposición a la dominancia intercromosomal que es más usual y ocurre en caso de diploidía.

En los esquemas de combinación utilizados hasta ahora, cualquier individuo puede aparearse con cualquier otro. En la naturaleza muchos organismos pueden ser de dos o más sexos distintos y de algún modo deben juntarse para propagar las especies. Aunque los mecanismos de determinación del sexo en la especie humana son sencillos, la naturaleza exhibe casos complicados. Los cromosomas que determinan el sexo, pueden estar asociados a otros factores que se identifican frecuentemente con los cromosomas X . En algunos organismos los *loci* encontrados en el cromosoma X no están presentes en el cromosoma Y . Hay organismos donde las porciones de cromosoma Y son homólogas a una porción del cromosoma X . Cuando sucede esto, el *crossover* entre estos cromosomas homólogos, X , Y , puede mostrar un enlace de sexo incompleto en comparación con organismos donde la falta de homología inhibe el proceso de entrecruzamiento.

El establecimiento de la diferencia de sexo divide una especie en dos o más grupos cooperativos. Un ejemplo del beneficio de la cooperación y la especialización inherente a la diferenciación sexual natural, se tiene en el individuo que hace la elección entre cazar para comer o criar su descendencia. Siendo b la proporción de tiempo empleado en la caza y n la proporción de tiempo empleado en la crianza, la probabilidad s de supervivencia de la descendencia, depende del producto de las proporciones de caza y crianza: $s(n, b) = nb$.

El individuo, como se expresó, hace la elección entre dedicar su tiempo a las actividades de crianza o de caza. Si además se asume una pérdida de tiempo en cada actividad, proporcional al producto de las proporciones de éstas, se obtiene una ecuación que relaciona el tiempo empleado en cazar y criar: $n + b + a n b = 1$. Donde a es el coeficiente de pérdida por falta de especialización. Maximizando la supervivencia s , se obtiene el nivel óptimo de crianza n^* y caza b^* para un solo individuo, el que no puede hacer algo mejor que comprometerse con una de las dos actividades necesarias; el exceso de tiempo empleado en alguna de ellas, es penalizado con ritmos más bajos de supervivencia de la descendencia. Permitiendo que dos individuos cooperen y actúen como una unidad de caza-crianza, se tiene un modelo similar de supervivencia de la descendencia. Con las proporciones de caza y crianza para los individuos 1 y 2: b_1, n_1, b_2, n_2 , resulta la siguiente proporción s de supervivencia:

$s(n_1, b_1, n_2, b_2) = \frac{1}{2} (n_1 + n_2) (b_1 + b_2)$, donde el factor $\frac{1}{2}$ permite hacer una comparación directa con la probabilidad para un individuo solo. Las proporciones de tiempo para dos individuos son gobernadas por las ecuaciones: $n_i + b_i + a n_i b_i = 1$, con $i = 1, 2$.

Maximizando la supervivencia s con respecto a las proporciones de caza y crianza, se tienen dos casos. Con pérdida de tiempo libre, la probabilidad de supervivencia es un punto máximo a lo largo de la línea definida por la ecuación: $n_1^* + n_2^* = 1$. Sin pérdida de tiempo libre, hay incentivo para cooperar; la supervivencia se eleva de 0,25, que es el caso de un individuo solo, a 0,5, con un par de individuos. Sin embargo, no hay incentivo para la especialización; cada individuo puede cazar o criar a su descendencia, mientras el total de ambas actividades sume uno. Con algo de pérdida de tiempo libre, $a > 0$, la situación es diferente, pues la conducta óptima requiere especialización, la supervivencia máxima se obtiene cuando $(n_1, n_2) = (1, 0)$ o $(0, 1)$. La supervivencia en este punto óptimo aún muestra un incremento con respecto al caso de un solo individuo sin cooperación y la pérdida de tiempo se minimiza. La cooperación y la especialización, son esenciales para la diferenciación sexual.

10. 3. 2. 09. - OPTIMIZACIÓN MULTIOBJETIVO: los problemas de búsqueda y optimización que se han considerado se basan en un solo criterio, representado por la función objetivo, pero hay circunstancias en las cuales se presentan varios criterios simultáneamente y no es posible combinarlos como un solo criterio. Estos problemas son llamados de optimización multiobjetivo o multicriterio. En la optimización de un solo criterio se busca el mejor valor, que puede ser el más alto o el más bajo de la función objetivo, según represente ésta, utilidad o costo. En la optimización multiobjetivo, deben interrelacionarse los valores relativos de los diferentes criterios, planteando una definición diferente de óptimo, que respete la integridad de cada uno de los criterios por separado.

El concepto de óptimo de Pareto se ilustra con un ejemplo: supóngase que un fabricante desea minimizar tanto los accidentes de trabajo como el costo involucrado. Ambos criterios son importantes para el éxito de la operación de la planta y además, es difícil estimar el costo en dinero de un accidente. Se tienen cinco formas posibles de organizar la planta, representadas por los escenarios A, B, C, D y E, como se muestra a continuación:

- A = (2, 10), el par ordenado, representa: costo, cantidad de accidentes
- B = (4, 6)
- C = (8, 4)
- D = (9, 5)
- E = (7, 8)

Los escenarios A , B , C , parecen ser buenas elecciones posibles, más ninguno de los tres puntos es el mejor según las dos dimensiones, hay beneficio sobre una componente y pérdida sobre la otra. En la terminología de optimización, estos tres puntos son no-dominados porque no hay puntos mejores que éstos en todas las alternativas. Los escenarios D , E , parecen ser malas elecciones, ya que ambos son dominados por otro punto. El escenario E (7, 8) es dominado por B (4, 6), porque $4 < 7$ y $6 < 8$ y el escenario D (9, 5) es dominado por C (8, 4), porque $8 < 9$ y $5 < 9$. Entonces, en este problema y en otros problemas de multicriterios, en lugar de obtener una sola respuesta, se dispone de un conjunto de ellas, que no son dominadas por otras y constituyen el conjunto de óptimos de Pareto o P-óptimo. En este caso particular, el conjunto {A, B, C}, es el conjunto P-óptimo . El concepto de óptimo de Pareto no permite seleccionar una sola alternativa del conjunto P-óptimo . Quién toma la decisión, debe hacer un juicio de valor entre las distintas opciones para seleccionar una en particular. Matemáticamente puede afirmarse que un vector \mathbf{x} es parcialmente menor que \mathbf{y} ; simbólicamente $\mathbf{x} <_p \mathbf{y}$, cuando se dan las siguientes condiciones:

$$(\mathbf{x} <_p \mathbf{y}) \Leftrightarrow (\forall i) (\mathbf{x}_i \leq \mathbf{y}_i) \wedge (\exists i) / (\mathbf{x}_i < \mathbf{y}_i) .$$

El punto x domina al punto y , si no es dominado por el otro; el punto es no-dominado o no-inferior. Schaffer (1984) desarrolló un esquema práctico en su programa VEGA (Algoritmo Genético Evaluado por un Vector). Creó subpoblaciones de igual tamaño para la selección de cada uno de los criterios componentes del vector evaluación. En este esquema, la selección se realizaba independientemente para cada criterio; el apareamiento y el crossover se efectuaban a través de los límites de las subpoblaciones.

Siendo el esquema fácil de implementar, Schaffer observó que la selección independiente de ganadores según cada criterio, creaba una predisposición en contra de los individuos medios. Desarrolló heurísticas, incluyendo un esquema de redistribución de abundancia y un plan híbrido, para tratar de superar esta dificultad, pero terminó aceptando el esquema de selección independiente en el resto de su estudio. Este problema de predisposición contra los puntos medios es atendible. Durante una generación dada, no deberían darse predisposiciones contra ningún individuo localmente no-dominado. Si se acepta el fundamento de óptimo de Pareto, todos los individuos deberían tener la misma potencia reproductiva. Una forma de conseguirlo para todos los puntos en el mismo nivel, es a través de un procedimiento de clasificación de puntos no-dominados, similar al de selección de puntos superiores con un solo criterio según Baker (1985), donde la población es clasificada sobre una base de no-dominancia. Todos los individuos no-dominados en la población actual, son identificados; ubicados al tope de una lista y objeto de asignación del orden 1 . Luego, estos puntos son retirados de la confrontación y el próximo conjunto de individuos no-dominados es identificado y asignado al orden 2 . Este proceso continúa hasta que la población completa es clasificada. De allí en adelante los valores de reproducción o probabilidades de selección se pueden asignar de acuerdo a la clasificación.

10. 3. 2. 10. - ALGORITMOS GENÉTICOS Y PROCESOS PARALELOS: el primer trabajo de Holland (1962) reconocía la naturaleza paralela del paradigma reproductivo y la eficiencia inherente al procesamiento en paralelo. Llegó a discutir el mapeo de planes reproductivos con un tipo de computadora celular llamada computadora de circuito iterativo (1959, 1960).

Bethke (1976) calculó estimaciones para un mapeo particular de algoritmos genéticos en una máquina paralela. Concluyó que el cálculo de la evaluación promedio de la población, constituía en ese momento, la principal dificultad en la implementación de algoritmos genéticos. Grefenstette (1981) examinó varias implementaciones en paralelo de algoritmos genéticos. Específicamente destacó cuatro prototipos:

- Amo-esclavo sincrónico;
- Amo-esclavo semisincrónico;
- Procesamiento concurrente asincrónico y distribuido;
- Red.

Más recientemente, se ha propuesto un procedimiento de diseño orientado a objetos, para A. G. paralelos, considerando dos modelos de diseño: el de comunidad y el de polinización. Otras simulaciones en paralelo e implementaciones en hardware, son las de Jog y Van Gucht (1987); Pettey, Leuze, y Grefenstette (1987); Suh y Van Gucht (1987); Tanese (1987); etc.

10. 3. 2. 11. - APLICACIONES DE LOS ALGORITMOS GENÉTICOS: los A. G. se aplican con eficacia en campos tan diversos como Matemática; Ingeniería; Medicina y Ciencias Políticas. Antes de su empleo como herramienta de búsqueda en sistemas artificiales, numerosas simulaciones de sistemas genéticos apuntaron al entendimiento de procesos naturales. La selección en estas simulaciones fue hecha para mantener genotipos (cadenas) con valores de fenotipo (valores de función) entre límites especificados, con el objeto de elegirlos como padres. Se simuló la evolución de generaciones de cadenas futuras y se calculó el porcentaje de individuos con fenotipos aceptables en generaciones sucesivas.

John. H. Holland de la Universidad de Michigan y sus colaboradores aplicaron operadores parecidos a los genéticos en problemas de adaptación artificiales o de selección no-natural, mediante la búsqueda de la supervivencia artificial del más apto, fundamentando en 1962 la Teoría de Sistemas Adaptativos. Su propuesta puede sintetizarse en el párrafo siguiente: "El estudio de la adaptación, comprende el conocimiento del sistema adaptativo y su entorno. En términos generales, es un estudio de cómo los sistemas pueden generar procedimientos que les permitan ajustarse eficientemente a su entorno. Si la adaptabilidad no está arbitrariamente restringida a la salida, el sistema de adaptación debe ser capaz de originar algún método o procedimiento apto para definir un comportamiento efectivo." ... "La adaptación, entonces, está basada en la selección diferencial de programas supervisores; ésto es, el más exitoso programa supervisor, en términos de habilidad de resolución de problemas para producir soluciones, es el que más predomina al convertirse, en términos numéricos, en una población de programas supervisores." El reconocimiento de la importancia de otros operadores genéticos, fue hecho por Holland, tres años más tarde, en 1965: "Hay sin embargo, técnicas globales para generar pruebas sucesivas de funciones sobre un conjunto base; estas técnicas, estrechamente relacionadas con los fenómenos interactuantes de cruce, encadenamiento y dominancia en sistemas genéticos, producen descendientes en una muy amplia clase de entornos." La primera mención y aplicación publicada de Algoritmos Genéticos, se debe a Bagley en 1967, quién construyó operadores de reproducción, entrecruzamiento y mutación similares a los descriptos, preanunciando estrategias de búsqueda más modernas, en el área de reproducción y selección, reconociendo la necesidad de valores de selección apropiados, al comienzo y al fin de la ejecución del A. G.

Bagley introdujo un mecanismo de escalamiento adaptativo, para reducir la selección temprana, previniendo con eso la dominancia de una población por un superindividuo, incrementando la selección posterior y manteniendo de este modo la competencia apropiada entre cadenas aptas y similares cercanas, en el proceso de convergencia de la población.

Trabajando al mismo tiempo que Bagley, Rosemberg en 1967, investigó los algoritmos genéticos, enfatizando los aspectos biológicos y de simulación de poblaciones de organismos unicelulares. Consideró en éstos, las reacciones bioquímicas, las funciones de la membrana permeable y la estructura genética de un gen-una enzima. A pesar de su énfasis biológico, el trabajo de Rosemberg fue importante para el desarrollo posterior de los A. G. en aplicaciones artificiales, por su relación con las técnicas de optimización. Como el de Bagley, el trabajo de Rosemberg precedió a la Teoría del Esquema de Holland. En su estudio de 1970, titulado "Búsqueda Adaptativa empleando Evolución Simulada", Cavicchio aplicó los A. G. a la selección de subrutinas y reconocimiento de modelos. En su A. G., Cavicchio empleó la reproducción y entrecruzamiento tal como se usa hoy; probó operadores de selección, actuando sobre la reproducción y estableció un mecanismo de valoración de los individuos más aptos, controlando su dominancia sobre la población y preservando la diversidad. Contemporáneamente con Cavicchio, Weinberg (1970) en su "Simulación Computarizada de una Célula Viva" plantea en detalle un problema interesante de optimización, proponiendo el uso de un A. G. multicapa para seleccionar un conjunto de tasas de cambio constantes, que controlan los procesos de diferentes células simuladas de *Escherichia coli*.

La primera aplicación de un A. G. a un conjunto de problemas formales de optimización matemática, fue el trabajo de Hollstien (1971), realizando el control de retroalimentación digital de una planta de procesos de ingeniería, con funciones de optimización de dos variables ($z = f(x, y)$) y usando dominancia, entrecruzamiento, mutación y numerosos esquemas de cría basados en prácticas tradicionales de la producción animal y hortícola. Hollstien investigó cinco métodos de selección diferentes:

- Prueba de progenie: adaptabilidad de la cría obtenida de controlar la descendencia de los padres;
- Selección individual: adaptabilidad del uso de futuros controles familiares, para la selección de padres;
- Selección familiar: adaptabilidad del uso de controles en todos los miembros de la familia, para su selección como padres;
- Selección dentro de la familia: adaptabilidad de individuos dentro de una selección de controles familiares de padres, para cría dentro de la familia;
- Selección combinada: combinación de dos o más de los otros métodos.

Hollstien consideró 8 métodos preferenciales de apareamiento:

- Apareamiento aleatorio: todos los apareamientos son igualmente probables;
- Endogamia o consanguinidad: padres relacionados son intencionalmente apareados;
- Cría lineal: únicamente un individuo de valor es criado en una población base y su descendencia seleccionada como padre;
- Exogamia o mezcla de razas: individuos con características genotípicas marcadamente diferentes, son seleccionados como padres;
- Autofertilización: un individuo es criado consigo mismo;
- Propagación clonal: se forma una réplica exacta de un individuo;
- Apareamiento variado positivo: individuos similares son criados con otros individuos similares;
- Apareamiento variado negativo: se crían distintos individuos.

Para probar los efectos de los diferentes esquemas de selección y apareamiento, Hollstien simuló combinaciones diferentes de cinco estrategias de selección y ocho de preferencia sobre catorce funciones de dos variables. En todas las ejecuciones computarizadas de Hollstien, las cadenas fueron codificadas como cadenas binarias de 16 *bits*, donde dos parámetros de 8 *bits* fueron decodificados como cualquier entero binario no-señalado o como entero codificado. En todas las ejecuciones del A. G., Hollstien usó poblaciones de dieciséis cadenas. Probó varias combinaciones de planes de apareamiento y cría y finalmente señaló a la endogamia recurrente y al plan de cría de entrecruzamiento como los esquemas probados más fuertes.

Frantz (1972) usó tamaños de población ($n = 100$) y longitudes de cadena grandes ($l = 25$) en su estudio del efecto de no-linealidades posicionales o epistasis, en optimización de A. G. Construyó funciones combinadas lineales-no-lineales sobre cromosomas haploides y estudió los efectos de posición o encadenamiento de distintas funciones, donde el ordenamiento de los cromosomas fue cambiado para afectar el largo de bloques particulares de construcción. Demostró una correlación entre encadenamiento hermético y tasa de mejoramiento. Para las funciones, consideró que cuando los algoritmos son convergentes, no hay diferencia de rendimiento significativa entre simulaciones con ordenamientos buenos y malos. Frantz usó el análisis estadístico para mostrar que ciertas combinaciones de alelos son procesadas a niveles significativamente diferentes de los esperados con aleatoriedad. Introdujo dos operadores, un operador de complemento parcial para mantener diversidad en la población y un operador de cruce de punto múltiple, para seleccionar por búsqueda de derecha a izquierda, cambios de lugar con probabilidad específica.

Numerosas técnicas de optimización inspiradas en la evolución, aparecieron después de los trabajos de Box (Bledsoe, 1961, Bremermann 1962, Friedman 1959). Los estudios de Bledsoe y Bremermann, cerraron la noción moderna de A. G. Ambos sugirieron codificaciones de cadena binaria. Bledsoe presentó resultados de un esquema que combina la generación de individuo-por-individuo; la mutación y la selección que conserva el mejor. Bremermann extendió el trabajo de Bledsoe a la generación de poblaciones sucesivas de cadenas, usando selección y mutación. También propuso el uso de un operador de recombinación. Las técnicas de Evolutionstrategie fueron desarrolladas independientemente en la Universidad Técnica de Berlín (Rechenberg 1965 Schwefel 1981). Los primeros experimentos de Rechenberg desarrollaron una forma de plano aerodinámico empleando un aparato físico que introducía perturbaciones locales en la geometría aerodinámica.

La operación evolucionaria y las técnicas de optimización evolucionaria fueron seguidas por las técnicas de programación evolucionaria de Fogel, Owens y Walsh (1966), en las que una variedad de tareas de predicción de secuencias de símbolos de salida, se ejecuta para buscar en un espacio de máquinas de estado finito, empleando selección y mutación. Una descendencia de estas máquinas es luego producida a través de mutación; ésto es, por una modificación simple de la máquina padre en concordancia con alguna distribución de ruido de mutación. El modo de mutación está determinado por el intervalo dentro del cual, un número es seleccionado desde una posición tabular de números aleatorios. Los intervalos son elegidos de acuerdo con una distribución de probabilidad de los modos de mutación permitidos. Los números adicionales son luego seleccionados en orden para determinar los detalles específicos de la mutación. La descendencia permite diferenciar los padres, ya sea por un símbolo de salida; una transición de estado; un número de estados o un estado inicial.

El año 1975 fue particularmente propicio para los A. G.. Holland publicó su libro, *Adaptación en Sistemas Artificiales y Naturales* y en el mismo año De Jong completó su análisis de la conducta de una clase de Sistemas Adaptativos Genéticos, combinando el esquema teórico de Holland con experimentos computacionales, orientados al diseño de estructuras de datos; elaboración de algoritmos y control adaptativo de sistemas de operación computacional. De Jong construyó un ambiente de prueba para cinco problemas de minimización de funciones, incluyendo funciones con las siguientes características: continua / discontinua; convexa / no-convexa; unimodal / multimodal; cuadrática / no-cuadrática; baja dimensionalidad / alta dimensionalidad; determinística / estocástica.

Para cuantificar la efectividad de los diferentes A. G., De Jong ideó dos medidas, una para evaluar la convergencia y la otra para medir el rendimiento hacia adelante; llamó a estas medidas, rendimiento fuera de línea o convergencia y en línea o hacia adelante, respectivamente. Los nombres fuera de línea y en línea se refieren a la diferencia en el énfasis puesto en aplicaciones en línea y fuera de línea. El rendimiento en línea es un promedio de las evaluaciones de funciones incluyendo la prueba corriente y el rendimiento fuera de línea; es un promedio de ejecución de los mejores valores de rendimiento en un tiempo particular. Los esquemas de selección alternada, se introducen para reducir los errores estocásticos asociados con la selección aleatoria basada en la prueba de la rueda de la ruleta. Brinde (1981) examinó seis esquemas:

- Prueba determinística;
- Prueba estocástica restante sin reemplazo;
- Prueba estocástica sin reemplazo;
- Prueba estocástica restante con reemplazo;
- Prueba estocástica con reemplazo;
- Torneo estocástico o graduación de Wetzel.

La prueba estocástica con reemplazo es equivalente a la selección mediante la rueda de la ruleta; la prueba estocástica sin reemplazo, corresponde al modelo del valor esperado de De Jong. La prueba determinística es un esquema donde las probabilidades de elección son calculadas haciendo $p_{selecti} = f_i / \sum f$ y luego se calcula el número esperado de individuos para cada cadena, con $ei = p_{selecti} * n$. Cada cadena es puesta a prueba de acuerdo a la parte entera de los valores ei y la población es clasificada conforme a las partes fraccionarias de los valores ei . El resto de las cadenas necesarias para completar la población, se extrae del tope de la lista ordenada.

Los métodos de prueba estocásticos restantes; con y sin reemplazamiento, se inician de una manera idéntica a la prueba determinística. Los valores de recuento esperado de individuos, se calculan de antemano y se asignan las partes enteras. Los esquemas estocásticos restantes, comienzan de modo similar a los determinísticos. En la prueba estocástica con reemplazo, las partes fraccionarias de los valores numéricos esperados, se usan para calcular pesos en el procedimiento de selección de la rueda de la ruleta, que luego se emplea para completar las alternativas que restan de la población. En la prueba estocástica sin reemplazo, las partes fraccionarias de los valores numéricos esperados, son tratadas como probabilidades. Uno por uno, los lanzamientos de moneda ponderados o pruebas de Bernoulli, se ejecutan usando las partes fraccionarias como probabilidades de sucesos. Por ejemplo, una cadena con un número de copias esperado igual a 1,5 podría recibir una copia simple seguramente y otra con probabilidad 0,5. Este proceso continúa hasta tanto la población esté completa.

El procedimiento de torneo estocástico fue sugerido a Brinde por Wetzel en 1983. En este método, que Brinde llamó de graduación, las probabilidades de selección se calculan normalmente y se traen pares sucesivos de individuos usando la selección de la rueda de la ruleta. Después de elegir un par, la cadena con adaptabilidad más alta, se declara ganadora; se inserta en la nueva población y se escoge otro par. Este proceso continúa hasta que la población se completa. Brinde probó cada uno de los seis procedimientos con una base de prueba de siete funciones de su propio diseño. El estudio de búsqueda genética como parte de la investigación de aprendizaje de máquina de Booker (1982), demostró la superioridad de la selección estocástica sin reemplazo, sobre el modelo del valor esperado de De Jong o prueba estocástica sin reemplazo. Como resultado de este trabajo, el procedimiento de selección estocástica sin reemplazo es muy usado en aplicaciones concretas.

A partir del estudio de línea de base de De Jong, el mecanismo de escalamiento de valores de la función objetivo, se ha convertido en práctica aceptada, para conservar niveles apropiados de competencia desde el principio hasta el fin de una simulación. Sin el escalamiento, anteriormente se privilegiaba a unos pocos superindividuos, dominantes en el proceso de selección. En este caso los valores de la función objetivo deben ser escalados para prevenir la posesión o dominio de la población, por esas supercadenas. Posteriormente, cuando la población converge, la competencia entre sus miembros, es menos fuerte y la simulación tiende a la optimización. Los valores de la función objetivo deben ser sujetos a escalamiento, para acentuar diferencias entre miembros de la población y premiar a los mejores competidores. Los mecanismos de escalamiento, datan de los primeros estudios empíricos de Bagley (1967) y Rosemberg (1967). Forrest (1985) presenta una revisión de los procedimientos de escalamiento corrientes; éstos son los siguientes:

- Escalamiento lineal;
- Truncamiento sigma;
- Escalamiento legal de poder.

En el escalamiento lineal, se escala la aptitud como valor de la función objetivo, usando una ecuación lineal. En ella, los coeficientes son usualmente elegidos para forzar la igualdad de los valores de aptitud promedio nuevos y escalados y provocar aptitudes escaladas máximas como múltiplo, usualmente de valor dos de la aptitud promedio. Esas dos condiciones aseguran que los miembros de la población promedio, reciban una copia de descendencia en promedio y el mejor reciba el número múltiplo de copias especificado. Se debe cuidar el escalamiento lineal, para prevenir valores de aptitud escalada negativos.

El escalamiento lineal trabaja bien excepto cuando valores de aptitud negativa inhiben su uso. Éste es usualmente un problema posterior en la ejecución, cuando la mayoría de los miembros de la población son altamente aptos, pero unos pocos individuos tienen una evaluación muy baja. Para controlar el problema de escalamiento, Forrest (1985) sugirió el empleo de la varianza de la población para preprocesar nuevos valores de aptitud, previos al escalamiento. En este procedimiento, llamado truncamiento sigma debido al uso de la desviación típica de la población, se calcula una constante para los nuevos valores de aptitud, elegida como un múltiplo entre 1 y 3 de la desviación típica de la población. La naturaleza *ad hoc* de todos los procedimientos de escalamiento, alentó a Baker a considerar un procedimiento no paramétrico para la selección. En este método la población se clasifica de acuerdo al valor de la función objetivo. Los individuos son luego asignados a un contador de descendencia, que es una función de su grado.

LÓGICA DIFUSA O BORROSA

CONCEPTOS BÁSICOS:

Variable lingüística es la noción o concepto que se califica de forma difusa. Por ejemplo: la altura; la edad; el error; etc. Se le aplica el adjetivo lingüística, porque sus características se definen mediante el lenguaje hablado.

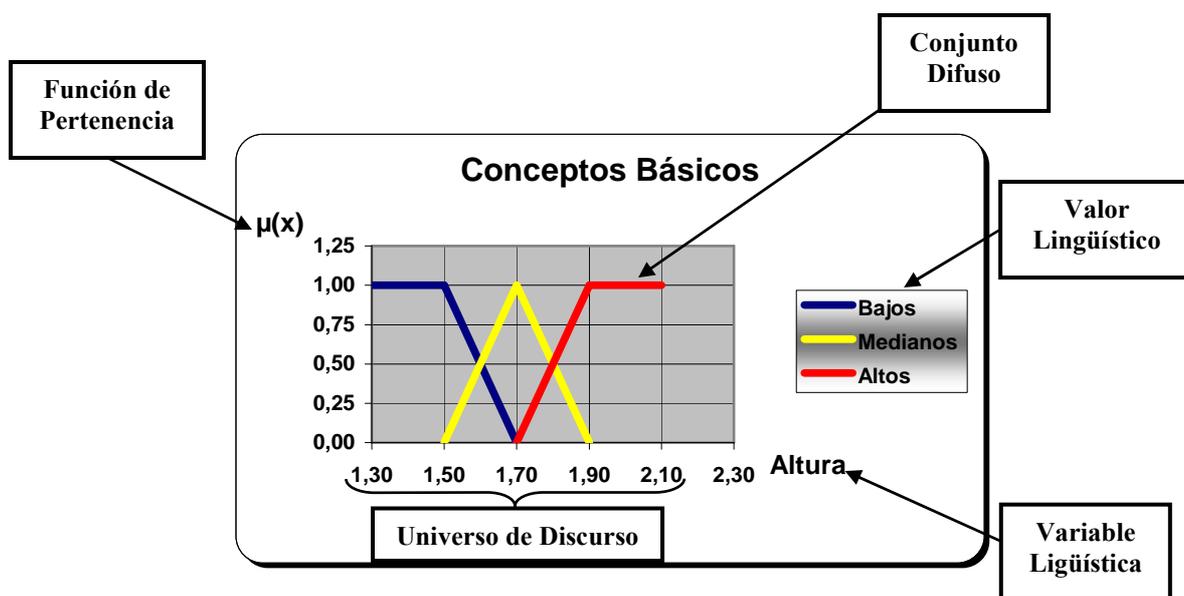
Se denomina universo de discurso al rango de valores que pueden tomar los elementos que poseen la propiedad expresada por la variable lingüística. En el caso de la variable lingüística “altura”, sería por ejemplo, el conjunto de valores comprendido entre 1,5 y 2,3 m .

Se llama valor lingüístico a las diferentes clasificaciones que se efectúan sobre la variable lingüística; en el caso de la altura, puede dividirse el universo de discurso en los diferentes valores lingüísticos: “bajo”, “mediano” y “alto”. Como se ve, cada valor lingüístico tiene un conjunto difuso asociado, de forma que se habla de los conjuntos difusos “bajo”, “alto”; etc., asociados a la variable lingüística “altura”.

Función de pertenencia es la aplicación que asocia a cada elemento de un conjunto difuso, el grado con que pertenece a su correspondiente valor lingüístico. Los conjuntos difusos son caracterizados por sus funciones de pertenencia.

Un conjunto es difuso, cuando el concepto que representa tiene una función de pertenencia difusa $\mu(h)$, asociada a él. Siendo h la variable lingüística (altura, por ejemplo); $[1,30 ; 1,50 ; \dots ; 2,30]$ el universo de discurso y bajo; mediano; alto, el valor lingüístico.

En la ilustración siguiente, se han dibujado 3 conjuntos difusos de la variable lingüística altura, cuyos valores lingüísticos asociados son “bajo”; “mediano” y “alto”, respectivamente. Por ejemplo se dirá de alguien, que mide 1,75 m , es un 0,2 alto y un 0,8 mediano .

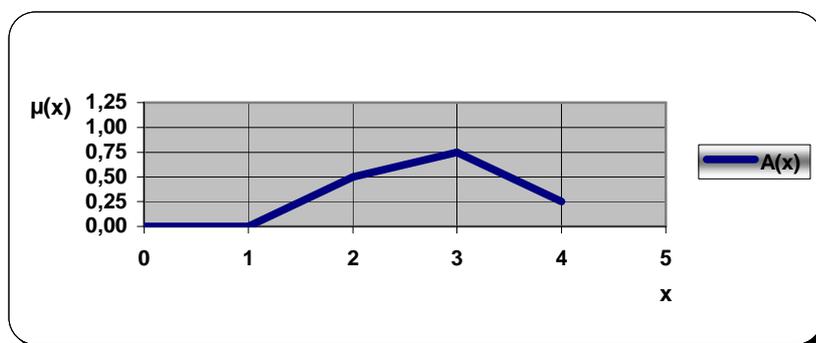


El valor que toma la función de pertenencia para un determinado valor de la variable lingüística es llamado sustento o grado de pertenencia $\mu(x)$. Los números borrosos son conjuntos borrosos formados por elementos constituidos por el grado de pertenencia o sustento separado por el símbolo $|$ del valor de la variable lingüística correspondiente; todos estos elementos, se unen mediante el signo $+$, sin que esto signifique la operación de suma.

El número borroso puede ser expresado simbólicamente de la siguiente forma:

$$\text{Número borroso} = \sum_{i=1}^n (\mu(x_i) | x_i)$$

Ejemplo: número borroso $A(x) = 0 | 0 + 0 | 1 + 0,5 | 2 + 0,75 | 3 + 0,25 | 4$, cuyo gráfico es:

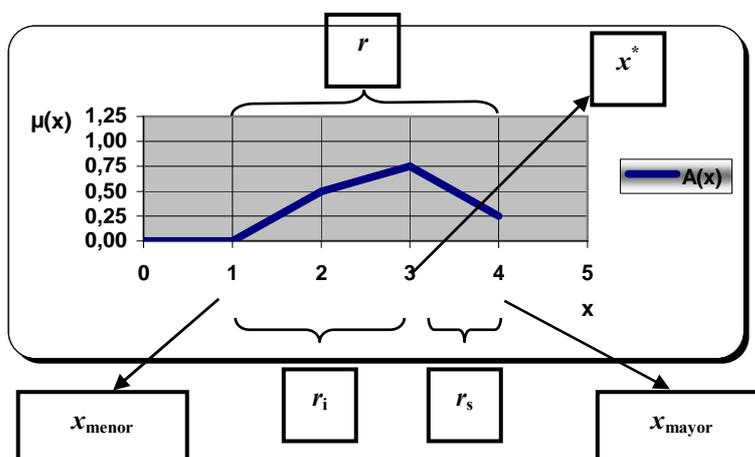


x^* es la moda; valor de la variable lingüística para el cual el sustento es máximo. En el ejemplo anterior, la moda es: $x^* = 3$.

r_i es el rango inferior; siendo $r_i = x^* - x_{\text{menor}}$, donde x_{menor} es el mínimo valor que toma la variable lingüística. En el ejemplo: $r_i = 3 - 1 = 2$.

r_s es el rango superior, determinado por: $r_s = x_{\text{mayor}} - x^*$, donde x_{mayor} es el máximo valor que toma la variable lingüística. En el ejemplo: $r_s = 4 - 3 = 1$.

r es el rango; suma entre el rango inferior y el superior; o sea: $r = r_i + r_s$. En el ejemplo $r = 2 + 1 = 3$.



$|A(x)|$ es la cardinalidad o potencia de $A(x)$, definida por:

$$|A(x)| = \sum_{i=1}^n \mu(x_i); \text{ en el ejemplo, es: } |A(x)| = 1,5.$$

$A^{(n)}(x)$ es la normalización del número borroso $A(x)$, que se forma con elementos cuyo sustento resulta de la división entre el propio sustento y el sustento de la moda. El valor de la variable lingüística de cada elemento, es el mismo que el utilizado en el número borroso $A(x)$. Simbólicamente es:

$$A^{(n)}(x) = \sum_{i=1}^n [(\mu(x_i) / \mu(x^*)) | x_i], \text{ en el ejemplo es:}$$

$$A^{(n)}(x) = 0 | 0 + 0 | 1 + 0,67 | 2 + 1 | 3 + 0,33 | 4.$$

Es posible obtener la cardinalidad del número borroso normalizado, siguiendo el mismo modo de operar que se aplica a los números borrosos. En el ejemplo, es: $|A^{(n)}(x)| = 2$.

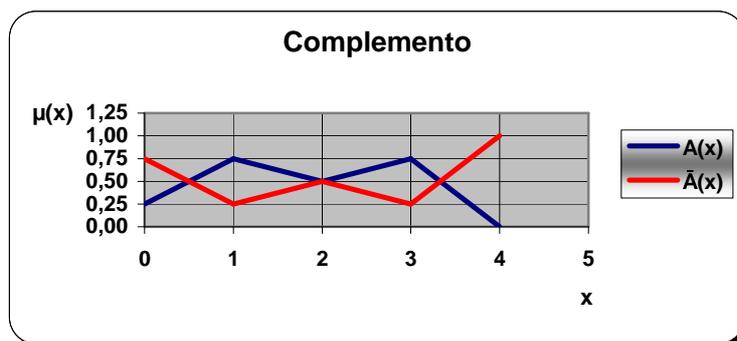
OPERACIONES CON NÚMEROS BORROSOS:

Complemento (No): definido $A(x)$ como:

$$A(x) = 0,25 | 0 + 0,75 | 1 + 0,5 | 2 + 0,75 | 3 + 0 | 4, \text{ el complemento } \bar{A}(x) \text{ es:}$$

$$\bar{A}(x) = \sum_{i=1}^n (1 - \mu(x_i) | x_i); \text{ en relación con el ejemplo, se tiene:}$$

$$\bar{A}(x) = 0,75 | 0 + 0,25 | 1 + 0,5 | 2 + 0,25 | 3 + 1 | 4.$$



Las cardinalidades de ambos números borrosos son: $|A(x)| = 2,25$, $|\bar{A}(x)| = 2,75$.

Intersección (\cap): definidos los números borrosos:

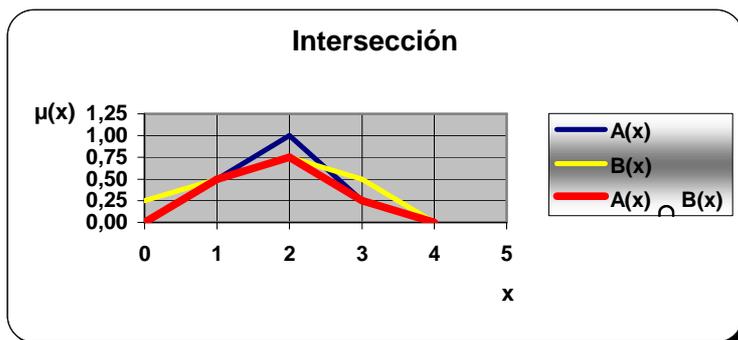
$$A(x) = 0 | 0 + 0,5 | 1 + 1 | 2 + 0,25 | 3 + 0 | 4,$$

$B(x) = 0,25 | 0 + 0,5 | 1 + 0,75 | 2 + 0,5 | 3 + 0 | 4$, la intersección de dos números borrosos, es otro número borroso que se forma tomando el mínimo sustento correspondiente a valores comunes de la variable lingüística.

Cabe observar que cuando se intersectan dos números borrosos con distinta cantidad de elementos, se consideran sólo los elementos que se encuentran en ambos números borrosos. Simbólicamente, se tiene:

$$A(x) \cap B(x) = \sum_{i=1}^n \wedge(\mu_A(x_i); \mu_B(x_i)) | x_i$$

En el ejemplo, resulta: $A(x) \cap B(x) = 0 | 0 + 0,5 | 1 + 0,75 | 2 + 0,25 | 3 + 0 | 4$



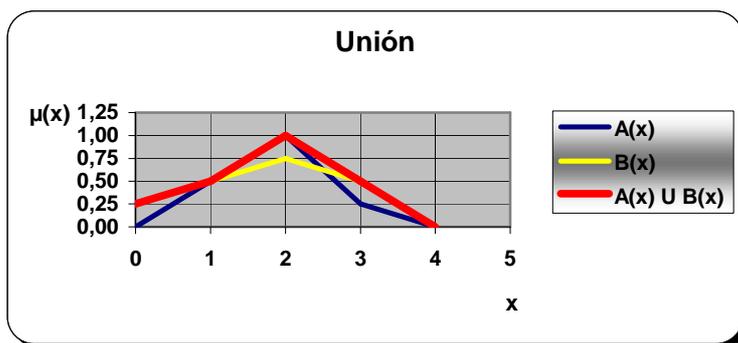
Unión (U) : la unión entre dos números borrosos, es otro número borroso cuyos elementos se obtienen tomando el máximo sustento para cada valor común y no-común de la variable lingüística de A (x) , B (x) . Simbólicamente, es:

$$A(x) \cup B(x) = \sum_{i=1}^n \vee(\mu_A(x_i); \mu_B(x_i)) | x_i ; \text{ por ejemplo:}$$

$$A(x) = 0 | 0 + 0,5 | 1 + 1 | 2 + 0,25 | 3 + 0 | 4$$

$$B(x) = 0,25 | 0 + 0,5 | 1 + 0,75 | 2 + 0,5 | 3 + 0 | 4 \Rightarrow$$

$$A(x) \cup B(x) = 0,25 | 0 + 0,5 | 1 + 1 | 2 + 0,5 | 3 + 0 | 4 , \text{ graficando se tiene:}$$



Incertidumbre: definido el número borroso A (x) :

$$A(x) = 0 | 0 + 0,25 | 1 + 0,5 | 2 + 1 | 3 + 0,25 | 4 , \text{ su complemento es:}$$

$$\bar{A}(x) = 1 | 0 + 0,75 | 1 + 0,5 | 2 + 0 | 3 + 0,75 | 4 ; \text{ intersectando ambos, resulta:}$$

$$A(x) \cap \bar{A}(x) = 0 | 0 + 0,25 | 1 + 0,5 | 2 + 0 | 3 + 0,25 | 4 .$$

Las cardinalidades son: $|A(x)| = 2$, $|\bar{A}(x)| = 3$, $|A(x) \cap \bar{A}(x)| = 1$.

La incertidumbre de un número borroso se define como la posibilidad de que éste, sea o no sea, al mismo tiempo. Entonces se dice que el número borroso es incierto. Simbólicamente:

$$Inc [A (x)] = | A (x) \cap \bar{A} (x) | / | A (x) |$$

Si se calcula la incertidumbre para el $A (x)$ previamente definido, resulta:

$$Inc [A (x)] = 1 / 2 = 0,5 .$$

Similitud: dados los siguientes dos números borrosos:

$$A (x) = 0 | 0 + 0,75 | 1 + 1 | 2 + 0,5 | 3 + 0 | 4 ,$$

$B (x) = 0,25 | 0 + 0,5 | 1 + 0,75 | 2 + 1 | 3 + 0,25 | 4$, la intersección y unión de ambos números borrosos, es:

$$A (x) \cap B (x) = 0 | 0 + 0,5 | 1 + 0,75 | 2 + 0,5 | 3 + 0 | 4 ,$$

$A (x) \cup B (x) = 0,25 | 0 + 0,75 | 1 + 1 | 2 + 1 | 3 + 0,25 | 4$, las cardinalidades son: $| A (x) \cap B (x) | = 1,75$, $| A (x) \cup B (x) | = 3,25 \Rightarrow$ la similitud es el cociente entre las cardinalidades de la intersección y de la unión de los números borrosos $A (x)$, $B (x)$. Simbólicamente se tiene:

$Sim [A (x) ; B (x)] = | A (x) \cap B (x) | / | A (x) \cup B (x) |$, en el ejemplo, es:

$$Sim [A (x) ; B (x)] = | A (x) \cap B (x) | / | A (x) \cup B (x) | = 1,75 / 3,25 = 0,53$$

Existen dos casos especiales para la similitud, éstos ocurren cuando:

$$A (x) \equiv B (x) \quad \Rightarrow \quad Sim [A (x) ; B (x)] = 1 \text{ y cuando:}$$

$$A (x) \cap B (x) = \emptyset \quad \Rightarrow \quad Sim [A (x) ; B (x)] = 0 .$$

También puede calcularse la disimilitud, como se muestra a continuación:

$$Dis [A (x) ; B (x)] = | \bar{A} (x) \cap B (x) | / | \bar{A} (x) \cup B (x) |$$

Utilizando la similitud y la disimilitud se puede calcular el grado de similitud de la siguiente manera:

$$gs [A (x) ; B (x)] = \{ Sim [A (x) ; B (x)] - Dis [A (x) ; B (x)] + 1 \} / 2$$

Acción de enfocar un número borroso: para realizar esta operación se calcula X_0 que es el baricentro de la función de pertenencia $\mu (x)$, procediendo del siguiente modo:

$$X_0 = \left(\sum_{i=1}^n \mu (x_i) * x_i \right) / \sum_{i=1}^n \mu (x_i)$$

Se observa que el denominador corresponde a la cardinalidad del número borroso.

Ejemplo:

$$A (x) = 0 | 0 + 0 | 1 + 0 | 2 + 0,33 | 3 + 0,67 | 4 + 1 | 5 + 0,5 | 6 + 0 | 7 , | A (x) | = 2,5 \Rightarrow$$

$$X_0 = (0 * 0 + 0 * 1 + 0 * 2 + 0,33 * 3 + 0,67 * 4 + 1 * 5 + 0,5 * 6 + 0 * 7) / 2,5 = 4,67$$

Filtros: un filtro es un número borroso que expresa los grados de pertenencia aceptables para determinados valores de la variable lingüística, según el experto que define el problema. Los filtros utilizan la moda x^* y entregan los mayores grados de pertenencia con respecto a la moda. Existen tres tipos de filtros:

$F(x > x^*)$: los sustentos de este número borroso son de mayor valor para los elementos cuyos valores de las variables lingüísticas tienen mayor o igual valor que la moda.

$F(x < x^*)$: los sustentos del filtro son mayores para los elementos cuyas variables lingüísticas tienen menor o igual valor que la moda.

$F(x \cong x^*)$: el sustento del filtro es mayor para el elemento cuya variable lingüística tiene aproximadamente igual valor que la moda.

En el siguiente ejemplo se ven los tres tipos de filtros elegidos en forma arbitraria:

$$A(x) = 0 | 0 + 0,25 | 1 + 0,5 | 2 + 0,75 | 3 + 1 | 4 + 0,75 | 5 + 0,5 | 6 + 0,25 | 7 + 0 | 8 ,$$

$$F(x > 4) = 0 | 0 + 0 | 1 + 0 | 2 + 0,5 | 3 + 1 | 4 + 1 | 5 + 1 | 6 + 1 | 7 + 1 | 8$$

$$F(x < 4) = 1 | 0 + 1 | 1 + 1 | 2 + 1 | 3 + 1 | 4 + 0,5 | 5 + 0 | 6 + 0 | 7 + 0 | 8$$

$$F(x \cong 4) = 0 | 0 + 0 | 1 + 0,25 | 2 + 0,75 | 3 + 1 | 4 + 0,75 | 5 + 0,25 | 6 + 0 | 7 + 0 | 8$$

Cuanto mayor sea la moda x^* en un filtro, se dice que el filtro es más severo. A partir de la operación de filtrado se puede determinar la aceptabilidad de un número borroso. La aceptabilidad se calcula como se muestra a continuación en forma simbólica y general:

$$ac(A(x)) = |A(x) \cap F(x > x^*)| / |A(x)|$$

Se presentan dos casos especiales; cuando el número borroso está incluido dentro del filtro, de lo que resulta una aceptabilidad de uno y cuando la intersección entre el número borroso y el filtro es \emptyset , caso en que la aceptabilidad es cero:

1. $A(x) \subset F(x > x^*)$; es decir, $A(x)$ está incluido en $F(x > x^*) \Rightarrow$ la $ac(A(x)) = 1$
2. $A(x) \cap F(x > x^*) = \emptyset$; o sea que la intersección es vacía \Rightarrow la $ac(A(x)) = 0$

También puede calcularse la inaceptabilidad de un número borroso, haciendo:

$$in(A(x)) = |A(x) \cap \bar{F}(x > x^*)| / |A(x)|$$

Con la aceptabilidad y la inaceptabilidad puede calcularse el grado de aceptabilidad:

$$ga(A(x)) = [ac(A(x)) - in(A(x)) + 1] / 2$$

Ejemplo:

$A(x) = 0 | 0 + 0,25 | 1 + 1 | 2 + 1 | 3 + 0,75 | 4 + 0,25 | 5 + 0 | 6$, el filtro elegido por el especialista es:

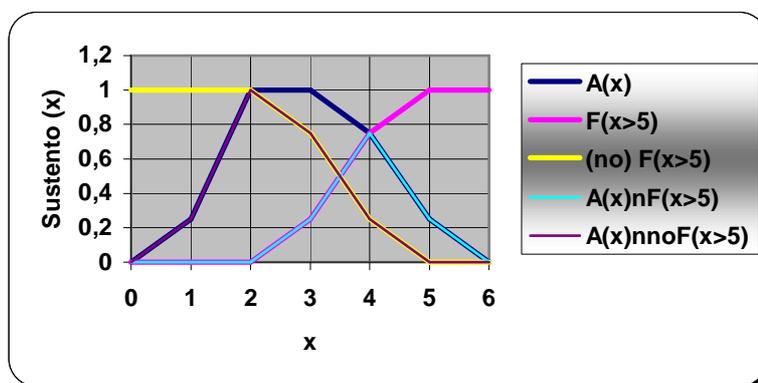
$$F(x > 5) = 0 | 0 + 0 | 1 + 0 | 2 + 0,25 | 3 + 0,75 | 4 + 1 | 5 + 1 | 6$$

$$\bar{F}(x > 5) = 1 | 0 + 1 | 1 + 1 | 2 + 0,75 | 3 + 0,25 | 4 + 0 | 5 + 0 | 6$$

La intersección entre estos números borrosos es:

$$A(x) \cap F(x > 5) = 0 | 0 + 0 | 1 + 0 | 2 + 0,25 | 3 + 0,75 | 4 + 0,25 | 5 + 0 | 6$$

$$A(x) \cap \bar{F}(x > 5) = 0 | 0 + 0,25 | 1 + 1 | 2 + 0,75 | 3 + 0,25 | 4 + 0 | 5 + 0 | 6$$



Las cardinalidades son:

$$|A(x)| = 3,25, \quad |A(x) \cap F(x > 5)| = 1,25, \quad |A(x) \cap \bar{F}(x > 5)| = 2,25$$

La aceptabilidad es:

$$ac(A(x)) = |A(x) \cap F(x > 5)| / |A(x)| = 1,25 / 3,25 = 0,3846$$

La inaceptabilidad es:

$$in(A(x)) = |A(x) \cap \bar{F}(x > 5)| / |A(x)| = 2,25 / 3,25 = 0,6923$$

Finalmente se calcula el grado de aceptación, haciendo:

$$ga(A(x)) = [ac(A(x)) - in(A(x)) + 1] / 2 = [0,3846 - 0,6923 + 1] / 2 = 0,3462$$

Si previamente se definen márgenes para la aceptabilidad: $0,80 < \text{Excelente} \leq 1$; $0,60 < \text{Bueno} \leq 0,80$; $0,40 < \text{Regular} \leq 0,60$; $0,20 < \text{Malo} \leq 0,40$; $0 < \text{Pésimo} \leq 0,20$, puede determinarse a que intervalo pertenece el ga obtenido. En el ejemplo precedente, el ga pertenece al segundo intervalo, siendo la calificación de Malo.

Medidas Borrosas: los números borrosos son en general adjetivos que pueden o no ser modificados por adverbios, que son calificados con valores borrosos.

El objeto de operar con números borrosos es lograr que un ente (lo que es, existe o puede existir) expresado como sustantivo (que tiene existencia real, independiente, individual y al que se le puede asignar un nombre), pueda ser definido por la aceptabilidad de sus cualidades o propiedades. Si Y es un ente, que depende de X_i con $i = 1, 2, \dots, n$, cualidades, entonces se puede escribir: $Y = F(X_1, X_2, \dots, X_n)$. Si se califica borrosamente con $X_1(x_1), X_2(x_2), \dots, X_n(x_n)$ y pueden fijarse filtros $F(x_i)$ con $i = 1, 2, \dots, n$; entonces pueden obtenerse las aceptabilidades $ac(x_i)$ con $i = 1, 2, \dots, n$.

Se llama medida borrosa $PS(Y)$ a la posibilidad de que el ente que tiene las cualidades o propiedades X_i sea una función de $X_i(x_i)$, para $i = 1, 2, \dots, n \Rightarrow$

$$PS(Y) = \sum_{i=1}^n ac(x_i) / \sum_{i=1}^n ac(máx)(x_i) ; \text{ como } ac(máx) = 1, \text{ resulta:}$$

$$PS(Y) = \sum_{i=1}^n ac(x_i) / n, \text{ donde } n \text{ es la cantidad de elementos o valores de la variable lingüística para cada número borroso.}$$

Cuando se trata de determinar que acontecimiento es de ocurrencia más probable, debe identificarse el que tenga mayor $[PS(Y_j)]_{j=1}^{j=n}$. Los valores de las aceptabilidades $ac(A(x))$ pueden interesar para determinar su mayor o menor influencia en la producción de cada acontecimiento $Y(X_j)$.

Suma Convexa: es una operación combinada entre intersección y unión. Se dice que dosifica la contribución de una y otra mediante el valor de un parámetro λ , siendo $0 \leq \lambda \leq 1$. Con $\lambda = 1$, se tiene una intersección, que expresa *and* (conjunción); con $\lambda = 0$, una unión que expresa *or* (disyunción) y para $0 \leq \lambda \leq 1$ se considera *and/or*.

La operación es:

$$A(x) \parallel_{\lambda} B(x) = \sum_{i=1}^n \{ \lambda [\mu_A(x_i) \cap \mu_B(x_i)] + (1-\lambda) [\mu_A(x_i) \cup \mu_B(x_i)] \} | x_i$$

Ejemplo:

$$A(x) = 0 | 0 + 0,75 | 1 + 1 | 2 + 0,5 | 3 + 0 | 4,$$

$B(x) = 0,25 | 0 + 0,5 | 1 + 0,75 | 2 + 1 | 3 + 0,25 | 4$, cuya intersección y unión son:

$$A(x) \cap B(x) = 0 | 0 + 0,5 | 1 + 0,75 | 2 + 0,5 | 3 + 0 | 4$$

$$A(x) \cup B(x) = 0,25 | 0 + 0,75 | 1 + 1 | 2 + 1 | 3 + 0,25 | 4$$

El producto de los sustentos de cada elemento de la intersección por un $\lambda = 0,4$ es:

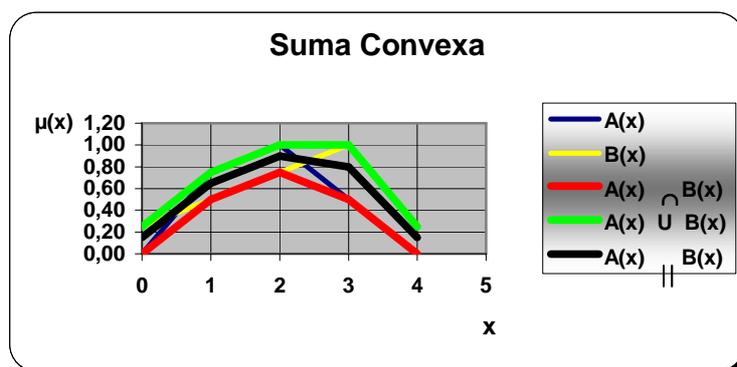
$$\lambda * [\mu_A(x_i) \cap \mu_B(x_i)] = 0 | 0 + 0,2 | 1 + 0,3 | 2 + 0,2 | 3 + 0 | 4$$

El producto de los sustentos de cada elemento de la unión por un $(1 - \lambda) = 0,6$ es:

$$(1 - \lambda) * [\mu_A(x_i) \cup \mu_B(x_i)] = 0,15 | 0 + 0,45 | 1 + 0,6 | 2 + 0,6 | 3 + 0,15 | 4.$$

Entonces, la suma convexa es:

$$A(x) \parallel_{0,4} B(x) = 0,15 | 0 + 0,65 | 1 + 0,9 | 2 + 0,80 | 3 + 0,15 | 4.$$



Suma disyuntiva: es la unión de dos intersecciones:

$$A(x) \oplus B(x) = \sum_{i=1}^n \{ [\mu_A(x_i) \cap (1 - \mu_B(x_i))] \cup [(1 - \mu_A(x_i)) \cap \mu_B(x_i)] \} | x_i$$

Ejemplo:

$$A(x) = 0 | 0 + 0,75 | 1 + 1 | 2 + 0,50 | 3 + 0 | 4$$

$$\bar{A}(x) = 1 | 0 + 0,25 | 1 + 0 | 2 + 0,50 | 3 + 1 | 4$$

$$B(x) = 0,25 | 0 + 0,50 | 1 + 0,75 | 2 + 1 | 3 + 0,25 | 4$$

$$\bar{B}(x) = 0,75 | 0 + 0,50 | 1 + 0,25 | 2 + 0 | 3 + 0,75 | 4$$

$$A(x) \cap \bar{B}(x) = 0 | 0 + 0,50 | 1 + 0,25 | 2 + 0 | 3 + 0 | 4$$

$$\bar{A}(x) \cap B(x) = 0,25 | 0 + 0,25 | 1 + 0 | 2 + 0,50 | 3 + 0,25 | 4$$

$$A(x) \oplus B(x) = 0,25 | 0 + 0,50 | 1 + 0,25 | 2 + 0,50 | 3 + 0,25 | 4$$

Interpretación de los resultados: luego de operar con números borrosos se obtiene otro número borroso; como se asignan valores intuitivos a las variables del problema, se obtienen resultados intuitivos. Ésta es una consideración importante que debe tenerse en cuenta, en el momento de plantear el problema y analizar el resultado. A continuación se enuncian tres modos de interpretar los resultados:

1. Analizando los sustentos $\mu(x)$, se atribuye por simple observación, un valor lingüístico al número borroso; por ejemplo: bajo; alto; medio; bastante bajo; muy alto; etc.

2. Se limita la interpretación a la lectura de la moda x^* , refiriéndosela a una escala preestablecida. Por ejemplo:

- 0 → Muy pequeño
- 2 → Pequeño
- 4 → Casi medio
- 6 → Algo más que medio
- 8 → Grande
- 10 → Muy grande

De esta forma la interpretación se hace atendiendo exclusivamente a la moda; dejando de lado los otros sustentos $\mu(x)$ y desaprovechando por consiguiente, toda la información restante que entrega un número borroso.

3. Se interpretan los resultados de las operaciones, fijando una escala de números borrosos; si el resultado es un número borroso en particular, éste determina una situación; si es otro número borroso, se tiene otra situación.

El algoritmo borroso, sin ser una regla, representa un procedimiento útil en la resolución de problemas borrosos. Consta de las siguientes etapas:

1. Planteo del problema en forma genérica: dadas ciertas circunstancias que se desean determinar (números borrosos), se definen factores (variables lingüísticas) que influyen sobre estas circunstancias. Por ejemplo, la circunstancia es la lluvia como fenómeno climático y los factores que la influyen, la presión atmosférica; la temperatura; el viento; etc.
2. Calificación de las influencias: se asignan los sustentos a los distintos factores (se asignan valores a las variables lingüísticas y sustentos a cada una de ellas). En el ejemplo, equivale a dar sustento a la presión atmosférica; a la temperatura; al viento, etc.
3. Filtros: de acuerdo a las exigencias del problema se asignan el o los filtros; siendo éstos: $F(x > x^*)$; $F(x < x^*)$; $F(x \equiv x^*)$.
4. Filtrado: se realiza la operación de filtrado y se calculan las aceptabilidades para cada número borroso.
4. Obtención del resultado: finalmente se calcula el $PS(Y) = \sum_{i=1}^n ac(x_i) / n$; deben tenerse en cuenta las consideraciones antes enunciadas para el $PS(Y)$ obtenido y las aceptabilidades.

Sugerencias para la resolución de problemas borrosos:

- a) Cuando se trata de conocer entre distintos entes cual se asemeja más a las cualidades ideales de un ente en particular, se calculan las similitudes de cada ente (número borroso), eligiéndose como más cercano al ente ideal, el que tenga mayor valor de similitud.
- b) En caso de considerarse ciertos acontecimientos, a los cuales puedan atribuirse números borrosos; para determinar cuál es el más propenso a suceder, se calcula el grado de aceptabilidad de cada acontecimiento, que es un número borroso y el que tenga el valor más alto de grado de aceptabilidad es el de mayor probabilidad de ocurrencia.
- c) Si se trata de calificar un ente, debe calcularse su grado de aceptabilidad y analizar a que intervalo de calificación preestablecido pertenece, de acuerdo a que intervalo pertenece, es la calificación del ente.

- d) En un problema en que se cuenta con circunstancias que pueden estar sucediendo, las cuales tienen las mismas cualidades pero con distintos valores para las variables lingüísticas, pudiéndose definir un número borroso para cada circunstancia, se enfoca cada número borroso para conocer qué circunstancia es más probable de ocurrir.
- e) Cuando convergen diferentes opiniones en relación con un mismo hecho, calificado según ciertas características, debe aplicarse la intersección o la unión, según se privilegie el valor más bajo o el más alto, conforme al caso particular que se trate.

10. 3. 4. - ANALOGÍAS FÍSICAS

Si dos sistemas son descritos mediante las mismas ecuaciones diferenciales, son análogos. Los sistemas físicos, independientemente de su naturaleza se modelizan con similares ecuaciones diferenciales generales; en ellas, difiere el significado físico de las variables. Todo problema en el cual las coordenadas espaciales intervienen en el análisis, se considera un problema de campo. Una o más variables independientes de posición, participan del problema, mientras que el tiempo es la única variable independiente en un modelo de parámetros globales. Se reconocen entonces dos tipos diferentes de variables independientes; las espaciales y la temporal y se distinguen dos clases de variables dependientes; las llamadas *across* y *through*. Las primeras, relacionan la situación en un punto del campo con la correspondiente a otro punto en el mismo campo. Estas variables como diferencia entre magnitudes se expresan habitualmente en unidades relativas. En un sistema eléctrico; la variable *across*, es la tensión que puede medirse como diferencia entre el potencial eléctrico de dos puntos o bien como diferencia de potencial entre un punto del sistema y algún otro de referencia como tierra o potencial de tierra. En razón de ser medida como diferencia entre el potencial escalar de dos puntos, es una cantidad escalar.

Una variable *through*, representa el flujo de alguna cantidad que atraviesa una sección transversal elemental del campo. En un sistema eléctrico *through* es el flujo de corriente; éste es, la tasa de flujo de electrones por unidad de área. Esta cantidad es especificada mediante la medición hecha en un punto del campo, en términos de magnitud; dirección y sentido del flujo; es consecuentemente una cantidad vectorial. La relación entre las variables *across* y *through* se expresa en función de los parámetros del sistema. Estos parámetros, para sistemas de campo o de parámetros distribuidos o bien para sistemas de parámetros concentrados o globales, pueden dividirse en tres tipos diferentes conforme al rol que juegan en los mecanismos de transferencia asociados a las características del sistema.

Los disipadores, incrementan la entropía del sistema y del medio; básicamente disipan energía. La relación entre variables *across* y *through* para un sistema disipativo, es análoga a la que se establece en sistemas de parámetros concentrados o globales que disipan energía. La caída de tensión ΔV , depende del resistor eléctrico R y de la corriente I : $\Delta V = I R$.

En un sistema de parámetros distribuidos, la caída de tensión, se reemplaza por el gradiente de tensión:

$$\frac{\partial V}{\partial x} = -\frac{1}{\sigma} I .$$

Para sistemas en general:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -D f , \text{ donde:}$$

- D = disipatividad por unidad de longitud;
- f = flujo o variable *through* ;
- p = potencial o variable *across* ;
- x = variable de posición.

Nota: el signo menos se debe a que el flujo actúa en la dirección del potencial decreciente.

Los reservorios de flujo, aparecen cuando el campo se comporta como almacenador de flujo o energía; es el caso de la inductancia de un sistema eléctrico; la inercia de un sistema mecánico o de un fluido en movimiento. El gradiente de presión es proporcional a la tasa de cambio de la velocidad o del flujo másico con respecto al tiempo. Asumiendo densidad constante, lo expresado se simboliza por:

$$\frac{\partial P}{\partial x} = -\frac{\rho}{g} \frac{\partial v}{\partial t}, \text{ donde:}$$

- P = presión;
- g = constante gravitacional;
- t = tiempo;
- v = velocidad;
- ρ = densidad del fluido.

Para sistemas en general, la ecuación precedente se expresa como:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -E_f \frac{\partial f}{\partial t}, \text{ donde:}$$

E_f es una medida de la capacidad del reservorio de flujo por unidad de longitud del campo.

Los reservorios de potencial, se tienen cuando el campo actúa como tal. Es el caso de la capacitancia o de la capacidad calórica. Para transmisión del calor por conducción, el gradiente de flujo se relaciona con la tasa de cambio de la temperatura en función del tiempo, como sigue:

$$\frac{\partial q}{\partial x} = -c_p \rho \frac{\partial T}{\partial t}, \text{ donde:}$$

- c_p = capacidad calorífica;
- q = flujo calórico;
- T = temperatura.

En sistemas generales se tiene la siguiente ecuación:

$$\frac{\partial f}{\partial x} = -E_p \frac{\partial p}{\partial t}, \text{ donde:}$$

E_p es una medida de la capacidad del reservorio de potencial por unidad de longitud del campo.

Los tres parámetros básicos descriptos, permiten caracterizar prácticamente todos los sistemas físicos. La presencia o ausencia de uno o más de ellos, determina la forma general de la ecuación diferencial que describe el sistema. La **Tabla AAF - 01**, muestra el significado físico de los tres parámetros básicos para diferentes sistemas.

Un conjunto de ecuaciones diferenciales parciales puede considerarse como derivado de la ecuación diferencial parcial general de dos variables independientes ζ , ξ que sigue:

$$a_1 \frac{\partial^2 p}{\partial \zeta^2} + 2 a_2 \frac{\partial^2 p}{\partial \zeta \partial \xi} + a_3 \frac{\partial^2 p}{\partial \xi^2} = a_4 \frac{\partial p}{\partial \zeta} + a_5 \frac{\partial p}{\partial \xi} + a_6 p + a_7, \text{ donde:}$$

a_1, \dots, a_7 son constantes.

Tabla AAF - 01 - VARIABLES ACROSS Y THROUGH Y PARÁMETROS BÁSICOS PARA SISTEMAS FÍSICOS ESPECÍFICOS.

ÁMBITO FÍSICO	VARIABLE ACROSS p	VARIABLE THROUGH f	PARÁMETROS		
			DISIPADORES D	RESERVORIOS DE FLUJO E_f	RESERVORIOS DE POTENCIAL E_p
Electrodinámica	Tensión	Corriente	Resistividad	Inductancia	Capacitancia
Magnetismo	Potencial	Flujo	Reluctancia	Permeabilidad	—
Electromagnetismo	Potencial	Flujo	Conductividad	Permeabilidad	Permisividad Dieléctrica
Traslación Mecánica	Desplazamiento o Velocidad	Fuerza	Amortiguamiento Viscoso	Constante del Resorte	Masa de Inercia
Rotación Mecánica	Desplazamiento Angular o Velocidad	Torque	Amortiguamiento Viscoso	Constante del Resorte	Inercia
Fluidodinámica	Potencial de Velocidad (Presión)	Tasa de Flujo	Viscosidad	Inercia (Densidad)	Compresibilidad
Transferencia de Masa	Concentración	Flujo Másico	Difusividad	Fuerzas de Inercia	Compresibilidad
Transferencia de Calor	Temperatura	Flujo Calórico	Resistencia Térmica	—	Capacitancia Térmica

Si se considera el caso en el cual el sistema no tiene reservorios de flujo ni de potencial, sino solamente el parámetro disipativo D , se tiene la situación que prevalece en problemas de campo potencial bajo condiciones de régimen estacionario. La ecuación de Laplace o ecuación parabólica puede derivarse para una sola dimensión y el resultado extenderse a sistemas bi y tridimensionales. Se considera el caso en el cual el flujo o variable *through* pasa a través de un elemento unidimensional, sobre el cual se realiza un balance en el que el flujo se considera la cantidad conservada. Un flujo positivo es el que discurre o fluye según la dirección positiva de la variable independiente. El flujo a través de la cara x , se indica con f y el que sale de la cara $x + \Delta x$, es: $f + \frac{df}{dx} \Delta x$. Dado que no hay reservorios de potencial dentro del elemento, la tasa de flujo entrante debe ser igual a la tasa de flujo saliente; por consiguiente:

$$f = f + \frac{df}{dx} \Delta x \quad , \text{ o bien: } \frac{df}{dx} = 0 .$$

Para sistemas disipativos el flujo f se relaciona con el gradiente de potencial:

$$f = - \frac{1}{D} \frac{dp}{dx} .$$

Sustituyendo, se tiene:

$$\frac{d}{dx} \left[\frac{1}{D} \frac{dp}{dx} \right] = 0 .$$

Esta forma de la ecuación de Laplace se emplea en casos en que la disipatividad varía con la variable x . Cuando la disipatividad es constante, resulta:

$$\frac{d^2 p}{dx^2} = 0 .$$

Debe advertirse que el parámetro de disipatividad D , no aparece en la expresión.

Para un sistema tridimensional, con disipatividad variable, la ecuación de Laplace adopta la forma siguiente:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{D} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{D} \frac{\partial p}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{D} \frac{\partial p}{\partial z} \right) = 0 .$$

Si D es constante la ecuación es:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} = 0 , \text{ donde nuevamente no aparece la difusividad.}$$

La ecuación anterior puede escribirse como: $\nabla^2 p = 0$, donde ∇^2 es el operador de Laplace definido por:

$$\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} .$$

Similarmente la ecuación referida a sistemas tridimensionales con D variable puede escribirse:

$$\nabla \cdot \left(\frac{1}{D} \nabla p \right) = 0 , \text{ donde } \nabla \text{ es:}$$

$$\nabla = \left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right) .$$

La notación empleada corresponde al producto punto de dos vectores, como sigue:

$$\begin{aligned} & \left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y}, \frac{\partial}{\partial z} \right) \cdot \left(\frac{1}{D} \frac{\partial p}{\partial x}, \frac{1}{D} \frac{\partial p}{\partial y}, \frac{1}{D} \frac{\partial p}{\partial z} \right) = \\ & = \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{1}{D} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{1}{D} \frac{\partial p}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{D} \frac{\partial p}{\partial z} \right) \end{aligned}$$

Si la disipatividad D es significativa, como también lo es la capacidad del sistema para actuar como reservorio de potencial E_p y la capacidad para actuar como reservorio de flujo E_f es desestimable, entonces el sistema puede ser descrito mediante la ecuación de difusión o ecuación elíptica. Tal situación se plantea en la transmisión de calor por conducción en condiciones de régimen no-estacionario; en problemas de flujo compresible y en sistemas eléctricos donde son preponderantes la capacitancia y la resistencia.

El flujo que atraviesa la cara x de un elemento unidimensional, es f y el que sale por la cara $x + \Delta x$ es $f + \frac{\partial f}{\partial x} \Delta x$. Para un sistema que puede actuar como reservorio de potencial, la diferencia entre el flujo entrante y el flujo saliente, se relaciona con la capacidad del sistema para actuar como reservorio de potencial; se tiene entonces:

$$f - \left\{ f + \frac{\partial f}{\partial x} \Delta x \right\} = E_p \Delta x \frac{\partial p}{\partial t} \quad \text{o bien:} \quad \frac{\partial f}{\partial x} = - E_p \frac{\partial p}{\partial t} .$$

Debe observarse que el flujo f , se relaciona con el gradiente de potencial, como sigue:

$f = -\frac{1}{D} \frac{\partial p}{\partial x}$; de lo expresado, se tiene: $\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = E_p D \frac{\partial p}{\partial t}$, donde D es constante; ésta es la ecuación de difusión en una dirección.

En tres dimensiones, se tiene: $\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} = E_p D \frac{\partial p}{\partial t}$.

Empleando el operador laplaciano, resulta: $\nabla^2 p = E_p D \frac{\partial p}{\partial t}$.

La ecuación de difusión, se reduce a la ecuación de Laplace en condiciones de régimen estacionario. La ecuación de difusión, puede aplicarse en situaciones en que la disipatividad del sistema es significativa y también lo es, la capacidad del sistema para actuar como reservorio de flujo E_f , pero es despreciable la capacidad del sistema para actuar como reservorio de potencial E_p . En sistemas que actúan como reservorios de flujo y de potencial, con un parámetro de disipatividad no significativo, se aplica la ecuación de onda o ecuación hiperbólica. Es el caso de la cuerda vibrante, perfectamente elástica y el caso de circuitos eléctricos capacitivos e inductivos. Para obtener la ecuación hiperbólica se consideran las ecuaciones:

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -E_f \frac{\partial f}{\partial t}$$

$$\frac{\partial f}{\partial x} = -E_p \frac{\partial p}{\partial t}$$

Derivando la primera de ellas, parcialmente con respecto a x y la segunda con respecto al tiempo, se tiene:

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial t} = -\frac{1}{E_f} \frac{\partial^2 p}{\partial x^2}$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x \partial t} = -E_p \frac{\partial^2 p}{\partial t^2}$$

De ellas se deduce la ecuación de onda unidimensional: $\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = E_f E_p \frac{\partial^2 p}{\partial t^2}$.

La expresión precedente, en tres dimensiones, es:

$$\frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} = E_f E_p \frac{\partial^2 p}{\partial t^2}$$

Empleando el operador laplaciano, resulta: $\nabla^2 p = E_f E_p \frac{\partial^2 p}{\partial t^2}$, que se reduce a

la ecuación de Laplace, en condiciones de régimen estacionario; sin embargo, los sistemas descriptos por esta ecuación, no alcanzan condiciones estacionarias, tal el caso de situaciones en que p , no es una función del tiempo. Consiguientemente, cualquier movimiento continúa indefinidamente, sin amortiguamiento.

En el estudio del campo eléctrico de un conductor funcionando en estado estacionario, no son importantes los efectos capacitivos e inductivos. El único parámetro significativo es la conductividad eléctrica σ . Aplicando la ecuación de Laplace, se tiene que la tensión en un punto del conductor, con σ constante, se describe mediante: $\nabla^2 V = 0$.

El perfil de concentración en un medio difusivo en estado estacionario, responde a la ecuación que sigue, donde el operador nabla cuadrado se aplica sobre la concentración C_A . Los reservorios de flujo y potencial, no son relevantes en el presente caso, donde la difusividad molecular es constante: $\nabla^2 C_A = 0$.

Para flujo laminar en estado estacionario a través de un medio poroso, la velocidad que es una variable *through*, está relacionada con el gradiente de presión, mediante la ley de Darcy:

$$v_s = - \frac{\kappa}{\mu} \frac{\partial P}{\partial x}, \text{ donde:}$$

v_s = velocidad superficial;

κ = permeabilidad del medio poroso;

μ = viscosidad del fluido;

P = presión.

En régimen estacionario, los reservorios de energía, no son importantes; la disipatividad, tal como se define en la ley de Darcy, si lo es. El perfil de presión en el medio, es dado por la ecuación de Laplace, donde las capas tienen una relación κ/μ , constante: $\nabla^2 P = 0$.

Cabe observar que a pesar de ser los sistemas precedentemente considerados diferentes, todos son descriptos mediante la ecuación de Laplace. Ésto constituye el fundamento de la construcción de modelos analógicos. Un tratamiento similar se aplica a sistemas descriptos por la ecuación de difusión y por la ecuación de onda. Los campos con fuentes y sumideros distribuidos, constituyen una modificación que puede ser aplicada a las tres ecuaciones fundamentales anteriores. La situación se ilustra para la ecuación de Laplace a partir de la cual puede hacerse la extensión a las otras ecuaciones. Si se considera una barra a través de la cual la corriente fluye, la resistencia del conductor provoca la conversión de parte de la energía eléctrica en energía térmica. Dado que la resistencia de la barra es un parámetro distribuido, el valor es generado en todos los puntos de ésta; consiguientemente hay una fuente distribuida de energía térmica, que no es considerada por la ecuación de Laplace. Otras situaciones en las cuales este fenómeno ocurre se relacionan con la transferencia de calor desde la superficie de una varilla; con la transferencia de masa por difusión molecular, acompañada por reacciones químicas; con el calor liberado por la disipación viscosa en sistemas de fluidos; etc. Para desarrollar una forma modificada de la ecuación de Laplace se considera un elemento unidimensional, el flujo que ingresa al elemento a través de la cara x , es f y el flujo que abandona el elemento a través de la cara $x + \Delta x$, es $f + \frac{df}{dx} \Delta x$. Si el elemento no tiene capacidad para actuar como reservorio de flujo o de potencial, el flujo entrante debe igualar al flujo saliente del elemento. Si la tasa a la cual el flujo entra en una unidad de longitud del sistema, se indica por k , un balance en el elemento, muestra que:

$$f + k \Delta x = f + \frac{df}{dx} \Delta x, \text{ o bien: } \frac{df}{dx} = k.$$

Si se sustituyen las relaciones entre f y p para un elemento disipativo donde D es independiente de x se tiene: $\frac{d^2 p}{dx^2} = -k D$. Esta ecuación se generaliza a sistemas de mayor dimensión; empleando el operador laplaciano; se obtiene la ecuación de Poisson, en la cual k , puede ser una función de p , lo que sucede en sistemas reactivos: $\nabla^2 p = -k D$.

Si la modificación anterior se realiza sobre la ecuación de difusión, se tiene:

$$\nabla^2 p = D E_p \frac{\partial p}{\partial t} - k D.$$

Similarmente con C_3 y C_4 como funciones de los parámetros del sistema, la ecuación de onda resulta: $\nabla^2 p = C_3 \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} - C_4$.

Si una cuerda real es perturbada, la oscilación decae gradualmente con el tiempo; ésto se modeliza con la ecuación de la onda amortiguada. Dado que la ecuación de onda se dedujo para el caso en que no ocurre amortiguamiento, la excitación nunca cesa. Para considerar los efectos del amortiguamiento, debe ser tenido en cuenta el parámetro de disipación. Con C_5 ; C_6 y C_7 dependiendo de los parámetros del sistema, se tiene una ecuación que también aparece en problemas de mecánica de los fluidos, en los cuales la viscosidad; la compresibilidad y los efectos de inercia son apreciables. En cualquier otro problema en que estén presente los tres parámetros D ; E_p y E_f , se aplica la ecuación de onda amortiguada; tal el caso de la electrodinámica, en situaciones donde la resistencia, la inductancia y la capacitancia son significativas.

$$\nabla^2 p = C_5 \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} + C_6 \frac{\partial p}{\partial t} + C_7$$

Al deducirse la ecuación de difusión se asumió que el sistema se mantiene en reposo; sin embargo, en el caso de fluidos en movimiento la derivada parcial con respecto al tiempo en la ecuación de difusión debe ser reemplazada por la derivada sustancial con respecto al tiempo, la que siendo v_x ; v_y y v_z las componentes de velocidad en las direcciones x ; y y z , se define como sigue:

$$\frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + v_x \frac{\partial}{\partial x} + v_y \frac{\partial}{\partial y} + v_z \frac{\partial}{\partial z}$$

La razón de la modificación anterior, reside en que el tiempo real debe ser sustituido por un tiempo efectivo, el que incluye los efectos del movimiento del fluido. Entonces la ecuación de difusión para sistemas en movimiento se escribe: $\nabla^2 p = \frac{D p}{Dt}$. Son ejemplos de esta situación, la transferencia de calor y la difusión en una corriente de fluido.

10. 3. 5. - CAMPOS ESCALARES Y VECTORIALES

Si a cada punto (x, y, z) de una región del espacio, se hace corresponder un número $f(x, y, z)$, f es un campo escalar; ésto es, una función escalar de tres variables. En los cinco primeros ejemplos siguientes, el campo está definido para todo punto del espacio; en el último, lo está en todos los puntos (x, y, z) , excepto donde $x^2 + y^2 = 0$, es decir sobre el eje z .

$$f(x, y, z) = x + 2y - 3z ;$$

$$f(x, y, z) = x^2 + y^2 + z^2 ;$$

$$f(x, y, z) = x^2 + y^2 ;$$

$$f(x, y, z) = \frac{x^2}{4} + \frac{y^2}{9} + z^2 ;$$

$$f(x, y, z) = \sqrt{x^2 + y^2} - z ;$$

$$f(x, y, z) = \frac{1}{x^2 + y^2}$$

Si f es un campo escalar, toda superficie $f(x, y, z) = \text{constante}$, se dice isotímica o de igual valor. Para los ejemplos precedentes, las superficies isotímicas son, respectivamente:

Todos los planos perpendiculares al vector $\mathbf{i} + 2\mathbf{j} - 3\mathbf{k}$;

Todas las esferas con centro en el origen;

Todos los cilindros circulares rectos, con el eje z como eje de simetría;

Una familia de elipsoides;

Una familia de conos;

Todos los cilindros circulares rectos, con el eje z como eje de simetría.

Distintas superficies isotímicas del mismo campo escalar, no se intersectan, dado que se asocia un solo número $f(x, y, z)$ con un punto (x, y, z) . Si se hace pasar una recta paralela a un vector \mathbf{u} unitario por un punto (x_0, y_0, z_0) , llamando s a la medida del desplazamiento sobre la recta, con $s = 0$, equivalente a (x_0, y_0, z_0) , se tiene que para cada valor de s , corresponde un punto (x, y, z) sobre la recta y por ende un valor escalar $f(x, y, z)$.

Si la derivada $\left. \frac{d}{ds} f(x, y, z) \right|_{\substack{x=x_0 \\ y=y_0 \\ z=z_0}}$, existe, se tiene la derivada direccional de $f(x, y, z)$, evaluada en $s = 0$ o (x_0, y_0, z_0) , en la dirección del vector \mathbf{u} .

La derivada direccional de f , es la tasa de cambio del campo escalar $f(x, y, z)$, por unidad de distancia en la dirección del vector \mathbf{u} ; si ésta se toma paralela al eje x es la $\frac{\partial}{\partial x} f(x, y, z)$, similarmente, en la dirección positiva de los ejes y, z , es la $\frac{\partial}{\partial y} f(x, y, z)$ y la $\frac{\partial}{\partial z} f(x, y, z)$, respectivamente.

Un vector unitario en una determinada dirección, se tiene haciendo $d\mathbf{R}/ds$, donde $\mathbf{R} = x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k}$; entonces:

$$\mathbf{u} = \frac{dx}{ds}\mathbf{i} + \frac{dy}{ds}\mathbf{j} + \frac{dz}{ds}\mathbf{k}$$

Debe observarse que $x(s)$, $y(s)$, $z(s)$ son funciones del parámetro s . Con derivadas parciales continuas en la región, la derivada direccional puede escribirse:

$$\frac{df}{ds} = \frac{\partial f}{\partial x} \frac{dx}{ds} + \frac{\partial f}{\partial y} \frac{dy}{ds} + \frac{\partial f}{\partial z} \frac{dz}{ds}$$

Si el vector gradiente de f se define como sigue: $\mathbf{grad} f = \frac{\partial f}{\partial x}\mathbf{i} + \frac{\partial f}{\partial y}\mathbf{j} + \frac{\partial f}{\partial z}\mathbf{k}$, la derivada direccional, es el producto escalar o producto punto del vector \mathbf{u} por el vector gradiente f :

$$\frac{df}{ds} = \mathbf{u} \cdot \mathbf{grad} f$$

Como $\mathbf{u} \cdot \mathbf{grad} f = |\mathbf{u}| |\mathbf{grad} f| \cos \theta = |\mathbf{grad} f| \cos \theta$, la componente del $\mathbf{grad} f$ en una dada dirección, proporciona la derivada direccional df/ds , en esa dirección y el vector $\mathbf{grad} f$ se orienta en la dirección de la mayor tasa de cambio de la función f .

Si \mathbf{u} apunta en la dirección de $\mathbf{grad} f$, se tiene que $\mathbf{u} \cdot \mathbf{grad} f = |\mathbf{u}| |\mathbf{grad} f| \cos \theta = |\mathbf{grad} f|$ y entonces la magnitud de $\mathbf{grad} f$ expresa la tasa máxima de crecimiento de f por unidad de distancia, además a través de cualquier punto (x_0, y_0, z_0) donde $\mathbf{grad} f \neq 0$, pasa una superficie isotímica $f(x, y, z) = \text{constante}$ y $\mathbf{grad} f$ es normal a ella en el punto (x_0, y_0, z_0) .

Aplicando la definición de $\mathbf{grad} f$ a los ejemplos previamente propuestos, se tiene que en el primero, $\mathbf{grad} f$ es constantemente perpendicular a todo plano de la forma $x + 2y - 3z = \text{constante}$ y en el segundo, las superficies isotímicas son esferas centradas en el origen y la recta de acción del vector $\mathbf{grad} f = 2\mathbf{R}$ pasa por el origen apuntando la flecha hacia afuera.

10.3.5.1. - Ejemplo: calcular la df/ds en la dirección del vector $4\mathbf{i} + 4\mathbf{j} - 2\mathbf{k}$, en el punto $(1, 1, 2)$, siendo $f(x, y, z) = x^2 + y^2 - z$:

$\mathbf{grad} f = 2x\mathbf{i} + 2y\mathbf{j} - \mathbf{k} = 2\mathbf{i} + 2\mathbf{j} - \mathbf{k}$ en $(1, 1, 2)$; un vector unitario en la dirección consignada, es: $\mathbf{u} = \frac{2}{3}\mathbf{i} + \frac{2}{3}\mathbf{j} - \frac{1}{3}\mathbf{k}$; como $\frac{df}{ds} = \mathbf{u} \cdot \mathbf{grad} f = \frac{4}{3} + \frac{4}{3} + \frac{1}{3} = 3$, significa que en la dirección especificada y partiendo de $(1, 1, 2)$, el valor de la función aumenta tres unidades por unidad de distancia.

Un campo vectorial \mathbf{F} , es una regla que asocia un vector $\mathbf{F}(x, y, z)$ a cada punto (x, y, z) de una región; es una función vectorial de tres variables:

$\mathbf{F}(x, y, z) = F_1(x, y, z)\mathbf{i} + F_2(x, y, z)\mathbf{j} + F_3(x, y, z)\mathbf{k}$. Si \mathbf{F} está definido; es no-nulo en cada punto de una región del espacio y es tangente en todos los puntos a una curva, ésta es la línea de flujo o de corriente o la curva característica.

Como la dirección de una línea de flujo, es determinada únicamente por el campo vectorial \mathbf{F} , no es posible que dos curvas características se crucen. Si la magnitud de \mathbf{F} es cero en algún punto del espacio, no hay definición de dirección en ese punto y consiguientemente, no pasa por él, una línea de flujo.

Si \mathbf{R} es el vector de posición de un punto arbitrario de una línea de corriente y s representa la longitud de un arco medido sobre la curva, entonces el vector unitario, tangente a la curva en el punto, es:

$$\mathbf{T} = \frac{d\mathbf{R}}{ds} = \frac{dx}{ds} \mathbf{i} + \frac{dy}{ds} \mathbf{j} + \frac{dz}{ds} \mathbf{k}$$

Como \mathbf{T} debe tener la misma dirección de \mathbf{F} , se tiene: $\mathbf{T} = \beta \mathbf{F}$, donde $\beta = \beta(x, y, z)$ es una función escalar. Se deduce para los componentes:

$$\beta F_1 = \frac{dx}{ds} \quad ; \quad \beta F_2 = \frac{dy}{ds} \quad ; \quad \beta F_3 = \frac{dz}{ds}$$

Si F_1 ; F_2 y F_3 son todas no-nulas, puede eliminarse β y escribirse:

$$\frac{dx}{F_1} = \frac{dy}{F_2} = \frac{dz}{F_3}$$

Se dispone de dos entidades formales fundamentales para medir la tasa de cambio de un campo vectorial, la divergencia y el rotacional. La divergencia de un campo vectorial, es un campo escalar que evalúa en cada punto, cuánto diverge el campo; el rotacional de un campo vectorial, es un campo vectorial que evalúa en cada punto, la rotación del campo en su vecindad.

Siendo un campo vectorial $\mathbf{F} = F_1 \mathbf{i} + F_2 \mathbf{j} + F_3 \mathbf{k}$; δS el área de una sección cualquiera que limita una superficie de control; \mathbf{n} un vector unitario, normal a la superficie δS , por la que en Δt fluye un volumen $\mathbf{F} \Delta t \cdot \mathbf{n} \delta S$, se tiene que el volumen que atraviesa el área δS en la dirección \mathbf{n} por unidad de tiempo, es aproximadamente $\mathbf{F} \cdot \mathbf{n} \delta S$, llamado flujo del campo vectorial \mathbf{F} a través del área δS .

Considerando el flujo total del campo \mathbf{F} , a través de las seis caras de un paralelepípedo recto, pequeño, finito, donde \mathbf{n} se dirige hacia afuera en las seis caras; dividiendo el flujo por el volumen $\Delta x \Delta y \Delta z$ y pasando al límite cuando éste tiende a cero, se obtiene la divergencia de \mathbf{F} en el punto (x, y, z) o $\text{div } \mathbf{F}$. El flujo total saliente de las caras paralelas al plano $y - z$, es:

$$[F_1(x + \Delta x, y, z) - F_1(x, y, z)] \Delta y \Delta z$$

La diferencia entre los valores F_1 , está dada por: $\frac{\partial F_1}{\partial x} \Delta x$. Resulta entonces que la contribución neta al flujo saliente por las caras consideradas, es: $\frac{\partial F_1}{\partial x} \Delta x \Delta y \Delta z$

Sumando todos los aportes, se tiene: $\left(\frac{\partial F_1}{\partial x} + \frac{\partial F_2}{\partial y} + \frac{\partial F_3}{\partial z} \right) \Delta x \Delta y \Delta z$.

Luego, dividiendo por $\Delta x \Delta y \Delta z$, resulta la $\text{div } \mathbf{F} = \frac{\partial F_1}{\partial x} + \frac{\partial F_2}{\partial y} + \frac{\partial F_3}{\partial z}$

10.3.5.2. - Ejemplos: hallar la $\text{div } \mathbf{F}$, si $\mathbf{F} = x \mathbf{i} + y^2 z \mathbf{j} + x z^3 \mathbf{k}$; $\text{div } \mathbf{F} = 1 + 2 y z + 3 x z^2$;

Hallar la $\text{div } \mathbf{F}$, si $\mathbf{F} = x e^y \mathbf{i} + e^{xy} \mathbf{j} + \text{sen}(yz) \mathbf{k}$; $\text{div } \mathbf{F} = e^y + x e^{xy} + y \cos(yz)$

Para formalizar la noción de vector rotacional o rotor, se aplica un vector de campo \mathbf{F} , en un punto de coordenadas $(x + \Delta x, y + \Delta y)$, posicionable polarmente mediante un módulo r y un argumento θ . El origen del radio vector se ubica en el punto de coordenadas (x, y, z) . En el punto de aplicación de \mathbf{F} , se consideran dos vectores unitarios; \mathbf{u}_r en la dirección de r y normalmente a este \mathbf{u}_ϕ , tangente a una trayectoria circular. Se cumple que:

$$\mathbf{u}_\phi = -\text{sen } \theta \mathbf{i} + \text{cos } \theta \mathbf{j}$$

Las dos primeras componentes del vector de campo \mathbf{F} en el punto $(x + \Delta x, y + \Delta y, z)$, pueden expresarse como:

$$F_1(x + \Delta x, y + \Delta y, z) = F_1(x, y, z) + \frac{\partial F_1}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial F_1}{\partial y} \Delta y$$

$$F_2(x + \Delta x, y + \Delta y, z) = F_2(x, y, z) + \frac{\partial F_2}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial F_2}{\partial y} \Delta y$$

F_3 se desestima en razón de centrarse el interés en la componente que produce giro antihorario de $\mathbf{F} \cdot \mathbf{u}_\phi$. Expresando $\Delta x, \Delta y$ en términos de (r, ϕ) , resulta:

$$\Delta x = r \text{cos } \theta$$

$$\Delta y = r \text{sen } \theta$$

Se tiene para la componente antihoraria de \mathbf{F} sobre el círculo en (r, ϕ) :

$$\mathbf{F} \cdot \mathbf{u}_\phi = - \left(F_1 + \frac{\partial F_1}{\partial x} r \text{cos } \theta + \frac{\partial F_1}{\partial y} r \text{sen } \theta \right) \text{sen } \theta + \left(F_2 + \frac{\partial F_2}{\partial x} r \text{cos } \theta + \frac{\partial F_2}{\partial y} r \text{sen } \theta \right) \text{cos } \theta$$

Su valor promedio, es: $\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \mathbf{F} \cdot \mathbf{u}_\phi d\theta$

Dado que las integrales sobre un período, de $\text{sen } \theta$; $\text{cos } \theta$ y $(\text{sen } \theta)(\text{cos } \theta)$, son nulas y como $\int_0^{2\pi} \text{sen}^2 \theta d\theta = \int_0^{2\pi} \text{cos}^2 \theta d\theta = \pi$, el valor promedio se interpreta como:

$$\frac{1}{2} r \left(\frac{\partial F_2}{\partial x} - \frac{\partial F_1}{\partial y} \right); \quad \text{dividiendo por } r, \text{ se obtiene la velocidad}$$

angular provocada por el vector de campo \mathbf{F} , alrededor del eje z :

$\frac{1}{2} \left(\frac{\partial F_2}{\partial x} - \frac{\partial F_1}{\partial y} \right)$; la velocidad angular debida al vector de

campo \mathbf{F} , alrededor del eje x , es:

$\frac{1}{2} \left(\frac{\partial F_3}{\partial y} - \frac{\partial F_2}{\partial z} \right)$; la velocidad angular debida al vector de

campo \mathbf{F} , alrededor del eje y , es:

$\frac{1}{2} \left(\frac{\partial F_1}{\partial z} - \frac{\partial F_3}{\partial x} \right)$

Interesa conocer el vector rotación ; rotacional o curl del campo vectorial para expresar su tendencia a rotar. Eliminando el factor $1/2$, se tiene que el $\mathbf{curl F}$ es:

$$\mathbf{curl F} = \left(\frac{\partial F_3}{\partial y} - \frac{\partial F_2}{\partial z} \right) \mathbf{i} + \left(\frac{\partial F_1}{\partial z} - \frac{\partial F_3}{\partial x} \right) \mathbf{j} + \left(\frac{\partial F_2}{\partial x} - \frac{\partial F_1}{\partial y} \right) \mathbf{k} ; \text{ o bien:}$$

$$\mathbf{curl F} = \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ F_1 & F_2 & F_3 \end{vmatrix}$$

10.3.5.3. - Ejemplo: calcular $\mathbf{curl F}$, si: $\mathbf{F} = x y z \mathbf{i} + x^2 y^2 z^2 \mathbf{j} + y^2 z^3 \mathbf{k}$

$$\mathbf{curl F} = \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ xyz & x^2 y^2 z^2 & y^2 z^3 \end{vmatrix} = (2 y z^3 - 2 x^2 y^2 z) \mathbf{i} + (xy) \mathbf{j} + (2 x y^2 z^2 - xz) \mathbf{k}$$

Los tres operadores considerados: gradiente; divergencia y rotacional; se relacionan con el operador vectorial nbla:

$$\mathbf{grad} f = \nabla f = \left(\mathbf{i} \frac{\partial}{\partial x} + \mathbf{j} \frac{\partial}{\partial y} + \mathbf{k} \frac{\partial}{\partial z} \right) f = \left(\mathbf{i} \frac{\partial f}{\partial x} + \mathbf{j} \frac{\partial f}{\partial y} + \mathbf{k} \frac{\partial f}{\partial z} \right)$$

$$\mathbf{div F} = \nabla \cdot \mathbf{F} = \left(\mathbf{i} \frac{\partial}{\partial x} + \mathbf{j} \frac{\partial}{\partial y} + \mathbf{k} \frac{\partial}{\partial z} \right) \cdot (\mathbf{i} F_1 + \mathbf{j} F_2 + \mathbf{k} F_3) = \frac{\partial F_1}{\partial x} + \frac{\partial F_2}{\partial y} + \frac{\partial F_3}{\partial z}$$

$$\mathbf{curl F} = \nabla \times \mathbf{F} = \left(\mathbf{i} \frac{\partial}{\partial x} + \mathbf{j} \frac{\partial}{\partial y} + \mathbf{k} \frac{\partial}{\partial z} \right) \times (\mathbf{i} F_1 + \mathbf{j} F_2 + \mathbf{k} F_3) = \begin{vmatrix} \mathbf{i} & \mathbf{j} & \mathbf{k} \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \\ F_1 & F_2 & F_3 \end{vmatrix}$$

El Operador Laplaciano, está compuesto de dos operadores: **grad** y div. El Laplaciano de un campo escalar se define como $\text{div}(\text{grad } f)$. El **grad** f es un campo vectorial y la divergencia de **grad** f es un campo escalar, por lo tanto el Laplaciano de un campo escalar f es un campo escalar. En notación nábla, es: $\nabla \cdot (\nabla f)$ y para simplificar frecuentemente se escribe: $\nabla^2 f = \Delta f$. Se tiene:

$$\text{laplaciano}(f) = \nabla^2 f = \nabla \cdot (\nabla f) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial z^2} = \Delta f \quad , \text{ dado que:}$$

$$\nabla \cdot (\nabla f) = \nabla \cdot \left(\frac{\partial f}{\partial x} \mathbf{i} + \frac{\partial f}{\partial y} \mathbf{j} + \frac{\partial f}{\partial z} \mathbf{k} \right) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial z^2} \quad , \text{ donde:}$$

$$\nabla^2 = \Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

La ecuación $\Delta f = \nabla^2 f = 0$ es la llamada ecuación de Laplace o Ecuación Laplaciana; toda función que satisfaga esta ecuación en una región dada, se dice que es armónica en esa región. El Operador Laplaciano es el más importante operador diferencial en Física-matemática. Si f es un escalar, entonces $\nabla^2 f(x, y, z)$ denota el valor de $\nabla^2 f$ en el punto (x, y, z) ; proporciona una **medida de la diferencia** entre el **valor promedio del campo en la vecindad** inmediata del punto y el valor preciso del campo en el punto. Si $\nabla^2 f$ es positivo en un punto y f denota la temperatura, significa que la temperatura en la vecindad del punto en promedio, es mayor que la temperatura en el punto mismo. En particular, si la temperatura toma su mínimo valor en algún punto del espacio, es razonable esperar que el valor de $\nabla^2 f$ no sea negativo en ese punto. El Laplaciano puede considerarse como una generalización en tres dimensiones del operador d^2/dx^2 . Si $\nabla^2 f$ es cero, el valor medio de f en un entorno esférico o cúbico del punto será exactamente igual al valor de f en el centro de la esfera o del cubo. Si (x, y, z) es un punto fijo en el espacio y \bar{f} denota el valor medio de f en el interior de una esfera o cubo con centro en (x, y, z) y la esfera o cubo es suficientemente pequeña, se tendrá aproximadamente: $\bar{f} - f(x, y, z) = k \nabla^2 f(x, y, z)$, donde k es una constante positiva, dependiente solamente de las dimensiones de la esfera o cubo.

El operador diferencial formal: $\Delta = \nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$, puede ser aplicado a campos vectoriales para obtener un nuevo campo vectorial. Si \mathbf{F} es un campo vectorial, entonces: $\nabla^2 \mathbf{F} = (\partial^2 \mathbf{F} / \partial x^2) + (\partial^2 \mathbf{F} / \partial y^2) + (\partial^2 \mathbf{F} / \partial z^2)$.

10. 3. 5. 4. - Ejemplo: si $\mathbf{F} = x^2 y \mathbf{i} + y^2 z^3 \mathbf{j} + x y z^4 \mathbf{k}$, se tiene :

$$\frac{\partial^2 \mathbf{F}}{\partial x^2} = 2 y \mathbf{i}; \quad \frac{\partial^2 \mathbf{F}}{\partial y^2} = 2 z^3 \mathbf{j}; \quad \frac{\partial^2 \mathbf{F}}{\partial z^2} = 6 y^2 z \mathbf{j} + 12 x y z^2 \mathbf{k}$$

$$\text{Luego: } \nabla^2 \mathbf{F} = 2 y \mathbf{i} + (2 z^3 + 6 y^2 z) \mathbf{j} + 12 x y z^2 \mathbf{k}$$

Cuando se usa en este sentido, para operar en campos vectoriales produciendo campos vectoriales, ∇^2 se llama Operador Laplaciano Vectorial.

10. 3. 6. - FUNCIONES SIGMOIDEA Y LOGÍSTICA; NO-LINEALIDAD; BIFURCACIONES Y CAOS

La biomasa, por ejemplo, expresada mediante alguna entidad biofísica o geométrica, varía en función del tiempo; aumentando si el proceso es creciente. Si el proceso es decreciente, decayendo o disminuyendo. En el primer caso, se alcanza una meseta o *plateau* o valor de máxima realización, al cabo de un tiempo t . La función sigmoidea $SC(t) = \frac{M}{1 + K e^{-kt}}$,

tiene tres parámetros que dependen del proceso objeto de modelización. El valor de M o valor de máxima realización es el límite al cual tiende $SC(t)$ cuando $t \Rightarrow \infty$, pues al hacer $t \Rightarrow \infty$, el sumando $K e^{-kt}$ tiende a cero. Si se toma el tiempo estadístico medio de completamiento del proceso como $t_{\text{final}} = \tau$, el punto de inflexión, tiene coordenadas $(\frac{1}{2} \tau, \frac{1}{2} M)$; entonces:

$$SC(t) \Big|_{t=\frac{1}{2}\tau} = \frac{1}{2} M = \frac{M}{1 + K e^{-k \frac{1}{2}\tau}} \Rightarrow K e^{-k \frac{1}{2}\tau} = 1 \Rightarrow \ln K = k \frac{1}{2} \tau \quad (1)$$

Si se tuviera una tasa de crecimiento proporcional para la entidad considerada en la descripción del proceso dinámico, la función lineal, tendría una pendiente de $m = \frac{M}{\tau}$.

Adoptando para el arranque, la pendiente m_0 que resulte de la observación experimental, se tiene al cabo de la primera unidad de tiempo:

$$SC(t) \Big|_{t=1} = m_0 = \frac{M}{1 + K e^{-k}} \Rightarrow K e^{-k} = \frac{M}{m_0} - 1 = \zeta \Rightarrow \ln K = k + \ln \zeta \quad (2)$$

$$\text{De (1) y (2)} \Rightarrow k \frac{1}{2} \tau = k + \ln \zeta \Rightarrow k = \frac{\ln \zeta}{\frac{\tau}{2} - 1}, \quad K = \text{anti ln} [k + \ln \zeta] \Rightarrow$$

si por ejemplo: $M = 1 \equiv 100 \%$, $\tau = 100$ unidades temporales, $m_0 = 0,001$, resulta:
 $p = 0,01$, $\zeta = \frac{1}{0,001} - 1 = 999$, $k = \frac{\ln 999}{50 - 1} = 0,1410$, $K = \text{anti ln} [0,1410 + \ln 999] =$
 $= 1150,2732$, reemplazando: $SC(t) = 1 / (1 + (1150,2732 * \text{EXP} (-0,1410 * t)))$.

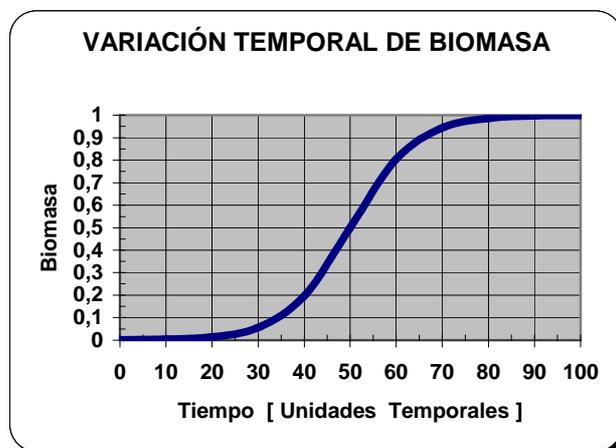


Fig. ALC - 01 - VARIACIÓN TEMPORAL DE BIOMASA

Si la variación temporal de un proceso de decaimiento, ocurre conforme a una función sigmoidea decreciente SD , ésta puede tender a cero o bien estabilizarse en un valor constante mayor que cero, dependiendo de las circunstancias objeto de modelización; en este caso, a la función resultante, se le sumará el valor constante (Atkinson, K. E., 1978).

Considerando las ordenadas de la función sigmoidea decreciente $SD(t)$, como complemento a M de $SC(t)$, se tiene:

$$SD(t) = M - \frac{M}{1 + K e^{-kt}} = \frac{M K e^{-kt}}{1 + K e^{-kt}} ; \text{ operando de manera similar al caso de la}$$

función sigmoidea creciente $SC(t)$, resulta:

$SD(t) = 1150,2732 * \text{EXP}(-0,1410 * t) / (1 + 1150,2732 * \text{EXP}(-0,1410 * t))$, cuya gráfica es la siguiente (Fig. ALC – 02):

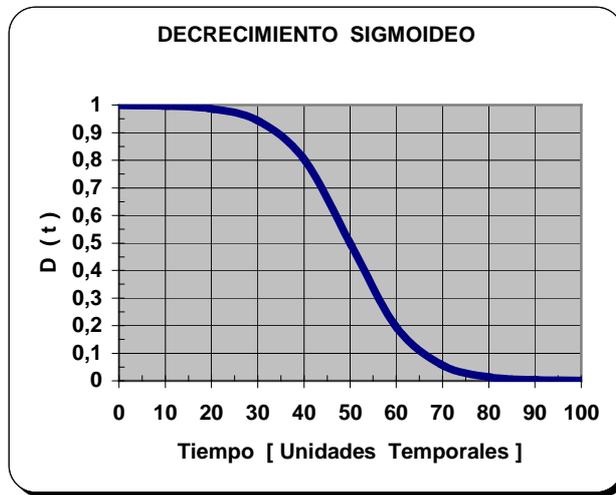


Fig. ALC - 02 - DECREMENTO SIGMÓIDEO

De un sistema físico o biológico que cambia con el tiempo, se dice que es dinámico. Para analizar su variación, se estudia la relación existente entre lo que ocurre y lo que ocurrirá en un futuro cercano; es decir, se explora la relación causa - efecto. Toda aplicación: $F : M \rightarrow M$, donde M es un espacio métrico, se llama caótica si se cumple que:

- F depende de las condiciones iniciales;
- F es topológicamente transitiva;
- los puntos periódicos de F son densos en M .

La ecuación logística, propuesta por Pierre F. Verhulst (1804-1849), es recursiva, pues siendo:

$$x_{n+1} = a x_n (1 - x_n) \quad 0 \leq x_n \leq 1 ,$$

se tiene que para x_n como porcentaje del total de la población, después de la generación n , con a como factor malthusiano o de Malthus (1766-1834), que mide el grado de fertilidad, resulta:

$$f(x_n) = a x_n (1 - x_n) .$$

La función logística tiene en $x_n = 1/2$, un punto de inflexión de ordenada $a/4$, de modo que si se limita el factor a al intervalo $[0, 4]$ se estará seguro de que la aplicación $x_n \rightarrow f(x_n)$, toma valores en el intervalo $[0, 1]$; si $0 < a \leq 1$ entonces $x_n \rightarrow 0$. Si $1 < a \leq 2$, resulta que x_n se aproxima a un valor de equilibrio L que puede calcularse del siguiente modo:

$$L = a L (1 - L) \quad \text{por lo que} \quad L = 1 - \frac{1}{a};$$

y la sucesión $\{x_1, x_2, \dots\}$ resulta ser creciente o decreciente. Si $2 \leq a \leq 3$ entonces la sucesión converge a $1 - 1/a$ pero desde ambos lados; este fenómeno se llama oscilación. En el modelo biológico, si $1 \leq a \leq 3$, existe un equilibrio estable y se produce un balance en la población natural. Resumiendo los resultados experimentales para $a \geq 3$ en la **Tabla ALC - 01**, se tiene:

Tabla ALC - 01

<i>m</i> :	<i>a</i> :	aumento en <i>a</i> :	cociente entre incrementos sucesivos:
1	3,000000	-	-
2	3,449499	0,449499	-
3	3,544090	0,094591	4,75
4	3,564407	0,020313	4,26
5	3,568759	0,004352	4,67
6	3,569692	0,000933	4,67
7	3,569891	0,000199	4,70
8	3,569934	0,000043	4,60

Los valores de a para los cuales se producen transiciones de un ciclo a otro, son llamados puntos de bifurcación y las transiciones son las bifurcaciones, de modo que en la tabla, para un m dado, el valor de a corresponde a la aparición de un ciclo de 2^m elementos. El físico Mitchell Feigenbaum advirtió que $\{a_1, a_2, \dots\}$ formaba una sucesión de tipo geométrico, siendo el valor del factor: $F = 4,669201660910\dots$. Este factor F se denomina Constante de Feigenbaum y aparece en modelos de sistemas diferentes cada vez que se produce un doblaje de período repetido. F es entonces, una constante universal, frecuente en problemas físicos que tienen en común, una transición de fase (Kaplan, D. and L. Glass, 1995).

Para $a_\infty < a \leq 4$ el modelo se comporta caóticamente o periódicamente. Para $a = 3,83$ existe un ciclo estable de tres elementos que se llama ventana de periodicidad. Entre a_∞ y 4 existe un número infinito contable de ventanas, pero se tiene un infinito no contable de valores de a para los cuales el modelo es caótico. Empleando el modelo dinámico de Peitgen y Richter: $x_{n+1} = r(1 - x_n)x_n + x_n$; donde $r \equiv a - 1$, resulta:

$$x_{n+1} = (a - 1)(1 - x_n)x_n + x_n = a x_n + (1 - a)x_n^2, \quad 0 \leq x_n \leq \frac{4}{3} = 1, \bar{3} \dots$$

Ver la **Fig. ALC - 03**, que exhibe un alto grado de autosemejanza y en este sentido, puede considerarse precursora de los fractales de B. Mandelbrot, lo que se observa en las **Figs. ALC - 04 y 05** (Schuster, H. G., 1984). Las referencias de la **Fig. ALC - 03**, son:

- $a = 2,90$ punto límite único;
- $a = 3,00$ transición a un 2-ciclo;
- $a = 3,20$ 2-ciclo;
- $a = 3,50$ 4-ciclo;
- $a = 3,74$ 5-ciclo;
- $a = 3,83$ 3-ciclo;
- $a = 4,00$ caos.

10. 3. 6. 1. - PROGRAMA PARA SIMULACIÓN DEL PROCESO DE VERHULST: se presenta seguidamente el código fuente del algoritmo, escrito en lenguaje C, con el que se obtuvieron los gráficos mostrados en las **Figs. ALC 03, 04 y 05**. El programa permite ingresar el valor inicial y el valor final de a , los que definen el intervalo de graficación de x ; el número de generaciones o iteraciones (g) que deben calcularse para cada valor de a y el número de generaciones (k) cuyos valores x deben mostrarse en el dibujo; cabe observar que se grafica a partir de la generación ($g - k$):

```
#include <stdio.h>
#include <graphics.h>
#define ABS_MAX      639      /* última columna de la pantalla */
#define ORD_MAX      479      /* última fila de la pantalla */

void main(void)
{
    int driver = 9;           /* monitor VGA */
    int modo = 2;            /* modo 640 x 480, 16 colores */
    double a;                /* valores del coeficiente malthusiano a */
    double ai, af;           /* valores inicial y final de a: ai < a < af */
    double ap;               /* valores de las abscisas de la pantalla (columnas) */
    double x;                /* porcentaje de población después de cada generación */
    double xi, xf;           /* valores entre los cuales debe graficarse x */
    double xp;               /* valores de las ordenadas de la pantalla (filas) */
    double n;                /* contador de generaciones en cada valor de a */
    double g;                /* generaciones que deben calcularse para cada valor de a */
    double k;                /* generaciones que deben graficarse para cada valor de a */
    char num[5];             /* cadena de caracteres para presentar los valores de las abscisas y las ordenadas en la
                             cuadrícula que se superpone sobre la gráfica */

    /* Se limpia la pantalla */
    clrscr();

    /* Se lee el valor inicial de a */
    do {
        printf("Valor inicial de 'a' (2.9 a 4.0) [2.9]: ");
        scanf("%lf", &ai);
    } while (ai < 2.9 || ai > 4.0);

    /* Se lee el valor final de a */
    do {
        printf("Valor final de 'a' (2.9 a 4.0) [4.0]: ");
        scanf("%lf", &af);
    } while (af < ai || af < 2.9 || af > 4.0);

    /* Se lee el valor de x a partir del cual debe graficarse */
    do {
        printf("Valor de 'x' para inicio del gráfico (0 a 1.33) [0]: ");
        scanf("%lf", &xi);
    } while (xi < 0.0 || xi > 1.33);
    /* Se lee el valor x hasta el que debe graficarse */
    do {
        printf("Valor de 'x' para terminación del gráfico (0 a 1.33) [1.33]: ");
        scanf("%lf", &xf);
    } while (xf < xi || xf < 0.0 || xf > 1.33);

    /* Se lee el número de generaciones g que deben calcularse para cada valor de a */
    do {
        printf("Número de generaciones que deben calcularse (1 a 10000) [600]: ");
        scanf("%lf", &g);
    } while (g < 1 || g > 10000);
}
```

```

/* Se lee el número de generaciones k cuyos valores de x deben graficarse, para cada valor de a */
do {
    printf("Número de generaciones que deben graficarse (1 a %.0f) [150]: ", g);
    scanf("%lf", &k);
} while (k < 1 || k > g);

/* Se habilita el modo gráfico */
if (registerbgidriver(EGAVGA_driver) < 0) exit(1);
if (registerbgi(font_small_font) < 0) exit(1);
initgraph(&driver, &modo, "");

/* Se aplica un fondo gris a la pantalla */
setcolor(7);
setfillstyle(1,7);
bar(0, 0, ABS_MAX, ORD_MAX);

/* Se calculan, para cada valor de a, los valores de x */
for (ap = 0.0; ap <= ABS_MAX; ap++) {
    /* Se transforma el valor de la coordenada ap de la pantalla en el correspondiente valor a */
    a = ai + (af - ai) * ap / ABS_MAX;

    /* Se asigna un valor inicial para x antes de iterar con la variable */
    x = 0.9;

    /* Se calculan g generaciones para cada valor de a */
    for (n = 1.0; n <= g; n++) {
        /* Se calcula el valor de x para el coeficiente a y para la generación n, aplicando la ecuación
        logística */
        x = a * x + (1.0 - a) * x * x;

        /* Se coloca un punto en las coordenadas (a, x) para los últimos k valores de g; siempre que xi ≤ x ≤
        xf; antes, el valor de x se convierte a la ordenada correspondiente en la pantalla (xp) */
        if (n > (g - k) && x >= xi && x <= xf) {
            xp = ORD_MAX - ORD_MAX * (x - xi) / (xf - xi);
            putpixel((int)ap, (int)xp, 0);
        }
    }
}

/* Se emite un sonido cuando finaliza la graficación */
putchar('\a');
/* Se espera el ingreso de algún carácter para continuar */
getch();

/* Se presentan los valores de las abscisas y las ordenadas sobre el gráfico */
setlinestyle(0,0,1);
setcolor(0);
settextstyle(2,0,4);
/* Eje de las abscisas */
settextjustify(1,0);
k = (af - ai) / 11.0;
for (n = 1; n <= 10.0; n++) {
    line((int)(n * ABS_MAX / 11.0), ORD_MAX-4,
        (int)(n * ABS_MAX / 11.0), ORD_MAX);
    sprintf(num, "%.4f", ai + k * n);
    outtextxy((int)(n * ABS_MAX / 11.0), ORD_MAX-8, num);
}
/* Eje de las ordenadas */
settextjustify(0,1);
k = (xf - xi) / 4.0;
for (n = 1; n <= 3; n++) {
    line(0, ORD_MAX - (int)(n * ORD_MAX / 4.0),
        4, ORD_MAX - (int)(n * ORD_MAX / 4.0));
    sprintf(num, "%.4f", xi + k * n);
    outtextxy(8, ORD_MAX - (int)(n * ORD_MAX / 4.0)-1, num);
}
/* Se espera el ingreso de algún carácter para continuar */
getch();

```

```

/* Se superpone una cuadrícula sobre el gráfico */
setlinestyle(1,0,1);
/* Se trazan las líneas verticales */
k = (af - ai) / 11.0;
for (n = 1; n <= 10.0; n++)
    line((int)(n * ABS_MAX / 11.0), 0,
        (int)(n * ABS_MAX / 11.0), ORD_MAX-18);
/* Se trazan las líneas horizontales */
k = (xf - xi) / 4.0;
for (n = 1; n <= 3; n++)
    line(43, ORD_MAX - (int)(n * ORD_MAX / 4.0),
        ABS_MAX, ORD_MAX - (int)(n * ORD_MAX / 4.0));

/* Se espera el ingreso de algún caracter para terminar el programa */
getch();

/* Se abandona el modo gráfico */
closegraph();

/* Se retorna al sistema operativo */
return;
}

```

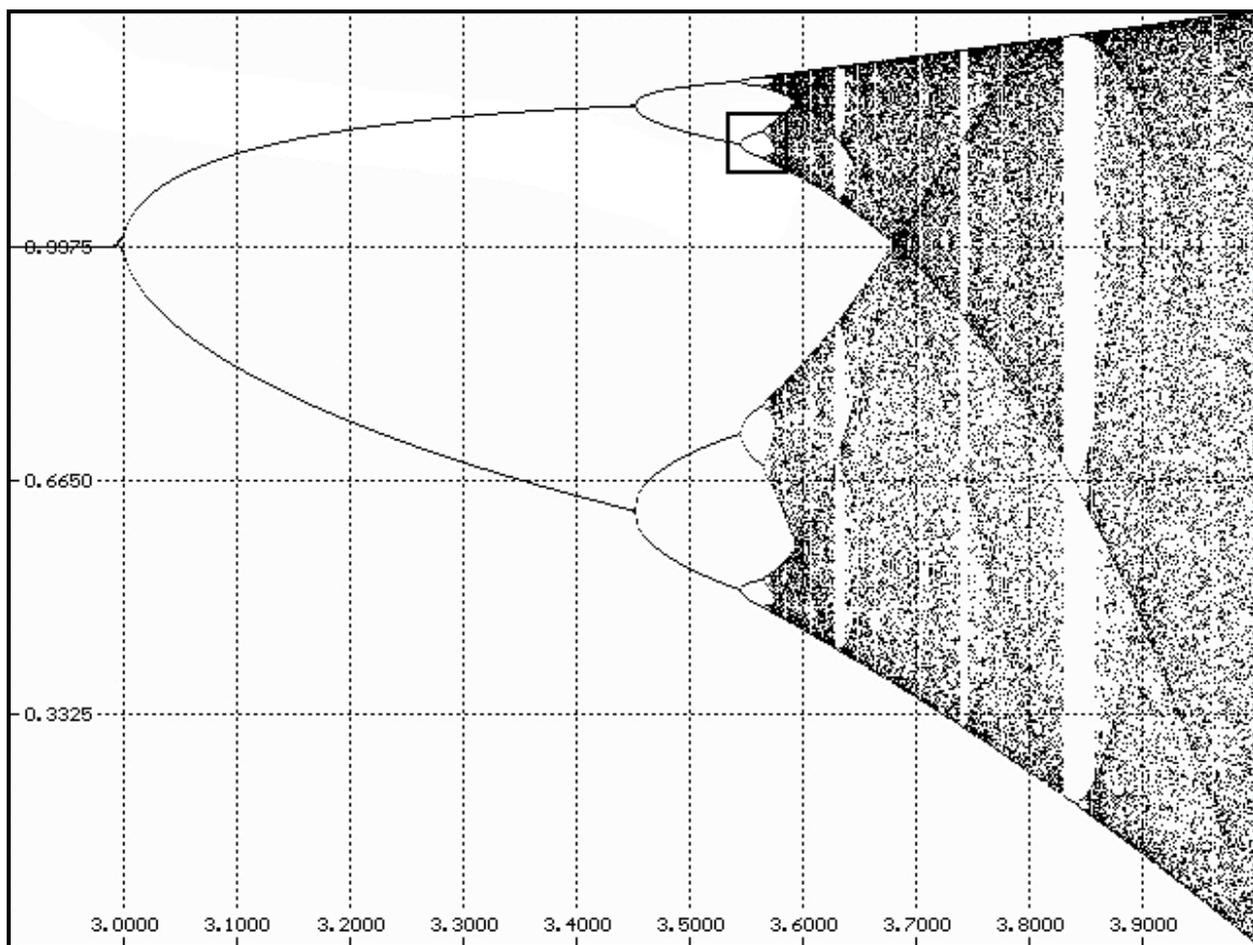


Fig. ALC - 03 Escenario de duplicación del período, para el Proceso de Verhulst: $2,9 < a < 4,0$ y $0,0 < x < 1,33$. Se calcularon 600 generaciones para cada valor de a y se graficaron las últimas 150. La región enmarcada se presenta en la **Fig. ALC - 04**.

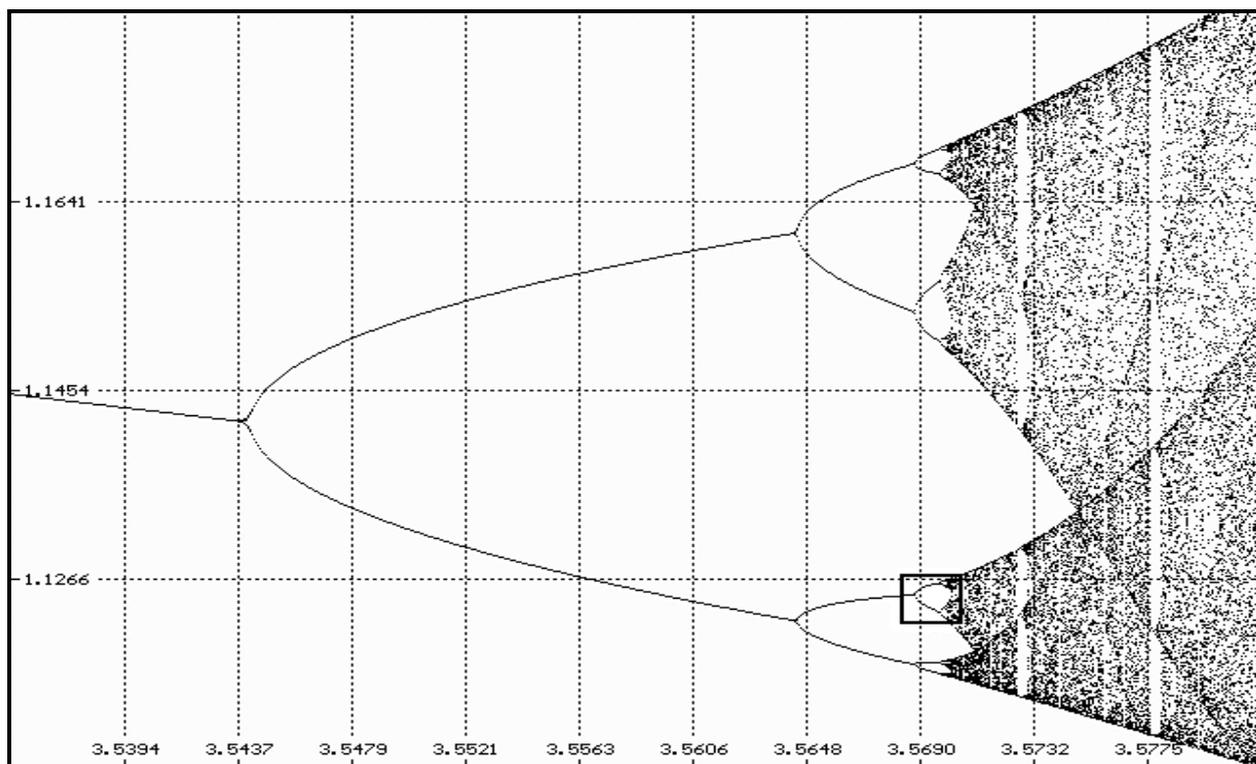


Fig. ALC - 04 Escenario de duplicación del período, para el Proceso de Verhulst: $3,5352 < a < 3,5817$ y $1,1079 < x < 1,1828$. Se calcularon 2200 generaciones para cada valor de a y se graficaron las últimas 500. La región enmarcada se presenta en la **Fig. ALC - 05**.

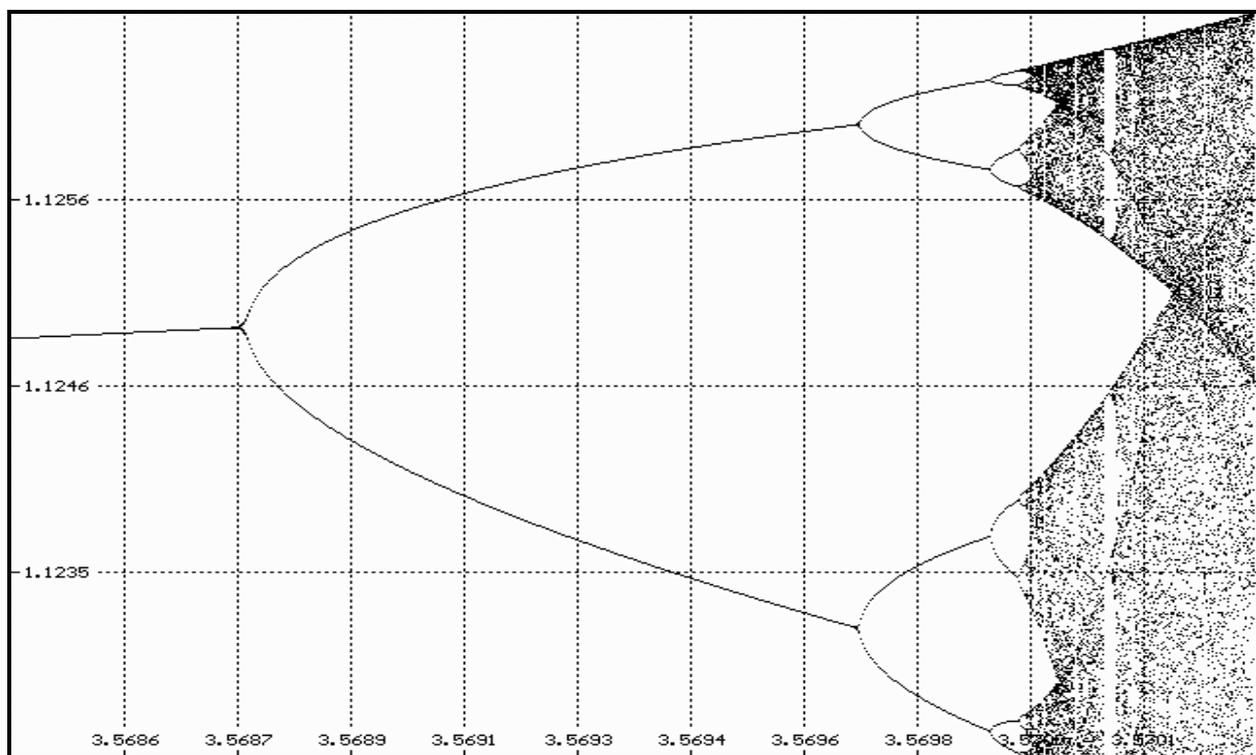


Fig. ALC - 05 - Escenario de duplicación del período, para el Proceso de Verhulst: $3,5684 < a < 3,5703$ y $1,1224 < x < 1,1267$. Se calcularon 9500 generaciones para cada valor de a y se graficaron las últimas 2500.

10. 3. 6. 1. - OTRAS CONSIDERACIONES EN RELACIÓN CON EL MODELO DE SIMULACIÓN:

tal como se ha planteado, el crecimiento de una población, durante un período de tiempo, se describe generalmente en función de la tasa de crecimiento; éste es, el incremento poblacional durante el tiempo considerado, en relación con el tamaño o recuento total. Si la tasa es constante, el crecimiento es exponencial; lo que resulta aplicable en intervalos temporales acotados, pues siempre ocurren circunstancias que limitan el crecimiento. Pierre F. Verhulst formuló en 1845, la ley objeto de la presente aplicación, considerando que un determinado nicho ecológico puede albergar una población maximal K y que la tasa de crecimiento decae cuando el recuento poblacional se aproxima a K , lo que implica adoptar una tasa variable y por ende, reconocer el comportamiento no lineal del proceso (Peitgen, H. O. and P. H. Richter, 1986).

Como se ha visto, para tasas de crecimiento reducidas, la población oscila con pequeñas amplitudes alrededor del valor de máxima realización K ; para valores ligeramente superiores a 200% , el tamaño maximal es ora excedido, ora seguido de un bajo recuento, muy inferior a K . Superado el transitorio, se produce una oscilación estacionaria entre dos tamaños, uno superior y otro inferior a K .

Cuando el parámetro de crecimiento es aumentado por encima de 245% , la oscilación involucra 4 (cuatro), luego 8 (ocho), posteriormente 16 (dieciséis), etc., diferentes tamaños poblacionales, hasta que para tasas superiores a 257% sobreviene el caos; éste es, el sistema escapa de control y no es posible predecir su comportamiento a largo plazo. Se producen ascensos y descensos irregulares, que no se resuelven en una secuencia ordenada de eventos. Debe observarse, tal como lo consigna Edward N. Lorenz, que el proceso caótico no implica la ocurrencia de causas arbitrarias o aleatorias; es esencialmente determinístico y siempre definido por la ecuación de Verhulst, donde la secuencia de recuentos poblacionales está determinada por su valor inicial. Sin embargo, los resultados son solamente predecibles haciendo correr el procedimiento.

El cálculo del valor del parámetro de crecimiento para el que ocurre la bifurcación de la oscilación de período 2^m a la de período 2^{m+1} (abscisa del punto de bifurcación), revela una ley de importancia fundamental en el ámbito de los fenómenos o procesos no lineales. Tiene que ver con la longitud de los intervalos en los cuales un período particular es estable. Los intervalos se acortan en correspondencia con cada punto de duplicación del período de oscilación en relación dada por la constante o número de Mitchell Feigenbaum F , siendo tal como se infirió previamente: $F = 4,669201660910\dots$. Si x_0 es el recuento poblacional inicial y x_n , el tamaño de la población al cabo de n unidades temporales, entonces, la tasa de crecimiento R puede interpretarse como el incremento relativo, correspondiente a una unidad temporal:

$$R = \frac{x_{n+1} - x_n}{x_n} ; \text{ si } R = r = \text{cte.}, \text{ la ley dinámica es: } x_{n+1} = f(x_n) = (1 + r) x_n .$$

Luego de n unidades de tiempo, el tamaño poblacional es: $x_n = (1 + r)^n x_0$.

Para limitar este crecimiento exponencial, Verhulst consideró la variación de R con el tamaño de la población, sosteniendo como se expresó previamente, que un determinado nicho ecológico, sólo ha de albergar un cierto recuento K , que puede hacerse arbitrariamente igual a uno ($K = 1$). Entonces: $R = r (1 - x_n)$, siendo el parámetro de crecimiento $r > 0$. Si $x_n < 1$, la población crece hasta hacerse $x_n = 1$; la ley dinámica toma la forma:

$$x_{n+1} = f(x_n) = [1 + r (1 - x_n)] x_n = [(1 + r) - r x_n] x_n = (1 + r) x_n - r x_n^2 .$$

Puede observarse que en la formulación de la ecuación logística, dada precedentemente, $x_{n+1} = a(1 - x_n)x_n$, el factor $(1 - x_n)$, introduce una corrección que disminuye la tasa de crecimiento, conforme el recuento poblacional se aproxima al valor de máxima realización. Sin esta restricción, la población crecería exponencialmente, tal como se ha indicado. En la expresión de la ley dinámica, el factor de corrección, se aplica a r . Esta circunstancia, señala una discrepancia entre diferentes fuentes bibliográficas. Con tasas de crecimiento constante, es:

$$a = \frac{x_{n+1}}{x_n}; \text{ razón entre el nuevo recuento y el precedente y } r = \frac{x_{n+1} - x_n}{x_n}, \text{ es el incremento}$$

poblacional relativo al recuento x_n . Siendo entonces $r = \frac{x_{n+1}}{x_n} - 1 = a - 1$; resulta que:

$$a(1 - x_n) \neq r(1 - x_n) = a(1 - x_n) - 1 + x_n \quad \text{consiguientemente:}$$

$$\begin{aligned} x_{n+1} &= a(1 - x_n)x_n = ax_n - ax_n^2 \neq [1 + r(1 - x_n)]x_n = [a(1 - x_n) + x_n]x_n = ax_n - ax_n^2 + x_n^2 = \\ &= ax_n - (a - 1)x_n^2 = ax_n - rx_n^2 = (1 + r)x_n - rx_n^2 \end{aligned}$$

Si $x_0 = 0 \rightarrow x_1 = 0, x_2 = x_3 = \dots = x_n = 0$; si $x_0 = 1 \rightarrow x_1 = 1, x_2 = x_3 = \dots = x_n = 1$; en ambos casos, no hay cambio en el recuento poblacional. Si $0 < x_0 < 1, r > 0 \rightarrow x_1 \approx x_0 + rx_0$; consiguientemente el estado estacionario $x_0 = 0$ es inestable. La secuencia x_0, x_1, x_2, \dots será creciente hasta que probablemente alcance el tamaño 1. Para determinar si $x_0 = 1$ es estable, se analizan las desviaciones $\delta_n = x_n - 1$ en función del tiempo.

Linealizando $x_{n+1} = (1 + r)x_n - rx_n^2$, mediante desarrollo en Serie de Taylor alrededor de $x_0 = 1$, se tiene:

$$\begin{aligned} x_{n+1} &\approx (1 + r) - r + (1 + r)(x_n - 1) - 2r(x_n - 1) \\ x_{n+1} - 1 &\approx (1 - r)(x_n - 1) \\ \delta_{n+1} &\approx (1 - r)\delta_n, \end{aligned}$$

lo que muestra que $|\delta_{n+1}|$ es menor que $|\delta_n|$, si $0 < r < 2$. En estas condiciones el sistema oscila amortiguadamente alrededor del nivel de recuento $x = 1$. En caso de ser $r > 2$, se tiene un incremento absoluto de las desviaciones δ_n , con lo que el estado estacionario $x = 1$, resulta inestable. El proceso exhibe una oscilación periódica alrededor de $x = 1$ entre dos niveles. Tal como se expresó $x_{n+1} = f(x_n)$ y su primera iteración $x_{n+2} = f[f(x_n)] = f^2(x_n)$. Analizando la estabilidad de los puntos fijos de f^2 , resulta que son estables si $r < \sqrt{6} = 2,449$. El tratamiento formal se dificulta conforme r crece. Para $r = 2,5$ por ejemplo, el proceso se aproxima a una oscilación estable de período cuatro; éste se duplica para intervalos cada vez más estrechos de valores crecientes de r . Si $r = 2,570$ el comportamiento deja de ser periódico, es caótico, siempre determinístico, pero no predecible sobre largos períodos de tiempo.

Sea el intervalo $I \subset \mathfrak{R}$, $f: I \rightarrow I$ una aplicación continua, $x_0 \in I \rightarrow x_{n+1} = f(x_n)$, $n = 0, 1, 2, \dots$; define una sucesión numérica $x_n \in I$ por iteración. Esta sucesión es convergente si $x_n \rightarrow \hat{x} \in I$. Se deduce entonces de la continuidad de $f: \hat{x} = f(\hat{x})$; ésto es, \hat{x} es una solución de la ecuación $f(x) = x$, o un punto fijo de la aplicación f . El punto fijo \hat{x} se dice que es absorbente cuando existe un entorno $E(\hat{x}, \varepsilon) = \{x: |x - \hat{x}| < \varepsilon\}$, tal que toda sucesión que comienza en $x_0 \in E(\hat{x}, \varepsilon)$ converge hacia \hat{x} ; caso contrario, se dice que \hat{x} es un punto fijo repelente.

La condición suficiente para que un punto fijo \hat{x} sea absorbente, es que dada la función f , continua y derivable, se cumpla que $|f'(\hat{x})| < 1$. Si $|f'(\hat{x})| > 1 \rightarrow$ el punto fijo es repelente. Los puntos fijos corresponden a estados de equilibrio de la población. Si \hat{x} es un punto fijo, entonces la sucesión $x_n \equiv \hat{x}$ es una solución de $x_{n+1} = f(x_n)$. Cuando \hat{x} es un punto absorbente, la solución es asintóticamente estable; si \hat{x} es repelente, la solución es inestable.

Si r_n es el valor del parámetro de crecimiento correspondiente a la n -ésima bifurcación, donde el período 2^n se torna inestable y el período 2^{n+1} gana estabilidad, entonces, la relación entre las longitudes de intervalos sucesivos, puede expresarse como:

$$\delta_n = \frac{r_n - r_{n-1}}{r_{n+1} - r_n}$$

Siegfried Grossmann y Stefan Thomae de la Universidad de Marburg (Alemania), en 1977 calcularon los dígitos de las primeras posiciones decimales y luego Mitchell Feigenbaum en Los Álamos, California (USA) determinó, tal como se consignó, que $\delta = 4,669\ 201\ 660\ 910\ \dots$, si $n \rightarrow \infty$.

El diagrama de bifurcación, muestra la dependencia respecto de la abscisa n , de la dinámica asintótica. Para un dado valor de n ($1,9 \leq r \leq 3,0$), se realizan 5 000 iteraciones para permitir que el proceso se regularice sobre su atractor; ésto es, se tenga un comportamiento asintótico, una vez que la etapa transitoria ha decaído. Luego se grafica el resultado de las 120 iteraciones de la ordenada x siguientes para ilustrar sobre la naturaleza del correspondiente atractor. Éste es un punto para $r < 2$; dos puntos, si $2 < r < \sqrt{6}$; luego 4, 8, 16, ... puntos, hasta que en las regiones caóticas los puntos del atractor llenan las bandas completas. La cascada de bifurcaciones observadas debajo del punto caótico $r = 2,570$ tiene una estructura que le corresponde por encima de este punto. Próximo a $r = 3,0$ hay una única banda caótica que se divide en $r = 2,679$ en dos bandas; en $r = 2,593$ en cuatro, luego en ocho, dieciséis, treinta y dos, etc., hasta que en $r = 2,570$ esta duplicación tiene lugar un número infinito de veces. Dentro de la región caótica se tienen ventanas de orden en las que el atractor consiste nuevamente en puntos diferenciados. Por ejemplo, en $r = 2,8284$ aparece un período estable de tres recuentos, el que se duplica a seis, doce, veinticuatro, etc. y desaparece en el caos para $r = 2,8495$.

10. 3. 7. - MODELO DE INTERACCIONES TRÓFICAS EN UNA CADENA ALIMENTARIA LACUSTRE

10. 3. 7. 1. - MODELO MATEMÁTICO: ilustra sobre las interacciones tróficas de una cadena alimentaria acuática típica, en la que el fósforo se adopta como nutriente limitante de la producción primaria (Ford, A., 1999). Se incluye una capa de sedimento superficial para considerar el intercambio de fósforo con la columna de agua. La estructura comprende nueve variables de estado que representan los grupos funcionales, biota; fósforo reactivo soluble y materia orgánica como detritos, vinculados por interacciones tróficas y físicas, tal como se muestra en la **Figura MIT – 01**. En la columna de agua, se tienen: fósforo reactivo soluble (x_1); fitoplancton (x_2); zooplancton (x_3); macro-invertebrados (x_4); peces (x_5) y detritos (x_6) y en la capa de sedimentos: detritos sedimentados (x_7); sedimentos transportados (x_8) y fósforo disuelto en los espacios de poros (x_9). Los ingresos incluyen: fósforo (u_1) y material sedimentable en suspensión, transportado por los tributarios (u_8) y radiación solar (u_s). La **Tabla AIT - 01** muestra las unidades en que se expresan las variables de estado; las relaciones funcionales y las constantes batimétricas. Los procesos dentro de la columna de agua, comprenden: fósforo captado para la producción de fitoplancton (f_{12}); consumo primario (f_{23}); depredación por parte de los macro-invertebrados (f_{34}); depredación por parte de los peces (f_{35}, f_{45}); pérdidas no causadas por la depredación y debidas a la excreción; respiración; etc. ($f_{26}, f_{36}, f_{46}, f_{56}$); descomposición y re-mineralización (f_{61}) y sedimentación (f_{67}). Los procesos que se verifican en la capa de sedimentos, son: descomposición y re-mineralización (f_{79}); desorción del fósforo retenido en el sedimento (f_{89}) y fósforo liberado por difusión a la columna de agua (f_{91}). Las pérdidas al ambiente, incluyen derrames o desagües y pesca (y_1, y_2, y_3, y_4, y_5) y compactación y enterramiento (y_7, y_8).

Tabla AIT - 01 - UNIDADES EN QUE SE EXPRESAN EN EL MODELO, LAS VARIABLES DE ESTADO; LAS RELACIONES FUNCIONALES Y LAS CONSTANTES BATIMÉTRICAS

Símbolo:	Entidad:	Unidad:
Variables de estado:		
x_1	Fósforo reactivo soluble	mg P l ⁻¹
x_2	Fitoplancton	mg (peso seco) l ⁻¹
x_3	Zooplancton	mg (peso seco) l ⁻¹
x_4	Macro-invertebrados	mg (peso seco) m ⁻²
x_5	Peces	kg ha ⁻¹
x_6	Detritos en la columna de agua	mg l ⁻¹
x_7	Detritos sedimentados	g m ⁻²
x_8	Sedimentos transportados por los tributarios	g m ⁻²
x_9	Fósforo disuelto en los espacios de poros	mg P l ⁻¹
Funciones de forzado:		
Q_{in}	Caudal entrante	cfs
Q_{out}	Caudal efluente o descarga aguas abajo	cfs
P_{in}	Fósforo reactivo soluble en la corriente entrante o afluente	mg P l ⁻¹
S_{in}	Sólidos suspendidos en la corriente entrante o afluente	mg l ⁻¹
L_o	Radiación solar incidente	cal m ⁻² día ⁻¹
T_w	Temperatura de la columna de agua	°C
Ψ_L	Fotoperíodo	
Constantes batimétricas:		
d_r	Profundidad de la columna de agua	m
V_r	Volumen del reservorio	m ³
A_r	Superficie del espejo de agua del reservorio	m ²

El modelo se basa en nueve ecuaciones diferenciales ordinarias de primer orden que describen los balances de masa de los componentes y emplea treinta y cinco parámetros asociados a veintidós procesos (f_{ij}, y_i). Los parámetros incluyen tasas constantes de crecimiento y pérdidas no causadas por depredadores; constantes de semi-saturación y eficiencias de asimilación de los componentes bióticos; velocidades de sedimentación; coeficientes de difusión y tasas de desorción constante. La actividad microbiana está representada por las tasas constantes de descomposición en la columna de agua y en los sedimentos. El comportamiento del sistema ecológico, se define empleando dos indicadores del proceso de eutrofización, que son la concentración de nutrientes; particularmente fósforo asimilable como ortofosfato soluble y biomasa fitoplanctónica durante la estación de crecimiento. La **Tabla AIT - 02** presenta los treinta y cinco parámetros del modelo; su interpretación; unidades y a modo de ejemplo ilustrativo, los dominios muestrados en un lago de región templado-cálida (Osidele, O. O., 2001). La **Tabla AIT - 03** ilustra sobre los procesos ecosistémicos y los parámetros relacionados con ellos en el modelo.

Tabla AIT - 02 - PARÁMETROS DEL MODELO; UNIDADES Y DOMINIOS MUESTREADOS (VALORES MÁS BAJOS Y MÁS ALTOS) EN UN LAGO DE REGIÓN TEMPLADO CÁLIDA

Parámetro:		Unidad:	Dominio de muestreo:	
			Valor menor:	Valor mayor:
α_1	Tasa máxima de crecimiento del fitoplancton - τ_2	día ⁻¹	0,5	3,0
α_2	Tasa máxima de crecimiento del zooplancton - τ_3	día ⁻¹	0,05	0,15
α_3	Tasa máxima de crecimiento de macro-invertebrados - τ_4	día ⁻¹	0,01	0,1
α_4	Tasa máxima de crecimiento de peces - τ_5	día ⁻¹	0,01	0,1
α_5	Semi-saturación de fósforo - K_{12}	mg P l ⁻¹	0,001	0,05
α_6	Semi-saturación de fitoplancton - K_{23}	mg (peso seco) l ⁻¹	0,1	1,0
α_7	Semi-saturación de zooplancton → macro-invertebrados - K_{34}	mg (peso seco) l ⁻¹	0,01	0,1
α_8	Semi-saturación de zooplancton → peces - K_{35}	mg (peso seco) l ⁻¹	0,01	0,1
α_9	Semi-saturación de macro-invertebrados → peces - K_{45}	mg (peso seco) m ⁻²	100,0	250,0
α_{10}	Rendimiento de fitoplancton: absorción de fósforo - γ_{12}	mg (peso seco) (mg P) ⁻¹	90,0	130,0
α_{11}	Eficiencia de asimilación: zooplancton - ϵ_3		0,3	0,6
α_{12}	Eficiencia de asimilación: macro-invertebrados - ϵ_4		0,3	0,7
α_{13}	Eficiencia de asimilación: peces - ϵ_5		0,3	0,7
α_{14}	Tasa de pérdidas no depredatorias: fitoplancton - λ_2	día ⁻¹	0,05	0,15
α_{15}	Tasa de pérdidas no depredatorias: zooplancton - λ_3	día ⁻¹	0,01	0,1
α_{16}	Tasa de pérdidas no depredatorias: macro-invertebrados - λ_4	día ⁻¹	0,0001	0,01
α_{17}	Tasa de pérdidas no depredatorias: peces - λ_5	día ⁻¹	0,0001	0,01
α_{18}	Tasa de flujo: zooplancton - ρ_3	día ⁻¹	0,001	0,01
α_{19}	Tasa de flujo: macro-invertebrados - ρ_4	día ⁻¹	0,0	0,0
α_{20}	Tasa de flujo: peces - ρ_5	día ⁻¹	0,0001	0,01
α_{21}	Fración de micro-zooplancton - f_3		0,1	0,99
α_{22}	Probabilidad de preferencia: zooplancton → peces - ω_{35}		0,1	0,99
α_{23}	Tasa de descomposición: detritos en la columna de agua - τ_{dec}	día ⁻¹	0,001	0,1
α_{24}	Tasa de descomposición: detritos en los sedimentos - τ_{decS}	día ⁻¹	0,0001	0,01
α_{25}	Rendimiento de fósforo: descomposición de detritos - γ_{61}, γ_{79}	mg P mg ⁻¹	0,001	0,1
α_{26}	Tasa de desorción de fósforo - τ_{des}	día ⁻¹	0,001	0,1
α_{27}	Rendimiento de fósforo: desorción - γ_{89}	mg P mg ⁻¹	0,001	0,1
α_{28}	Velocidad de sedimentación: detritos en la columna de agua - s_6	m día ⁻¹	0,1	0,5
α_{29}	Constante de temperatura: procesos metabólicos - θ		1,0	1,1
α_{30}	Extinción de la luz: agua libre de partículas - K_w	m ⁻¹	0,2	2,0
α_{31}	Extinción de la luz: material particulado - a_p	l (mg m) ⁻¹	0,05	0,3
α_{32}	Intensidad de luz óptima para el fitoplancton - L_m	l y día ⁻¹	200,0	500,0
α_{33}	Coefficiente de difusión del fósforo en poros del sedimento - ν_s	m ² día ⁻¹	1,5 10 ⁻⁵	7,5 10 ⁻⁵
α_{34}	Profundidad efectiva de la capa de sedimentos - d_s	m	0,051	0,5
α_{35}	Tasa de enterramiento del sedimento - ρ_7, ρ_8	día ⁻¹	0,001	0,1

Tabla AIT - 03 - PROCESOS ECOSISTÉMICOS Y PARÁMETROS DEL MODELO RELACIONADOS

Función:	Procesos ecosistémicos:	Parámetros relacionados:
$f_{1,2}$	Producción de fitoplancton o producción primaria	$\alpha_1, \alpha_5, \alpha_{10}, \alpha_{29}, \alpha_{30}, \alpha_{31}, \alpha_{32}$
$f_{2,3}$	Aprovechamiento del fitoplancton por parte de los consumidores primarios	$\alpha_2, \alpha_6, \alpha_{11}, \alpha_{29}$
$f_{3,4}$	Depredación del zooplancton por parte de los macro-invertebrados	$\alpha_3, \alpha_7, \alpha_{12}, \alpha_{21}, \alpha_{29}$
$f_{3,5}$	Depredación del zooplancton por parte de los peces	$\alpha_4, \alpha_8, \alpha_{13}, \alpha_{21}, \alpha_{22}, \alpha_{29}$
$f_{4,5}$	Depredación de los macro-invertebrados por parte de los peces	$\alpha_4, \alpha_9, \alpha_{13}, \alpha_{29}$
$f_{2,6}$	Pérdidas no depredatorias del fitoplancton	α_{14}, α_{29}
$f_{3,6}$	Pérdidas no depredatorias del zooplancton	α_{15}, α_{29}
$f_{4,6}$	Pérdidas no depredatorias de los macro-invertebrados	α_{16}, α_{29}
$f_{5,6}$	Pérdidas no depredatorias de los peces	α_{17}, α_{29}
$f_{6,1}$	Descomposición de detritos en la columna de agua	$\alpha_{23}, \alpha_{25}, \alpha_{29}$
$f_{6,7}$	Sedimentación de detritos en la columna de agua	α_{28}
$f_{7,9}$	Descomposición de detritos en la capa de sedimentos	$\alpha_{24}, \alpha_{25}, \alpha_{29}$
$f_{8,9}$	Fósforo liberado por las partículas del material sedimentable transportado	α_{26}, α_{27}
$f_{9,1}$	Fósforo liberado a la columna de agua	α_{33}, α_{34}
y_1	Flujo saliente de fósforo	(*)
y_2	Flujo saliente de fitoplancton	(*)
y_3	Flujo saliente de zooplancton	α_{18}
y_4	Flujo saliente de macro-invertebrados	α_{19}
y_5	Flujo saliente de peces	α_{20}
y_7	Compactación de sedimentos y enterramiento profundo	α_{35}
y_8	Compactación de sedimentos y enterramiento profundo	α_{35}

(*) Sin parámetros relacionados; las funciones del proceso, formuladas en términos de funciones de forzado, solamente.

Las ecuaciones del modelo se basan en balances de masa de los componentes; corresponde una ecuación diferencial ordinaria a cada variable de estado, con la siguiente forma general: tasa de cambio = {ingresos} – {egresos} ± {términos de la reacción}

Los ingresos y los egresos describen cargas y procesos de transporte que incluyen el ingreso de los tributarios; material sedimentable suspendido; aporte de nutrientes; sedimentación gravitacional; difusión molecular y turbulenta y fenómenos de sorción. Los términos de la reacción, constituyen la mayoría de las funciones del modelo; caracterizan las interacciones cinéticas bioquímicas y biológicas entre componentes de la cadena alimentaria pelágica, tales como absorción de nutrientes; fotosíntesis y respiración; aprovechamiento por parte de los consumidores primarios y depredación. La tasa de transferencia de masa debida a las reacciones, se formaliza mediante una ecuación diferencial ordinaria de primer orden:

$$V \frac{dC}{dt} = \pm V \Phi_C(t) C \quad , \quad \text{donde } V \text{ es la extensión espacial, generalmente volumen o superficie; } C \text{ es la concentración del reactivo o sustancia reactante y } t \text{ es el tiempo continuo.}$$

Los procesos de crecimiento toman el signo positivo y los de pérdida, el negativo. La función temporal de primer orden de la tasa de crecimiento $\Phi_C(t)$, se expresa como sigue:

$\Phi_C(t) = \tau_C fT(t) fL(t) fR(t)$, donde τ_C es un parámetro de proceso que representa la tasa de crecimiento intrínseco máximo del reactante. Se define a τ_C como la tasa ideal con la que el reactante crecerá sin limitaciones en un dado ambiente físico; en el presente caso, fijado por la temperatura del agua. La tasa máxima de crecimiento, se ajusta en función de las condiciones ambientales, mediante la función de control de temperatura $fT(t)$.

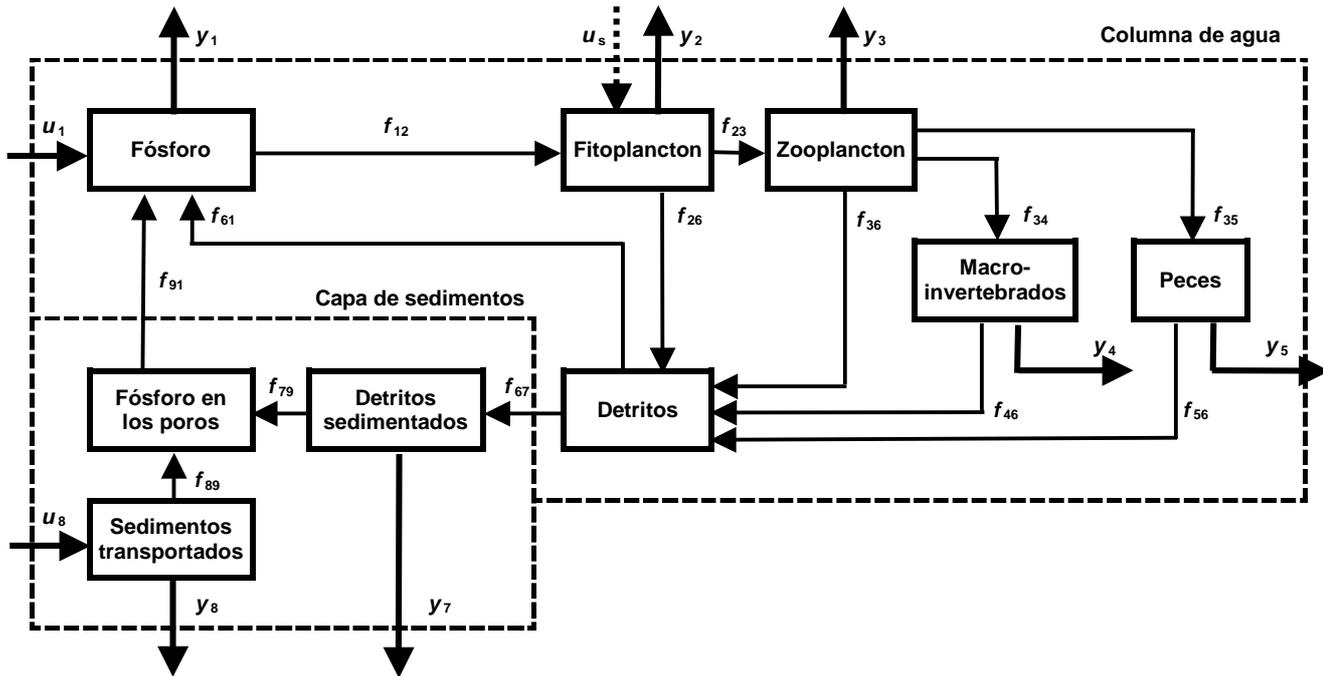


Figura AIT - 01 - MODELO GRÁFICO DE LAS INTERACCIONES TRÓFICAS Y FÍSICAS ESTABLECIDAS ENTRE LOS GRUPOS FUNCIONALES, BIOTA; FÓSFORO REACTIVO SOLUBLE Y MATERIA ORGÁNICA COMO DETRITOS

La función $fT(t)$, está dada por: $fT(t) = \theta_G^{T_w - T_B}$, donde T_w es la temperatura del agua; T_B es la temperatura de referencia (normalmente 20 °C) a la cual se especifica τ_C y θ_G es un coeficiente de temperatura. Como la tasa de crecimiento máximo, ajustada por temperatura no se alcanza en la realidad, debido a la disponibilidad limitada de recursos y en el caso de la producción de fitoplancton, por ser sub-óptima la energía solar entrante en el sistema, se introducen las dos funciones de control: $fL(t)$, $fR(t)$ ambas ≤ 1 . La limitación en la luz, se aplica solamente a la fotosíntesis y consiguientemente, a la producción de fitoplancton (Osidele, O. O., 2001), siendo:

$$fL(t) = \frac{L}{L_m} e^{\left(1 - \frac{L}{L_m}\right)}, \text{ siendo } L \text{ la intensidad de la luz y } L_m \text{ un valor óptimo, más}$$

allá del cual, la producción de fitoplancton tiende a ser inhibida. La intensidad de la luz, decae exponencialmente con la profundidad de la columna de agua z , conforme a la ecuación de Beer-Lambert (Chapra, S. C., 1996):

$$L(z) = L_0 e^{(-\kappa_E z)}, \text{ } \kappa_E \text{ es el coeficiente de extinción que expresa la atenuación de la luz, como consecuencia de factores físicos, tales como el color provocado por la clorofila; las partículas en suspensión; etc. Se calcula haciendo:}$$

$$\kappa_E = \kappa_w + \sum_i a_i p_i, \text{ donde } \kappa_w \text{ es el coeficiente de extinción para agua clara o libre}$$

de partículas y los pares $\{a_i, p_i\}$ representan las contribuciones de diferentes materiales particulados, cada uno, con su correspondiente concentración p_i .

Combinando las ecuaciones que proporcionan $f_L(t)$, $L(z)$ e integrando espacialmente sobre la profundidad y temporalmente sobre la fracción diaria con iluminación fotosintéticamente activa o fotoperíodo Ψ_L , la función de limitación de la luz (Chapra, S. C., 1996), resulta:

$$f_L(t) = 2,718 \frac{\Psi_L(t)}{\kappa_E z} \left\{ e^{\left[\left(-\frac{L_o(t)}{L_m} \right) e^{(-\kappa_E z)} \right]} - e^{\left(-\frac{L_o(t)}{L_m} \right)} \right\}.$$

La limitación de recursos $f_R(t)$ se modeliza recurriendo a la cinética de saturación, expresada en la ecuación de Michaelis-Menten:

$$f_R(t) = \frac{r}{K_r + r}, \text{ con } r \text{ como la cantidad de recurso y } K_r \text{ el coeficiente de semi-}$$

saturación, que equivale a la concentración del recurso a la cual, la tasa de crecimiento del consumidor es la mitad de la tasa máxima τ_C . La función que proporciona $f_R(t)$ describe una relación hiperbólica de la cantidad o disponibilidad del recurso. Cuando el recurso es escaso; ésto es: $r < K_r$, la tasa de crecimiento se hace directamente proporcional a la disponibilidad del recurso: $f_R(t) \approx r / K_r$ y cuando es abundante, es decir, $r > K_r$, la tasa de crecimiento se aproxima a un valor constante, no siendo limitada por la cantidad del recurso, conforme $f_R(t) \rightarrow 1$. Entonces, la formulación completa genérica empleada para representar la cinética de crecimiento en el modelo, para el recurso r y para el consumidor C , es, respectivamente:

$$V \frac{dr}{dt} = -V C \frac{\Phi_{rC}(t)}{y_{rC} c_k}, \quad V \frac{dC}{dt} = V \Phi_{rC}(t) C, \text{ donde } y_{rC} \text{ es un parámetro de}$$

rendimiento o estequiométrico que representa la producción por unidad de recurso consumido y c_k es un factor apropiado de conversión de unidades.

Las pérdidas por causas no imputables a depredadores, tales como las de origen respiratorio o excretorio o bien las debidas a la mortalidad natural, contribuyen a la formación de detritos D . Se representan como procesos dependientes del donador; en forma genérica:

$$V \frac{dC}{dt} = -V \Phi_{DC}(t) C, \text{ la función } \Phi_{DC}(t) \text{ está sólo limitada por la temperatura.}$$

El fósforo reactivo soluble (*SRP*) se modeliza en la columna de agua y en los espacios de poro de la capa superficial del sedimento. El *SRP* en la columna de agua, proviene de la escorrentía; de la re-mineralización de los detritos o materia orgánica y de la difusión a través de la interfase sedimento-agua. Las pérdidas son causadas por la absorción debida al fitoplancton y por el flujo de descarga del reservorio (Bender, E. A., 1978):

$$V_r \frac{dx_1}{dt} = P_{in} Q_{in} + v_s \frac{[x_9 - x_1]}{d_s} A_r + x_6 \Phi_{61} y_{61} V_r - x_2 \frac{\Phi_{12}}{y_{12}} V_r - x_1 Q_{out}.$$

El *SRP* en el sedimento superficial, se gana por descomposición de la materia orgánica o de los detritos sedimentados y por desorción a partir de los sedimentos sólidos. Se pierde por intercambio a través de la interfase sedimento-agua.

La ecuación que describe el proceso en la capa de sedimentos, es:

$$A_r d_s \frac{dx_9}{dt} = x_7 \Phi_{dec_s} y_{79} A_r + x_8 \Phi_{des} y_{89} A_r - v_s \frac{[x_9 - x_1]}{d_s} A_r .$$

Las interacciones cinéticas del fitoplancton, consisten en crecimiento y pérdidas; el crecimiento es consecuencia de la fotosíntesis y las pérdidas, del aprovechamiento que realizan los consumidores primarios; de la respiración y de los arrastres con los caudales salientes:

$$V_r \frac{dx_2}{dt} = x_2 \Phi_{12} V_r - x_3 \Phi_{23} V_r - x_2 \Phi_{26} V_r - x_2 Q_{out} .$$

Las interacciones cinéticas del zooplancton, consisten también, en crecimiento y pérdidas; el crecimiento es consecuencia del aprovechamiento que realiza del fitoplancton, mientras que las pérdidas son causadas por depredación; excreción y arrastre con las corrientes salientes:

$$V_r \frac{dx_3}{dt} = x_3 \Phi_{23} \varepsilon_3 V_r - x_4 \frac{\Phi_{34}}{c_1} V_r - x_5 \Phi_{35} \frac{\omega_{35}}{c_2} V_r - x_3 \Phi_{36} V_r - x_3 \rho_3 V_r$$

Los macro-invertebrados son depredadores bénticos que se alimentan del zooplancton. Proporcionan alimento a los peces durante las etapas de cría y las pérdidas son debidas al consumo por parte de éstos; a la excreción y al arrastre con las corrientes salientes:

$$A_r \frac{dx_4}{dt} = x_4 \Phi_{34} \varepsilon_4 A_r - x_5 \Phi_{45} \frac{[1 - \omega_{35}]}{c_3} A_r - x_4 \Phi_{46} A_r - x_4 \rho_4 A_r$$

La biomasa de peces resulta de la alimentación y las pérdidas, son de naturaleza metabólica o bien por remoción del reservorio:

$$A_r \frac{dx_5}{dt} = x_5 [\Phi_{35} + \Phi_{45}] \varepsilon_5 A_r - x_5 \Phi_{56} A_r - x_5 \rho_5 A_r .$$

Todos los componentes bióticos del ecosistema contribuyen a la acumulación de detritos, siguiendo dos líneas de procesos: (1) pérdidas no depredatorias, tales como la respiración; la excreción de desechos metabólicos; la mortalidad natural; etc. y (2) egestión; ésto es, el resultado de consumir alimentos pero no asimilarlos o equivalentemente, hacer un consumo ineficiente de recursos. Los detritos en la columna de agua, se pierden por descomposición microbiana y por sedimentación gravitacional, en la capa de sedimentos:

$$V_r \frac{dx_6}{dt} = \sum_i \eta_{i6} + \sum_i \varepsilon_{i6} - x_6 \Phi_{61} V_r - x_6 s_6 A_r , \text{ donde la suma de las pérdidas}$$

no-depredatorias es:

$$\sum_i \eta_{i6} = x_2 \Phi_{26} V_r + x_3 \Phi_{36} V_r + x_4 \frac{\Phi_{46}}{c_1} V_r + x_5 \frac{\Phi_{56}}{c_2} V_r \text{ y la suma de las pérdidas de}$$

egestión, está dada por:

$$\sum_i \varepsilon_{i6} = x_3 \Phi_{23} [1 - \varepsilon_3] V_r + x_4 \Phi_{34} [1 - \varepsilon_4] A_r + x_5 [\Phi_{35} + \Phi_{45}] [1 - \varepsilon_5] A_r .$$

Los detritos en la capa de sedimentos se pierden por descomposición y compactación por enterramiento profundo:

$$A_r \frac{d x_7}{d t} = x_6 s_6 A_r - x_7 \Phi_{dec_s} A_r - x_7 \rho_7 A_r .$$

El material sedimentable es transportado en suspensión por los tributarios, o bien por arrastre; se pierde por compactación profunda, debajo de la capa superficial de sedimentos. Los fenómenos de desorción introducen fósforo en los espacios de poros, desde la superficie de las partículas de la capa de sedimentos:

$$A_r \frac{d x_8}{d t} = S_{in} Q_{in} - x_8 \rho_8 A_r - x_8 \frac{\Phi_{des}}{A_r} .$$

La conversión de variables en tasas de cambio, tal como se ha mostrado precedentemente, es el procedimiento clásico mediante el cual se trata formalmente el mundo natural. En Species Diversity (Diversidad de las Especies), M. L. Rosenzweig (McGlade, J. M., 1999) comenta que Albert Einstein expresaba su admiración hacia el trabajo de Sir Isaac Newton, por haber sido el primer científico que representó los procesos naturales, empleando ecuaciones diferenciales.

10. 3. 7. 2. - BIOTA DEL EMBALSE FRONTAL DE TERMAS DE RÍO HONDO: el comportamiento térmico del Embalse Frontal de Termas de Río Hondo, República Argentina, estaría incluido dentro del tipo monomítico cálido (en estos lagos las temperaturas no bajan de 4 °C , circulan libremente en invierno con temperaturas de 4 °C o más y se estratifican en verano). El fitoplancton comprende las especies que se detallan seguidamente (Mirande, V. y B. C. Tracanna, 1995; Mirande, V.; B. C. Tracanna y C. T. Seeligmann, 2001; Tracanna, B. C.; V. Mirande y C. Seeligmann, 1994; Tracanna, B. C.; C. T. Seeligmann y V. Mirande, 1996; Tracanna, B. C. *et al.* 1999):

Schizophyta:

Anabaena flos-aquae
Anabaena sp.
Lyngbya allorgei
Lyngbya limnetica
Lyngbya martensiana
Lyngbya putealis
Merismopedia punctata
Merismopedia tenuissima
Microcystis aeruginosa
Microcystis flos-aquae
Oscillatoria chalybea
Oscillatoria simplicissima
Oscillatoria tenuis
Phormidium autumnale
Pseudanabaena mucicola
Synechococcus elongatus
Tolypothrix sp.

Chlorophyta:

Actinastrum hantzschii
Actinotaenium cucurbitinum var. minutum
Ankistrodesmus fusiformis
Botryococcus braunii
Chlamydomonas cambricum
Chlamydomonas globosa
Closterium acerosum
Closterium aciculare
Closterium acutum var. variabile
Closterium eboracense

Closterium gracile var. elongatum
Closterium lanceolatum
Closterium macilentum
Closterium moniliferum var. concavum
Closterium venus
Coelastrum cambricum
Coelastrum microporum
Cosmarium sp.
Crucigenia fenestrata
Eudorina elegans
Gonatozygon kinahani
Gonium pectorale
Micrasterias truncata
Monoraphidium griffithii
Monoraphidium pusillum
Oedogonium sp.
Oocystis solitaria
Oocystis sp.
Pandorina morum
Pediastrum duplex var. punctatum
Pediastrum simplex var. pseudoglabrum
Planktosphaeria gelatinosa
Scenedesmus acuminatus
Scenedesmus arcuatus
Scenedesmus denticulatus var. linearis
Scenedesmus intermedius
Scenedesmus obtusus
Scenedesmus quadricauda var. longispina
Scenedesmus spinosus
Sphaerocystis schoeteri

Spirogyra sp.
Stigeoclonium sp.
Tetraëdron verrucosum
Tetrastrum staurogeniaeforme
Uva sp.
Volvox tertius

Euglenophyta:

Euglena ehrenbergii
Euglena acus var. *Acus*
Euglena oxyuris var. *oxyuris*
Euglena proxima var. *proxima*
Euglena ignobilis
Lepocinclis playfairiana
Phacus contortus
Phacus curvicauda var. *curvicauda*
Phacus longicauda var. *insecta*
Phacus undulatus
Trachelomonas armata
Trachelomonas raciborskii var. *nova*
Trachelomonas robusta

Pyrrophyta:

Peridinium gatunense

Chromophyta:

Achnanthes inflata
Achnanthes hungarica
Amphipleura lindheimerii
Amphora ovalis
Aulacoseira granulata
Bacillaria paradoxa
Cocconeis placentula var. *euglypta*
Cyclotella meneghiniana
Cymatopleura solea
Cymbella amphicephala
Cymbella helvetica
Cymbella tumida
Diatoma vulgare
Entomoneis alata

Eunotia formica
Eunotia pectinalis
Fragilaria arcus
Fragilaria ulna
Gomphonema augur
Gomphonema clavatum
Gomphonema gracile
Gomphonema olivaceum
Gomphonema parvulum
Gomphonema truncatum
Gyrosigma acuminatum
Hantzschia amphioxys
Hyalodiscus sp.
Melosira varians
Navicula capitata var. *hungarica*
Navicula cuspidata
Navicula exigua
Navicula goeppertiana
Navicula peregrina
Navicula perrotettii
Navicula pupula
Nitzschia acicularis
Nitzschia commutata
Nitzschia obtusa
Nitzschia palea
Nitzschia reversa
Nitzschia sigmoidea
Pinnularia acrosphaeria
Pinnularia gibba var. *linearis*
Pinnularia interrupta
Pinnularia maior
Pinnularia viridis
Pleurosira laevis
Rhoicosphenia abbreviata
Rhopalodia giba
Rhopalodia gibberula
Surirella brebissonii
Surirella linearis
Surirella splendida

El zooplancton comprende las especies que se detallan seguidamente (Locasio de Mitrovich, C.; A. *et al.* 1997):

<i>Acanthocyclops robustus</i>	<i>Keratella lenzi</i>
<i>Brachionus calicyflorus</i>	<i>Keratella tropica</i>
<i>Brachionus caudatus</i>	<i>Moina micrura</i>
<i>Conochilus coenabasis</i>	<i>Neobosmina huaronensis</i>
<i>Diaphanosoma birgei</i>	<i>Notodiaptomus incompositus</i>
<i>Hexarthra intermedia</i>	<i>Polyarthra vulgaris</i>
<i>Keratella americana</i>	<i>Pompholix complanata</i>
<i>Keratella c. cochlearis</i>	<i>Testudinella patina</i>
<i>Keratella c. tecta</i>	

Las especies ictícolas del Embalse Frontal de Termas de Río Hondo, son (Locasio de Mitrovich, C.; A. *et al.* 1997):

<i>Astyanas bimaculatus</i>	<i>Leporinus obtusidens</i>
<i>Astyanax abramis</i>	<i>Odontesthes bonariensis</i>
<i>Astyanax fasciatus</i>	<i>Oligosarcus jenynsi</i>
<i>Cichlasoma portalegrense</i>	<i>Parauchenipterus striatulus</i>
<i>Hoplias malabaricus</i>	<i>Pimelodus albicans</i>
<i>Hoplosternum litorale</i>	<i>Prochilodus lineatus</i>
<i>Hypostomus</i> cfr. <i>cordovae</i>	<i>Salminus maxillosus</i>

10. 3. 8. - QUASI-LINEALIZACIÓN

La quasi-linealización es un algoritmo de resolución de sistemas no-lineales de ecuaciones diferenciales ordinarias o en derivadas parciales, mediante integración iterativa de una serie de problemas lineales de valor inicial (PLVI), relacionados (Haimes, Y. Y., 1977). Cuando la secuencia de problemas lineales de valor inicial, converge sobre una solución del problema no-lineal original, lo hace cuadráticamente. Convergencia cuadrática significa que el error en la n -ésima iteración, es proporcional al cuadrado del error en la $(n-1)$ -ésima iteración:

$$\|x^{(n)} - x^{(\text{obs})}\| \leq k \|x^{(n-1)} - x^{(\text{obs})}\|^2, \quad \text{donde } x^{(\text{obs})} \text{ representa la trayectoria observada; } k \text{ es independiente del número de iteración, } k < 1.$$

Cuando la aproximación se acerca al valor observado, la apreciación o precisión crece rápidamente; por ejemplo, el número de dígitos correctos, se duplica en cada iteración.

La convergencia no está garantizada; depende de la aproximación inicial a la trayectoria. Si el procedimiento se inicia muy apartado de la solución correcta, divergirá. En general, la norma a ser minimizada debe ser convexa dentro del rango de soluciones posibles. Este método se aplica a la:

- Solución de problemas no-lineales con valores iniciales o con condiciones de contorno;
- Identificación de parámetros de sistemas no-lineales de ecuaciones diferenciales ordinarias con condiciones iniciales desconocidas;
- Identificación de parámetros de sistemas de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales.

El algoritmo de quasi-linealización, aplica métodos numéricos de integración en el espacio de funciones; consiste en la siguiente secuencia de pasos:

1. Expresión del sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias, en forma canónica;
2. Determinación de una solución aproximada o trayectoria $x^{(n)}(t)$ en $t \in [0, T]$ del sistema no-lineal de ecuaciones diferenciales;
3. Linealización del sistema no-lineal de ec. diferenciales, alrededor de la solución aproximada;
4. Cálculo de las soluciones particulares y homogéneas de la aproximación lineal, empleando métodos de integración numérica y almacenando valores en correspondencia con los tiempos de observación;
5. Definición de la función de identificación del error, utilizando una norma de cuadrados mínimos;
6. Minimización de la función de identificación del error, mediante la aplicación de las condiciones de estado estacionario necesarias. Esto conduce a un sistema de ecuaciones algebraicas lineales en los parámetros desconocidos;
7. Resolución del sistema de ecuaciones algebraicas lineales, para obtener la siguiente aproximación de las condiciones iniciales y de los parámetros desconocidos;
8. Evaluación de la convergencia, determinando el error entre los valores medidos u observados y los calculados. Si no es satisfactoria, se retoma desde el paso 2.

10. 3. 8. 1. - Forma Canónica: se considera un sistema de n ecuaciones diferenciales de primer orden:

$$\begin{aligned} \dot{x}_i(t) &= f_i[\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), t], \quad i=1, 2, \dots, n \\ x_i(t_0) &= x_i^0, \quad i=1, 2, \dots, n \text{ (condiciones iniciales)}, \quad t \in [t_0, T]; \text{ donde:} \end{aligned}$$

$x_i(t)$ son las variables dependientes que representan la respuesta o solución del sistema, llamadas variables de estado: $\mathbf{x}(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)]^T$,

$u_i(t)$ son las cantidades de entrada o funciones de forzado, también llamadas variables de control: $\mathbf{u}(t) = [u_1(t), u_2(t), \dots, u_m(t)]^T$,

$f_i(\bullet)$ son funciones generales que se asume satisfacen ciertas condiciones mínimas, que garantizan la existencia y unicidad de las soluciones del sistema,

$$\dot{x}_i(t) \equiv \frac{d x_i(t)}{d t}$$

Las variables de estado constituyen un número mínimo de cantidades que sintetizan el comportamiento pasado del sistema; ésto es, su estado al tiempo t_0 , siendo $\mathbf{u}(t)$, para $t \geq t_0$, suficiente para especificar el comportamiento de las variables de estado para $t \geq t_0$. Geométricamente, el vector de estado define una curva solución en el espacio de estado n -dimensional, actuando el tiempo como parámetro.

Para el caso lineal, cuando las funciones generales $f_i[\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), t]$ son lineales en $\mathbf{x}(t)$, $\mathbf{u}(t)$, el sistema adopta la forma siguiente:

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}}(t) &= \mathbf{A}(t) \mathbf{x}(t) + \mathbf{B}(t) \mathbf{u}(t), \\ \mathbf{x}(t_0) &= \mathbf{x}^0, \quad t \in [t_0, T]; \text{ donde:} \end{aligned}$$

$\mathbf{A}(t)$ es una matriz $n \times n$ de coeficientes,
 $\mathbf{B}(t)$ es una matriz $n \times m$ de coeficientes.

Una ecuación diferencial de orden n ,
$$\frac{d^n x(t)}{d t^n} = f\left(x, \frac{d x}{d t}, \dots, \frac{d^{n-1} x}{d t^{n-1}}, u_1, \dots, u_m, t\right),$$

puede ser escrita en la forma canónica que sigue, si se define:

$$\begin{aligned} x_1 &= x \\ x_2 &= \dot{x} \\ &\ddots \\ x_3 &= x \\ &\vdots \end{aligned}$$

$x_n = x^{(n-1)}$, donde $x^{(n-1)} = \frac{d^{n-1} x}{d t^{n-1}}$; entonces se tiene:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= x_3 \\ &\vdots \\ \dot{x}_{n-1} &= x_n \\ \dot{x}_n &= f(x_1, x_2, \dots, x_n, u_1, u_2, \dots, u_m, t), \end{aligned}$$

que es un sistema de n ecuaciones diferenciales de primer orden.

En caso de desconocerse alguno o todos los parámetros constantes α de una ecuación diferencial no-lineal $\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}[\mathbf{x}(t), \mathbf{u}(t), \alpha, t]$, pueden ser tratados como un vector de variables de estado, agregándose al sistema de ecuaciones diferenciales, $\dot{\alpha} = 0$. El problema de conocer el parámetro es entonces, equivalente a hallar la condición inicial para la correspondiente variable de estado. Además de parámetros desconocidos, el sistema puede tener condiciones de contorno desconocidas; por ejemplo, el valor de algunos componentes puede saberse en el punto inicial; el de otros, en el punto final, o bien, sólo disponerse de mediciones aisladas. La quasi-linealización proporciona un modo de convertir un problema de valores de contorno multi-punto, en una serie, formal y computacionalmente tratable de problemas de valor inicial.

10. 3. 8. 2. - Solución Aproximada Inicial: debe proponerse para el sistema de ecuaciones diferenciales no-lineales, en el intervalo $[t_0, T]$, una historia temporal o trayectoria aproximada $\mathbf{x}(t)$, identificada como $\bar{\mathbf{x}}(t)$, la que puede lograrse a partir de una versión simplificada del sistema con condiciones iniciales o de contorno, estimadas sobre la base del conocimiento previo de la realidad objeto de modelización.

10. 3. 8. 3. - Linealización: se emplea el método de Newton-Raphson, del que se analiza primero, su aplicación en sistemas uni y ene-dimensionales de ecuaciones algebraicas no-lineales, para extenderlo al tratamiento de ecuaciones diferenciales no-lineales. El método implica resolver iterativamente, una serie de ecuaciones lineales, cuyas soluciones forman una secuencia de valores que convergen sobre la raíz de la función original $f(x)$, monótona decreciente $\forall x$, cóncava hacia arriba, $f'(x) \neq 0$. La raíz buscada satisface $f(x) = 0$. Si la abscisa estimada inicial es x^0 , $f'(x^0) \neq 0$; se tiene la expresión iterativa siguiente:

$$x^{n+1} = x^n - \frac{f(x^n)}{f'(x^n)}.$$

Bajo los supuestos precedentes, el procedimiento es convergente; ésto es, la secuencia de valores $\{x^n\}$, tiende a la raíz. La convergencia es cuadrática, siendo el error en cada ciclo de iteración, proporcional al cuadrado del error en la etapa anterior. El procedimiento se detiene cuando $f(x)|_{x=x^n} \rightarrow 0$ o bien, $|f(x^n)| < \varepsilon$ o también $|x^n - x^{n-1}| < \varepsilon$, siendo ε , un número positivo pequeño.

En notación vectorial, llamando $\mathbf{f}(\mathbf{x})$ a la función vectorial conformada por n funciones escalares de n variables independientes, se tiene:

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix}, \quad \mathbf{f}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} f_1(\mathbf{x}) \\ f_2(\mathbf{x}) \\ \vdots \\ f_n(\mathbf{x}) \end{bmatrix}$$

Derivando la función vectorial, se obtiene la matriz Jacobiana siguiente:

$$J(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1(\mathbf{x})}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1(\mathbf{x})}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_1(\mathbf{x})}{\partial x_n} \\ \frac{\partial f_2(\mathbf{x})}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2(\mathbf{x})}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_2(\mathbf{x})}{\partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_n(\mathbf{x})}{\partial x_1} & \frac{\partial f_n(\mathbf{x})}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_n(\mathbf{x})}{\partial x_n} \end{bmatrix}$$

Si se generaliza la fórmula escalar $f(x) \cong f(x^0) + f'(x^0)(x - x^0)$, obtenida al desarrollar $f(x)$ en serie de Taylor alrededor de x^0 , considerando sólo los términos lineales, resulta:

$$\begin{aligned} \mathbf{f}(\mathbf{x}) &\cong \mathbf{f}(\mathbf{x}^0) + J(\mathbf{x}^0)(\mathbf{x} - \mathbf{x}^0); \text{ haciendo:} \\ \mathbf{0} &= \mathbf{f}(\mathbf{x}^0) + J(\mathbf{x}^0)(\mathbf{x} - \mathbf{x}^0) \Rightarrow \\ \mathbf{x}^1 &= \mathbf{x}^0 - [J(\mathbf{x}^0)]^{-1} \mathbf{f}(\mathbf{x}^0). \end{aligned}$$

Asumiendo que $[J(\mathbf{x}^0)]^{-1}$ existe, para la N -ésima iteración, se tiene la siguiente expresión general de recurrencia:

$$\mathbf{x}^N = \mathbf{x}^{N-1} - [J(\mathbf{x}^{N-1})]^{-1} \mathbf{f}(\mathbf{x}^{N-1}).$$

El algoritmo de Newton-Raphson se aplica también a la linealización de ecuaciones diferenciales no-lineales, para generar una secuencia de ecuaciones diferenciales lineales, cuyas soluciones deben convergir sobre la solución de la ecuación diferencial no-lineal. La solución es una trayectoria $x = x(t)$ en el intervalo $t \in [t_0, T]$, de modo que $\frac{d}{dt} x(t) = f(x)$.

Dada la ecuación diferencial no-lineal de una variable $\dot{x} = f(x, t)$, la aplicación del método de Newton-Raphson con $x^{(0)}$ como estimación inicial, proporciona:

$$f(x^{(1)}, t) \cong f(x^{(0)}, t) + \nabla_x f(x^{(0)}, t)(x^{(1)} - x^{(0)}), \text{ donde } \nabla_x f = \frac{\partial}{\partial x} f.$$

Haciendo la substitución: $\dot{x}^{(1)} = f(x^{(1)}, t)$, se tiene:

$$\dot{x}^{(1)} = f(x^{(0)}, t) + \nabla_x f(x^{(0)}, t)(x^{(1)} - x^{(0)}).$$

Para la ene-ésima iteración, resulta:

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{x}}^{(n)} &= f(\mathbf{x}^{(n-1)}, t) + \nabla_x f(\mathbf{x}^{(n-1)}, t) (\mathbf{x}^{(n)} - \mathbf{x}^{(n-1)}), \\ \dot{x}^{(n)} &= f(x^{(n-1)}, t) + \nabla_x f(x^{(n-1)}, t) x^{(n)} - \nabla_x f(x^{(n-1)}, t) x^{(n-1)}, \\ \dot{x}^{(n)} &= \nabla_x f(x^{(n-1)}, t) x^{(n)} + [f(x^{(n-1)}, t) - \nabla_x f(x^{(n-1)}, t) x^{(n-1)}]. \end{aligned}$$

Como $x^{(n-1)}$ se asume conocido; $f(x^{(n-1)}, t)$, $\nabla_x f(x^{(n-1)}, t)$, resultan conocidos. La ecuación diferencial, puede escribirse:

$$\begin{aligned} \dot{x}^{(n)}(t) &= a(t) x^{(n)}(t) + b(t), \text{ donde:} \\ a(t) &= \nabla_x f(x^{(n-1)}, t), \\ b(t) &= f(x^{(n-1)}, t) - \nabla_x f(x^{(n-1)}, t) x^{(n-1)}(t). \end{aligned}$$

La ecuación de aproximación, es una ecuación diferencial lineal con coeficientes variables en el tiempo. Estos resultados pueden generalizarse a un sistema de n ecuaciones diferenciales no-lineales de primer orden, como sigue: $\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, t)$, $\mathbf{x}(t_0) = \mathbf{x}^0$.

Dadas las siguientes ene-ecuaciones diferenciales no-lineales:

$\dot{x}_i = f_i(x_1, x_2, \dots, x_n, t)$, $i = 1, 2, \dots, n$, la aplicación del método de Newton-Raphson, con \mathbf{x}^0 como estimación inicial, proporciona:

$$f_i(\mathbf{x}^{(1)}, t) = f_i(\mathbf{x}^{(0)}, t) + \sum_{j=1}^n \frac{\partial}{\partial x_j} f_i(\mathbf{x}^{(0)}, t) (x_j^{(1)} - x_j^{(0)}); \text{ siendo: } f_i(\mathbf{x}^{(1)}, t) \equiv \dot{x}_i^{(1)} \Rightarrow$$

$$\dot{x}_i^{(1)} = f_i(\mathbf{x}^{(0)}, t) + \sum_{j=1}^n \frac{\partial}{\partial x_j} f_i(\mathbf{x}^{(0)}, t) (x_j^{(1)} - x_j^{(0)}); \text{ en la ene-ésima iteración, es:}$$

$$\dot{x}_i^{(n)} = f_i(\mathbf{x}^{(n-1)}, t) + \sum_{j=1}^n \frac{\partial}{\partial x_j} f_i(\mathbf{x}^{(n-1)}, t) (x_j^{(n)} - x_j^{(n-1)}); \text{ o bien:}$$

$$\dot{x}_i^{(n)} = \sum_{j=1}^n \frac{\partial}{\partial x_j} f_i(\mathbf{x}^{(n-1)}, t) x_j^{(n)} + \left[f_i(\mathbf{x}^{(n-1)}, t) - \sum_{j=1}^n \frac{\partial}{\partial x_j} f_i(\mathbf{x}^{(n-1)}, t) x_j^{(n-1)} \right]$$

El desarrollo en serie de potencias de $\mathbf{f}(\mathbf{x})$ alrededor de \mathbf{x}^0 en forma vectorial, es:

$\mathbf{f}(\mathbf{x}, t) \cong \mathbf{f}(\mathbf{x}^0, t) + J(\mathbf{x}^0) (\mathbf{x} - \mathbf{x}^0)$; resultan las siguientes ecuaciones diferenciales:

$\dot{\mathbf{x}}^{(1)} = J(\mathbf{x}^0) \mathbf{x}^{(1)} + \mathbf{f}(\mathbf{x}^0, t) - J(\mathbf{x}^0) \mathbf{x}^0$; la fórmula general de recurrencia para $\mathbf{x}^{(n)}$, es:

$$\dot{\mathbf{x}}^{(n)} = J(\mathbf{x}^{(n-1)}) \mathbf{x}^{(n)} + \mathbf{f}(\mathbf{x}^{(n-1)}, t) - J(\mathbf{x}^{(n-1)}) \mathbf{x}^{(n-1)}; \text{ el sistema adopta la forma:}$$

$$\dot{\mathbf{x}}^{(n)}(t) = A(t) \mathbf{x}^{(n)}(t) + B(t); \text{ donde:}$$

$$A(t) = J(\mathbf{x}^{(n-1)}(t)), \quad B(t) = \mathbf{f}(\mathbf{x}^{(n-1)}(t)) - J(\mathbf{x}^{(n-1)}(t)) \mathbf{x}^{(n-1)}(t).$$

10. 3. 8. 4. - Solución de las Ecuaciones Diferenciales Lineales: las ecuaciones diferenciales no-lineales originales, se aproximan mediante ecuaciones diferenciales lineales, tal como se ha expuesto, para poder aplicar el principio de superposición; ésto es, para obtener la solución general (solución total) del sistema, como suma de un vector de soluciones particulares (integrales particulares) y de un vector conformado por un arreglo lineal de soluciones de las ecuaciones diferenciales homogéneas (funciones complementarias):

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{x}^p(t) + \sum_{i=1}^n x_i(0) \mathbf{x}_i^h(t)$$

La función $\mathbf{p}(t)$ es la solución particular; la trayectoria seguida por el sistema cuando todas las condiciones iniciales son cero y se aplica una entrada o estímulo:

$$\dot{\mathbf{x}}^p(t) = A(t) \mathbf{x}^p(t) + B(t) \mathbf{u}(t), \quad \mathbf{x}^p(0) = \mathbf{0}.$$

La i -ésima solución homogénea $\mathbf{h}^i(t)$ es la trayectoria seguida por el sistema cuando la i -ésima componente del vector de condiciones iniciales es 1 y todas las otras componentes son nulas, no considerándose entrada alguna. Consiguientemente, $\mathbf{h}^i(t)$ es la solución de:

$$\dot{\mathbf{x}}^h(t) = A(t) \mathbf{x}_i^h(t), \quad \mathbf{x}_i^h(0) = \delta_{ij}, \quad \text{siendo } \delta_{ij}, \text{ la función delta de Kronecker.}$$

La aproximación lineal a $\dot{\mathbf{x}}^h(t) = \mathbf{f}(\mathbf{x}^{(n)})$ se resuelve $n + 1$ vez, para obtener las soluciones particulares y homogéneas. La solución general o total $\mathbf{x}^{(n)}(t)$, se expresa en términos de las condiciones iniciales desconocidas $\mathbf{x}_i^{(n)}(0)$. La solución general de un sistema de ecuaciones diferenciales lineales, puede obtenerse mediante la Transformada de Laplace. Si se considera el siguiente sistema lineal, invariante en el tiempo:

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}} = A \mathbf{x} + B \mathbf{u} \\ \mathbf{x}(t_0) = \mathbf{x}^0 \end{cases}, \quad \text{donde:}$$

- \mathbf{x} es el vector de estado $n \times 1$;
- \mathbf{u} es el vector de control $m \times 1$;
- A es una matriz de constantes $n \times n$;
- B es una matriz de constantes $n \times m$.

Aplicando la Transformada de Laplace para resolver para $\mathbf{X}(s)$, se tiene:

$$\begin{aligned} s \mathbf{X}(s) - \mathbf{x}(t_0) &= A \mathbf{X}(s) + B \mathbf{U}(s) \quad \Rightarrow \\ (s I - A) \mathbf{X}(s) &= \mathbf{x}(t_0) + B \mathbf{U}(s) \quad \Rightarrow \\ \mathbf{X}(s) &= (s I - A)^{-1} [\mathbf{x}(t_0) + B \mathbf{U}(s)]. \end{aligned}$$

La matriz fundamental de transición $\Phi(t, t_0)$, es: $\Phi(t, t_0) = \mathcal{L}^{-1} \{ [s I - A]^{-1} \}$.

Por el teorema de la convolución en forma vectorial, se tiene la solución general para $\mathbf{x}(t)$:

$\mathbf{x}(t) = \Phi(t, t_0) \mathbf{x}(t_0) + \int_{t_0}^t \Phi(t, \tau) B \mathbf{u}(\tau) d\tau$; para todo sistema lineal, invariante en el tiempo, se cumple que: $\Phi(t, t_0) = \Phi(t - t_0)$.

El elemento ij de la matriz fundamental de transición $\Phi(t, t_0)$, llamado Φ_{ij} , describe como $x_i(t)$ depende de $x_j(t_0)$, asumiendo que $\mathbf{u}(t) = \mathbf{0}$ en el intervalo $[t_0, t]$ y todas las otras condiciones iniciales son cero en $t = t_0$; ésto es, $x_k(t_0) = 0$, para $k \neq j$.

La solución general $\mathbf{x}(t) = \Phi(t, t_0) \mathbf{x}(t_0) + \int_{t_0}^t \Phi(t, \tau) B \mathbf{u}(\tau) d\tau$, representa la superposición de efectos sobre $\mathbf{x}(t)$ debidos a las condiciones iniciales, más las acciones de control $\mathbf{u}(t)$ en el intervalo $[t_0, t]$. La matriz fundamental de transición $\Phi(t, t_0)$, puede ser obtenida resolviendo la ecuación matricial correspondiente a la parte homogénea de:

$$\dot{\mathbf{x}} = A \mathbf{x} + B \mathbf{u} \quad \text{o bien:} \quad \begin{cases} \dot{\Phi}(t, t_0) = A \Phi(t, t_0) \\ \Phi(t_0, t_0) = I \end{cases}$$

La notación compacta de la ecuación precedente, implica resolver $\dot{\mathbf{x}} = A \mathbf{x}$ n veces; primero con $x_1(t_0) = 1$ y todos los otros $x_i(t_0) = 0$, $i \neq 1$; luego con $x_2(t_0) = 1$ y todos los otros $x_i(t_0) = 0$, $i \neq 2$; etc. Es decir, se resuelve la parte homogénea con las siguientes condiciones iniciales:

$$\mathbf{x}_1(t_0) = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{x}_2(t_0) = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \dots, \quad \mathbf{x}_n(t_0) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}$$

La solución particular \mathbf{x}^p , se obtiene integrando la ecuación $\dot{\mathbf{x}} = A \mathbf{x} + B \mathbf{u}$ con la condición inicial $\mathbf{x}(t_0) = \mathbf{0}$; puede observarse de la solución general:

$$\mathbf{x}(t) = \Phi(t, t_0) \mathbf{x}(t_0) + \int_{t_0}^t \Phi(t, \tau) B \mathbf{u}(\tau) d\tau, \quad \text{que haciendo } \mathbf{x}(t_0) = \mathbf{0}, \text{ resulta:}$$

$$\mathbf{x}^p(t) = \int_{t_0}^t \Phi(t, \tau) B \mathbf{u}(\tau) d\tau, \quad \text{siendo éste, el efecto del control } \mathbf{u}(t) \text{ en } [t_0, t].$$

La solución de la parte homogénea, es entonces:

$$\mathbf{x}^h(t) = \Phi(t, t_0) \mathbf{x}(t_0).$$

La solución general (solución total) del sistema, se obtiene como suma de un vector de soluciones particulares (integrales particulares) y de un vector conformado por un arreglo lineal de soluciones de las ecuaciones diferenciales homogéneas (funciones complementarias). Éstas y las soluciones particulares, se obtienen por métodos de integración numérica, tales como los de Runge-Kutta o del predictor-corrector de Hamming. La solución general del sistema de ecuaciones diferenciales lineales, es:

$$x_i(t) = x_i^p(t) + \sum_{k=1}^n x_k^0 x_{ik}^h(t), \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Para la N -ésima iteración, se tiene:

$$x_i(t) = x_i^p(t) + \left[\sum_{k=1}^n x_k^0 x_{ik}^h(t) \right]^{(N)}, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

10. 3. 8. 5. - Función de Identificación de Error: en la quasi-linealización, la norma empleada es la suma de los errores al cuadrado. La suma se toma sobre cada tiempo muestreado y sobre cada componente del que se dispongan observaciones. En beneficio de la sencillez, la discusión se circunscribe al primer componente de x , el que se supone ha sido medido j veces.

Los valores observados se indican como: $\hat{x}_1(t_j)$, $j = 1, 2, \dots, J$.

La norma de cuadrados mínimos puede escribirse como: $G = \left\| \hat{\mathbf{x}}(t_j) - \mathbf{x}(t_j) \right\|^2$; por ej.:

$$G = \sum_{j=1}^J \left[\hat{x}_1(t_j) - x_1(t_j) \right]^2, \quad \text{por el principio de superposición el valor calculado}$$

correspondiente a $\hat{x}_1(t_j)$ se expresa como el arreglo lineal siguiente:

$$x_1(t_j) = x_1^p(t_j) + \sum_{k=1}^n x_k(0) x_{1k}^h(t_j).$$

Como las soluciones particulares y homogéneas han sido calculadas y almacenadas, los valores $x_1^p(t_j)$, $x_{1k}^h(t_j)$ son conocidos, quedando parcial o completamente desconocidos los valores de $x_k(0)$, con $k = 1, 2, \dots, n$. Substituyendo $x_1(t_j)$ en la norma de cuadrados mínimos, resulta:

$$G = \sum_{j=1}^J \left\{ \hat{x}_1(t_j) - \left[x_1^p(t_j) + \sum_{k=1}^n x_k(0) x_{1k}^h(t_j) \right] \right\}^2.$$

10. 3. 8. 6. - Minimización de la Función de Identificación de Error: se pretende minimizar la norma con respecto a las condiciones iniciales o parámetros desconocidos. Se calcula un punto estacionario de la función de error G , igualando a cero las derivadas parciales con respecto a las n condiciones iniciales desconocidas. La norma es cuadrática; consiguientemente, sólo tiene un punto estacionario. Como es definida positiva, el punto estacionario simple, es un mínimo. El cálculo del mínimo se hace resolviendo un sistema de N ecuaciones algebraicas con N incógnitas. Derivando parcialmente la norma G con respecto a la condición inicial desconocida x_k^0 , se obtiene:

$$\frac{\partial}{\partial x_k^0} G = \sum_{j=1}^J 2 x_{1k}^h(t_j) \left\{ \hat{x}_1(t_j) - \left[x_1^p(t_j) + \sum_{i=1}^n x_i^0 x_{1i}^h(t_j) \right] \right\}, \quad k = 1, 2, \dots, n.$$

Haciendo $\frac{\partial}{\partial x_k^0} G = 0$, $k = 1, 2, \dots, n$, estas n ecuaciones pueden ser reagrupadas sólo con incógnitas en el miembro de la izquierda y con constantes en el de la derecha:

$$\sum_{j=1}^J x_{1k}^h(t_j) \left[\sum_{i=1}^n x_i^0 x_{1i}^h(t_j) \right] = \sum_{j=1}^J x_{1k}^h(t_j) \left[x_1^p(t_j) - \hat{x}_1(t_j) \right], \quad k = 1, 2, \dots, n$$

Las n ecuaciones pueden expresarse también en forma matricial: $A \mathbf{x} = \mathbf{b}$, cuyos componentes son:

$$A = \{a_{ik}\}, \quad \text{siendo:}$$

$$a_{ik} = \sum_{j=1}^J x_{1i}^h(t_j) x_{1k}^h(t_j), \quad i, k = 1, 2, \dots, n$$

$$\mathbf{x} = [x_1(0), x_2(0), \dots, x_n(0)]^T$$

$$\mathbf{b} = [b_1, b_2, \dots, b_n]^T, \quad \text{donde:}$$

$$b_i = \sum_{j=1}^J x_{1i}^h(t_j) \left[x_1^p(t_j) - \hat{x}_1(t_j) \right], \quad i = 1, 2, \dots, n$$

10. 3. 8. 7. - Solución del Sistema de Ecuaciones Algebraicas: empleando por ejemplo, el método de eliminación de Gauss, puede resolverse numéricamente el sistema de ecuaciones algebraicas: $A \mathbf{x} = \mathbf{b}$, para calcular las condiciones iniciales y los parámetros x_k^0 que aseguran el mejor ajuste en relación con las observaciones.

10. 3. 8. 8. - Prueba o Test de Convergencia: esta evaluación debe ser hecha para comprobar que el error es suficientemente pequeño; en caso contrario, se realiza una nueva iteración. Ésta consiste en resolver la ecuación diferencial (escalar o matricial) lineal aproximada, una vez más, empleando el conjunto de condiciones iniciales últimamente calculado y almacenado.

10. 3. 9. - ANÁLISIS NUMÉRICO DEL PROCESO DE COLMATACIÓN DEL EMBALSE DE TERMAS DE RÍO HONDO, BASADO EN UN MODELO HIDRÁULICO REDUCIDO

10. 3. 9. 1. - Introducción y Antecedentes: el estudio de la colmatación del Embalse de Termas de Río Hondo, realizado por la División de Recursos Hídricos de Agua y Energía Eléctrica, Sociedad del Estado, República Argentina, entre el 15 de abril y el 09 de mayo de 1985, tuvo por objeto cuantificar el volumen de sedimento depositado desde su cierre en septiembre de 1967, con el fin de determinar una curva de operación del reservorio, considerando la relación cota-volumen (Agua y Energía Eléctrica, Sociedad del Estado, 1986).

Los perfiles batimétricos cero a cinco (**Fig. AMM I - 02**), son de taludes pronunciados y la superficie de sedimentación, poco accidentada, corresponde al valle del Río Dulce, donde la morfología original ha sido obliterada por depósitos recientes. A partir del perfil seis, el valle se ensancha; las márgenes son tendidas y la superficie de sedimentación conserva algunos rasgos primigenios. En los perfiles correspondientes a la cola del embalse, se observa el avance de los deltas. Los mayores espesores se registraron frente a la presa, alcanzando los doce metros en el perfil cero, luego disminuyeron hasta el perfil siete, para aumentar hacia la cola del embalse (perfiles nueve y diez). El volumen depositado en los primeros 17,4 años, fue de $232,5 \text{ hm}^3$, equivalente a $13,4 \text{ hm}^3 \text{ año}^{-1}$. El volumen de sedimentos calculado en oportunidad de realizarse la primera batimetría, implica una pérdida del 14,02 % de la capacidad inicial del embalse, calculada en 1658 hm^3 (cota 274 m snm).

El relevamiento hecho en 1987 permite estimar la contribución de los tributarios en la formación de los deltas; ésta es: Salí, 67 %; Gastona, 21 %; Medina, 8 % y Marapa, 4 %. Estos valores no se corresponden con la participación porcentual de las superficies de las cuencas de aporte: Salí, 59 %; Gastona, 6 %; Medina, 16 % y Marapa, 19 %. En cuanto a las descargas líquidas, la distribución es: Salí, 46 %; Gastona, 23 %; Medina, 23 % y Marapa, 8 %. Considerando que los ríos del primer grupo tienen estimativamente, el doble de concentración de sólidos totales que los del segundo grupo, resulta que el Salí y el Gastona, aportan aproximadamente 82 % del total de sólidos sedimentados en los deltas y los tributarios del segundo grupo, solamente un 18 % del total. La concentración de partículas en suspensión con $10 \mu\text{m} \leq \phi \leq 20 \mu\text{m}$, es de 350000 partículas l^{-1} para el Río Salí; de 60000 partículas l^{-1} para el Río Gastona; de 200000 partículas l^{-1} para el Río Medina y de 90000 partículas l^{-1} para el Río Marapa. Sobre el cauce del Río Dulce, inmediatamente aguas abajo del embalse, se han determinado 10000 partículas l^{-1} (Ferreira, Carlos. A., 1987).

El aporte total anual de material sólido previsto por el proyecto, fue de $3,7 \text{ hm}^3$, resultando lo efectivamente depositado un 362 % de lo estimado (262 % de exceso). El derrame anual promedio para un período de 41 años, previos al cierre de la presa era de 2611 hm^3 (módulo de $82,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). Durante los 19 años siguientes, se registraron $4505 \text{ hm}^3 \text{ año}^{-1}$ (módulo de $142 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$); esto implica un exceso promedio del 73 %. El valor medio anual para 60 años de mediciones, es de 3210 hm^3 ($101,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ de módulo).

Las circunstancias consignadas permiten inferir un envejecimiento anticipado por colmatación y eutrofización como consecuencia de un incremento en la escorrentía y erosión edáfica; menor infiltración y mayor aporte de nutrientes.

La discrepancia entre los valores observados de sedimentación (en promedio $13,4 \text{ hm}^3 \text{ año}^{-1}$) y los estimados a priori ($3,7 \text{ hm}^3 \text{ año}^{-1}$) justifica analizar el sistema empleando diferentes estrategias. La simulación basada en el uso de modelos hidráulicos reducidos, es una de ellas; permite considerar la tasa del proceso de colmatación, como dependiente de la cantidad de material sedimentable que ingresa al reservorio; de la fracción o porcentaje que es retenido en la cubeta y de la densidad de los sedimentos depositados (Einstein, H. A., 1972; Perera, J. G. H. et al., 1991). La relación entre sedimentos acumulados e ingresados, mide la eficiencia de retención del embalse (Brune, G. M., 1953). Conforme progresa la colmatación, la eficiencia de retención del embalse disminuye, pues decrece la razón: capacidad : caudal de entrada, por aumento de la velocidad y por ende de la energía cinética y disminución del tiempo de retención o residencia. El volumen que ocupa el sedimento, depende del peso específico del material, el que es función de su granulometría y de la edad de los depósitos. Los sedimentos más antiguos se consolidan, entre otras causas, por el peso de los aportes más recientes. Con posterioridad a la batimetría realizada por Agua y Energía Eléctrica, Soc. del Estado, en 1985, se encararon otras; por ejemplo la que en 1997 efectuó la consultora Evarsa S. A. para la empresa Hidroeléctrica Río Hondo S. A., de la que se incluyen una tabla (Tabla AMM I - 01) y una curva cota-volumen² (Fig. AMM I - 01):

Tabla AMM I - 01 - VALORES DE COTA-VOLUMEN DEL EMBALSE FRONTAL DE TERMAS DE RÍO HONDO EN 1997

Cota	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262
Volumen	4,8	18,2	26,2	29,9	30,9	30,3	29,5	29,9	32,8	39,4	51,2	69,4
Cota	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274
Volumen	95,4	130,4	175,9	233,1	303,4	388,0	488,4	605,8	741,6	897,0	1073,5	1272,3

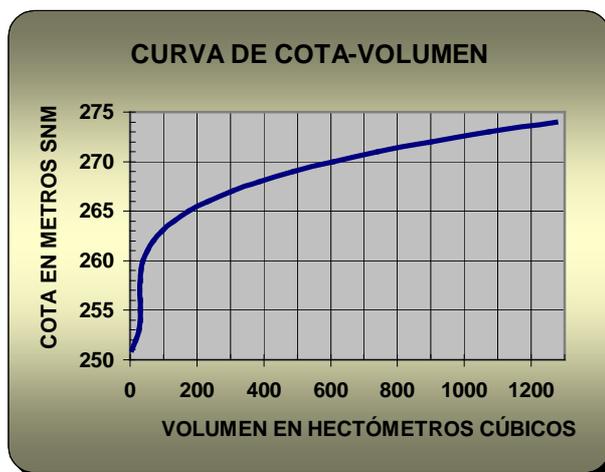


Fig. AMM I - 01 - CURVA DE COTA-VOLUMEN PARA EL EMBALSE FRONTAL DE TERMAS DE RÍO HONDO EN 1997

10. 3. 9. 2. - Objetivos:

Diseñar y construir un modelo reducido hidráulico del Embalse de Termas de Río Hondo, con ajuste a las leyes de semejanza hidráulica, para analizar el proceso de colmatación;

Operar el modelo, en el que prevalecen la gravedad y la viscosidad, introduciendo una suspensión acuosa de suelo sintético, procurando lograr isomorfismos conducentes a la adquisición de datos experimentales;

Generar un modelo numérico del proceso de colmatación provocado experimentalmente.

² Comunicación personal del Ing. Pablo Brainovich (11/10/2001), Gerente de Mantenimiento de Hidroeléctrica Río Hondo S. A.

10. 3. 9. 3. - Materiales y Métodos: en la operación del modelo reducido hidráulico, se unifica el ingreso de los Ríos Salí y Gastona (69 %), en el sector norte de la costa occidental. Como con posterioridad al año 1973 los Ríos Medina y Marapa y el Arroyo Matazambi confluyen fuera del embalse (31 % del caudal), también se unificaron sus aportes desde el oeste.

Con el modelo reducido hidráulico, se procura provocar un fenómeno análogo al que se desea estudiar, de modo que a cada punto del fluido en ensayo, corresponda otro en la realidad. Debido a las restricciones impuestas por la gravedad; por la presión atmosférica y por la rugosidad, los resultados son en general, aproximados. Se recurre al análisis dimensional para obtener las ecuaciones que establecen las relaciones entre masa; fuerza; tiempo; velocidad; etc. (ver **NOTAS SOBRE ANÁLISIS DIMENSIONAL**).

Aplicando el principio de semejanza hidráulica, se adoptan las siguientes escalas: horizontal: 1 : 12 000 ; vertical: 1 : 250 ; distorsión: 1 : 48 (ver **Tabla AMM I - 02**).

Tabla AMM I - 02 - COMPARACIÓN ENTRE PARÁMETROS TOPOGRÁFICO-GEOMÉTRICOS E HIDROLÓGICOS DEL SISTEMA REAL Y DEL MODELO, RESULTANTES DEL ANÁLISIS DIMENSIONAL

		Realidad:	Modelo:
Distancia horizontal máxima:		20 Km	1,66 m
Profundidad máxima:		15 m	6 cm
Equidistancia de las curvas de nivel:		1 m	4 mm
Caudales:	Medio anual:	87 m ³ s ⁻¹	0,110 l min ⁻¹
	Medio en semestre húmedo:	130,7 m ³ s ⁻¹	0,165 l min ⁻¹
	Medio en semestre seco:	52,5 m ³ s ⁻¹	0,066 l min ⁻¹
Tiempo de residencia:		6 meses	5 hs 41 min 32 s

Cada perfil batimétrico se particiona según un espaciamiento variable, tomando puntos relevantes, en relación con los cuales, se registra la variación de espesor de los sedimentos. Esta variación temporal se ajusta en cada caso, con una función de regresión logarítmica, generándose mapas de isolíneas para sus coeficientes. Se calculan por interpolación los valores correspondientes a cada nodo del retículo de elementos cuadrados de 500 m de lado, que constituye el plano de comparación de cota 0 m snm. La **Fig. AMM I - 03** ilustra sobre el tratamiento discreto tridimensional empleado en la modelización numérica. Trátase de paralelepípedos rectos de base cuadrada, superiormente limitados por superficies regladas. Éstas se corresponden en cada instancia temporal, con la situación del lecho. Los resultados de evaluar las funciones de regresión logarítmica para la acumulación de sedimentos, son escalados y aplicados a cada nodo del reticulado espacial. Se tienen de este modo, las cotas a emplear en el cálculo de volúmenes.

La relación funcional para una superficie reglada, cuando la recta generatriz desliza sobre segmentos de recta, es de la forma: $z = f(x, y) = ax + by + c$. Ubicando el origen del sistema coordenado en un vértice de la base del paralelepípedo limitado superiormente por la superficie reglada, resulta ser: $d =$ cota al origen ; los coeficientes de los términos lineales se tienen haciendo: $x = 0, y = 0$, respectivamente y el coeficiente del término cruzado, igualando la expresión al valor de la función para el vértice de la base, en el que se tiene: $x = 0, y = 0$.

El volumen se calcula haciendo:

$$V = \int_{x=0}^l \int_{y=0}^l (axy + bx + cy + d) dy dx = \int_{x=0}^l \left(\frac{axy^2}{2} \Big|_{y=0}^l + bxy \Big|_{y=0}^l + \frac{cy^2}{2} \Big|_{y=0}^l + dy \Big|_{y=0}^l \right) dx =$$

$$= \int_{x=0}^l \left(\frac{al^2x}{2} + blx + \frac{cl^2}{2} + dl \right) dx = \frac{a}{4} l^4 + \frac{b+c}{2} l^3 + dl^2, \text{ como:}$$

$$z \Big|_{x,y=0} = d, \quad z \Big|_{\substack{x=l \\ y=0}} = bl + d, \quad z \Big|_{\substack{x=0 \\ y=l}} = cl + d, \quad z \Big|_{x,y=l} = al^2 + bl + cl + d, \text{ si se}$$

suman las cuatro cotas, se tiene: $S_4 = al^2 + 2bl + 2cl + 4d$, cuya media aritmética, es:

$$\left(\frac{1}{4} \right) (S_4) = \frac{a}{4} l^2 + \frac{b+c}{2} l + d; \text{ multiplicando esta expresión por el área de la base } (l^2),$$

$$\text{se tiene: } \left(\frac{1}{4} \right) (S_4) (l^2) = \frac{a}{4} l^4 + \frac{b+c}{2} l^3 + dl^2 = V$$

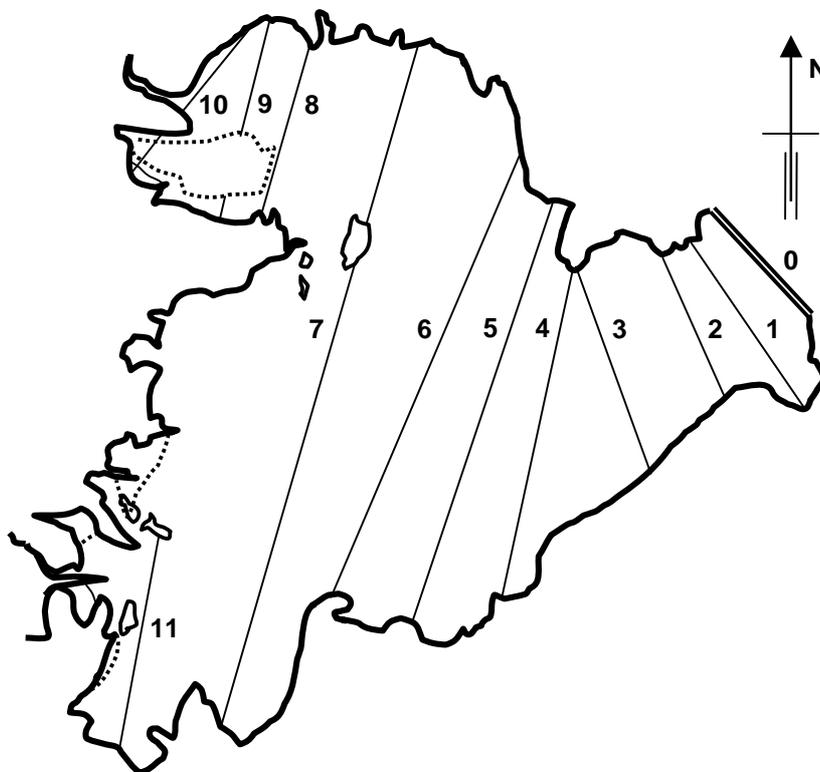


Fig. AMM I - 02 - UBICACIÓN DE PERFILES BATIMÉTRICOS SOBRE UN ESQUEMA DEL EMBALSE DE TERMAS DE RÍO HONDO, EN ESCALA: 1 : 200000

La interpretación geométrica del algoritmo precedente, con el que se calcula el volumen confinado entre una superficie reglada y su proyección ortogonal sobre el plano horizontal, se ilustra en la **Fig. AMM I - 04**. El volumen de sedimento acumulado en un determinado intervalo de tiempo $\Delta t = t_j - t_0$, se obtiene como diferencia entre los volúmenes de los paralelepípedos correspondientes. La máxima capacidad de embalse de agua del sistema, ocurre a *tiempo* = t_0 y para una unidad de área = l^2 , está dada por la diferencia entre el volumen del paralelepípedo recto de sección cuadrada, de altura igual a la *cota* $z = 274$ m snm y el del paralelepípedo de altura igual a la cota media de la superficie del fondo para $t = t_0$. En el límite, para $t \rightarrow \infty$, se cumple que el volumen del sedimento iguala a la capacidad inicial de embalse de líquido.

Por efecto de la discretización con que se tratan ambos sistemas, el real y el del modelo reducido, aparecen cuestiones de contorno. Éstas se manifiestan en el algoritmo general de integración, el cual es resuelto computacionalmente como suma finita. Deben individualizarse mediante sus coordenadas horizontales, los nodos cuyas cotas participan en el cálculo de una unidad de volumen; de dos; de tres o bien de cuatro como sucede en la gran mayoría de los puntos; esto es, los que pertenecen al interior del reticulado.

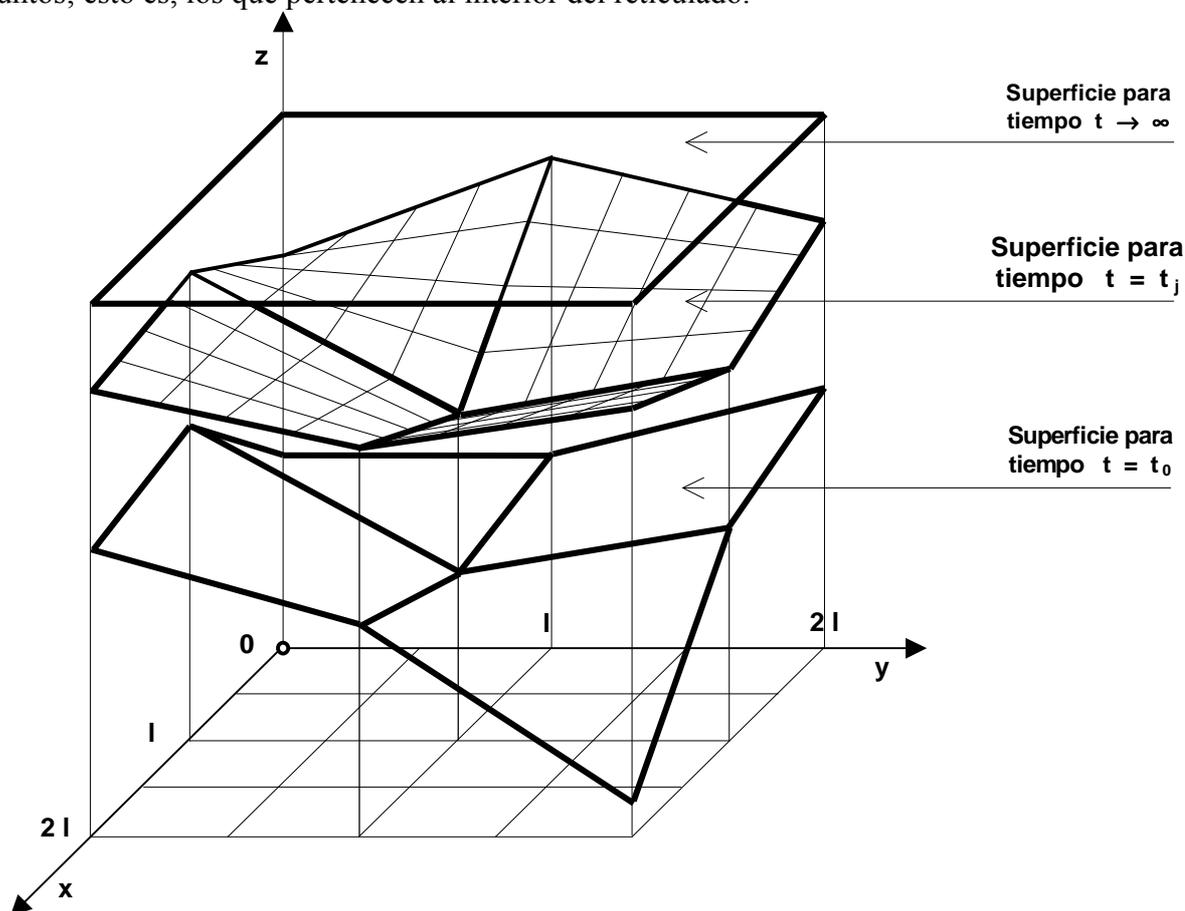


Fig. AMM I - 03 - PERSPECTIVA CABALLERA NORMAL DEL RETICULADO ESPACIAL GENERADO POR UN CONJUNTO DE NODOS VECINOS

La **Fig. AMM I - 05** presenta esquemáticamente, ejemplos de nodos con coeficientes de ponderación $w = \frac{1}{4}, \frac{1}{2}, \frac{3}{4}, 1$, los que surgen de generalizar el procedimiento numérico. Puede observarse que la cota de un punto interior del reticulado, por ejemplo el identificado con el número 5 en la **Fig. AMM I - 05**, participa de cuatro cálculos individuales de volumen.

Se cumple que:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{sedimento}} \Big|_{t=t_j} &= \left(\dots + \frac{z_1 + z_2 + z_4 + z_5}{4} l^2 + \frac{z_2 + z_3 + z_5 + z_6}{4} l^2 + \dots \right) \Big|_{t=t_j} - \\
 &\quad - \left(\dots + \frac{z_4 + z_5 + z_7 + z_8}{4} l^2 + \frac{z_5 + z_6 + z_8 + z_9}{4} l^2 + \dots \right) \Big|_{t=t_0} \\
 &= l^2 \left[\left(\dots + z_3 + z_4 + z_5 + z_6 + z_7 + \dots \right) \Big|_{t=t_j} - \left(\dots + z_3 + z_4 + z_5 + z_6 + z_7 + \dots \right) \Big|_{t=t_0} \right]
 \end{aligned}$$

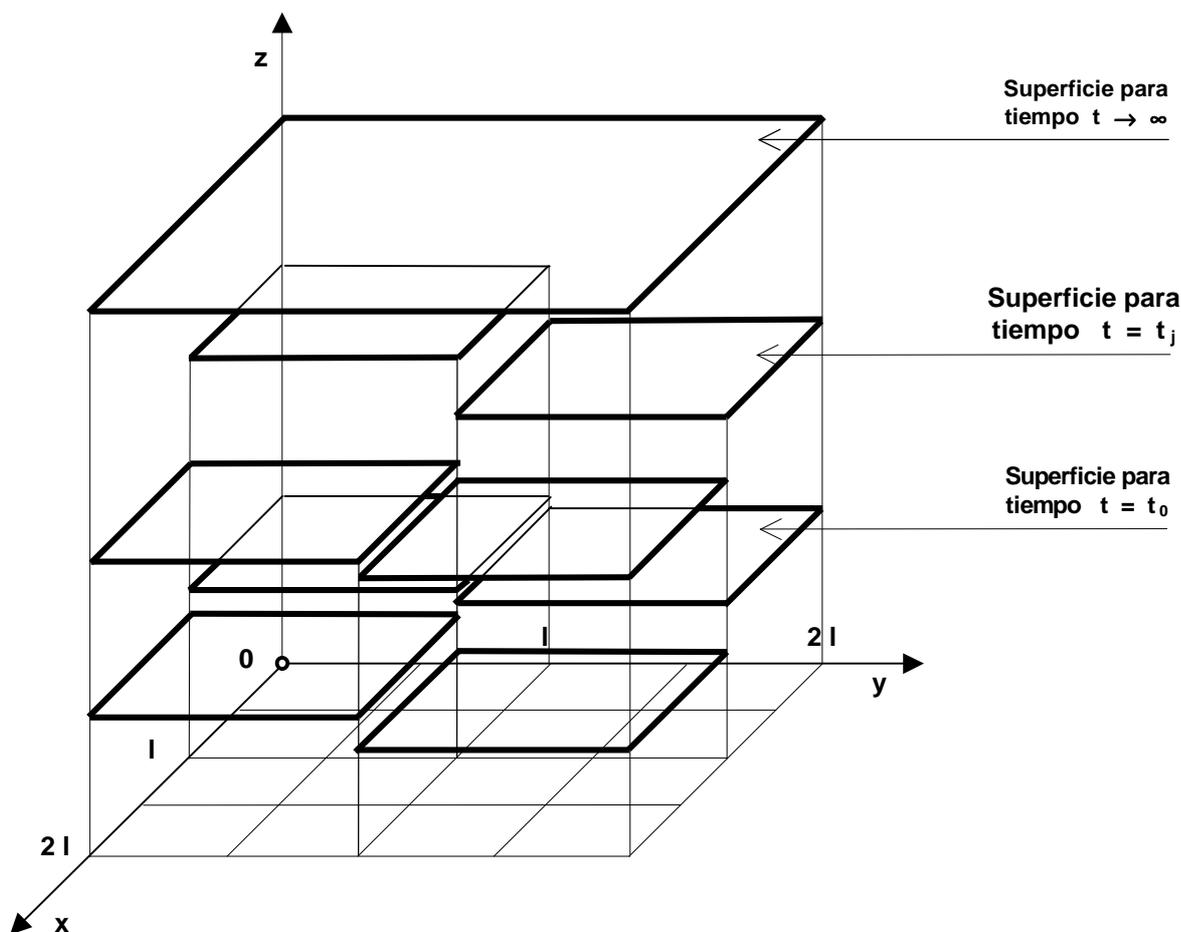


Fig. AMM I - 04 - PERSPECTIVA CABALLERA NORMAL DEL RESULTADO GEOMÉTRICO, DE APLICAR EL ALGORITMO DE INTEGRACIÓN

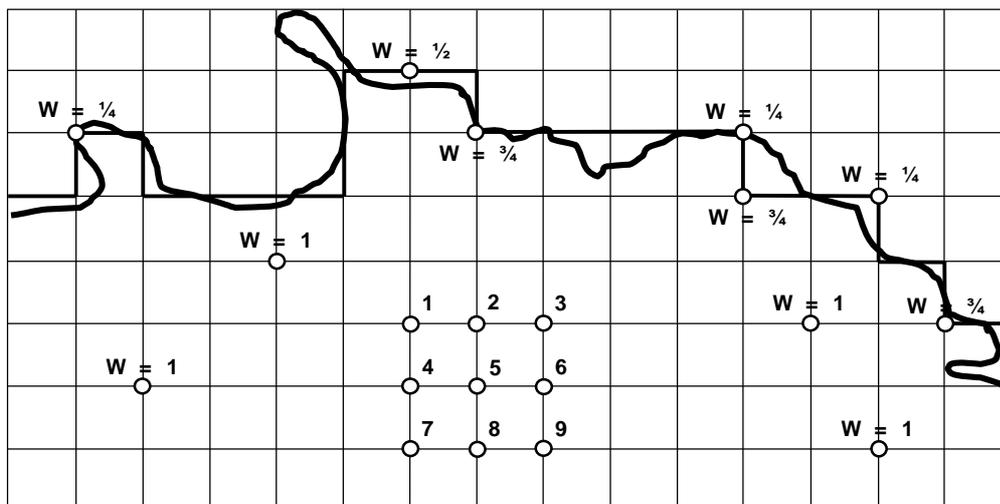


Fig. AMM I - 05 - EJEMPLOS DE NODOS CON COEFICIENTES DE PONDERACIÓN: $w = 1/4, 1/2, 3/4, 1$, PRÓXIMOS A LA COSTA NORTE DEL EMBALSE (COTA DE 274 m snm), REPRESENTADA EN ESCALA: 1: 50000

10. 3. 9. 4. - Resultados: como la equidistancia de un metro en el relevamiento planialtimétrico original, se corresponde con cuatro milímetros en el modelo hidráulico reducido, se construyó éste, empleando planchas de cartón prensado de 4 mm de espesor, cortadas siguiendo las curvas de nivel que se trazaron con pantógrafo; encoladas con cemento de contacto y terminadas con masilla plástica y pintura epoxídica blanca. El volumen del modelo, correspondiente a la situación de cierre del embalse, resultó de 47,5 litros. Se empleó un recipiente con 187 litros de capacidad y electrobombas para formular la suspensión.

Para lograr congruencia con los perfiles batimétricos (**Fig. AMM I - 02**), se ajustó por aproximaciones sucesivas, la composición granulométrica del material de suelo en la suspensión acuosa. Ésta se incorporó con un caudal medio de 1800 ml min^{-1} . Se construyeron once gálibos correspondientes a las secciones líquidas de los perfiles batimétricos (escala horizontal: 1 : 12000 y escala vertical: 1 : 250), operándose hasta lograr patrones de sedimentación coincidentes con éstos, al cabo de un tiempo de operación equivalente al lapso transcurrido entre el cierre del embalse y la fecha del perfilaje.

El tiempo total de ensayo, fue de 13 620 min o 227 horas, equivalente en virtud de la semejanza a 90 años de funcionamiento del sistema real. Se han tabulado para veinte ensayos, los siguientes parámetros experimentales: caudal medio de alimentación; volumen de agua circulante por el modelo; concentración media de sólidos sedimentables; volumen de sólidos sedimentados; volumen de sedimento acumulado; % de colmatación; capacidad porcentual de embalse; tiempo de residencia y volumen líquido. Se registraron asimismo, las velocidades de sedimentación de sólidos; los porcentajes de sedimentación y las densidades aparentes del limo de la suspensión acuosa preparada en el reactor. La **Tabla AMM I - 03** muestra un fragmento de la presentación original de las variaciones por colmatación, de las cotas obtenidas del modelo reducido hidráulico, en m snm, en función del tiempo. Se consignan los registros correspondientes al perfil batimétrico número 6, habiéndose procedido de modo similar con los diez perfiles restantes y evaluándose la sedimentación en setenta y cuatro puntos en total.

Tabla AMM I - 03 - EJEMPLO DE REGISTROS DE LAS VARIACIONES POR COLMATACIÓN DE LAS COTAS DE PUNTOS BATIMÉTRICOS, EN FUNCIÓN DEL TIEMPO, OBTENIDAS DEL MODELO REDUCIDO

Tiempo en horas:	Perfil batimétrico número 6 (ejemplo):							
	Punto 1:	Punto 2:	Punto 3:	Punto 4:	Punto 5:	Punto 6:	Punto 7:	Punto 8:
4,8	267,625	264,050	262,025	266,950	267,050	267,625	262,050	265,525
9,6	267,675	264,250	262,025	267,150	267,300	267,775	262,150	265,775
14,4	267,700	264,250	262,050	267,175	267,325	267,775	262,250	265,775
18,8	267,725	264,350	262,275	267,525	267,375	268,025	262,475	265,950
23,6	268,100	264,750	262,400	268,150	267,625	268,275	262,750	266,250
28,4	268,350	264,750	263,150	269,400	268,250	268,850	263,000	266,750
33,2	268,475	264,875	263,400	269,525	268,375	268,975	263,125	267,125
38,0	268,600	265,125	263,400	270,025	268,250	268,850	263,500	266,750
42,8	268,375	264,825	263,125	270,025	268,475	268,825	263,400	266,750
90,8	268,375	264,825	263,125	270,025	268,475	268,825	263,400	266,750

Se ajustaron a las variaciones de espesor del sedimento en los setenta y cuatro puntos de adquisición de datos, funciones de regresión logarítmica de la forma: $a + b \ln(tiempo)$. En la Fig. AMM I - 06, se muestran en azul las variaciones de espesor del sedimento en el punto número dos del perfil batimétrico seis (06:02) y en rojo la gráfica de la función de ajuste.

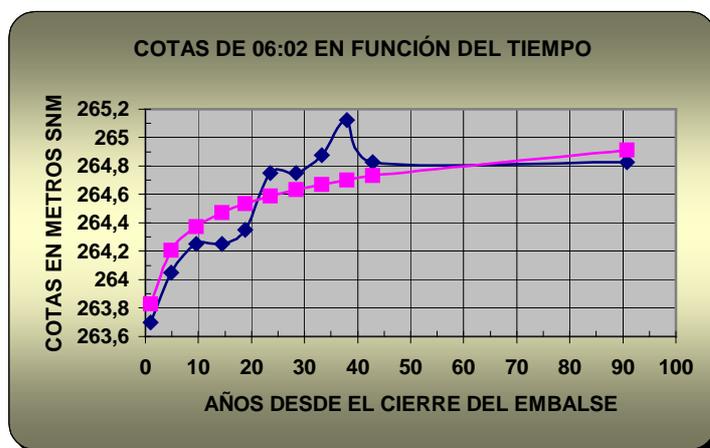


Fig. AMM I - 06 – EN LÍNEA AZUL SE INDICAN LAS VARIACIONES DE ESPESOR DEL SEDIMENTO EN EL PUNTO NÚMERO DOS DEL PERFIL BATIMÉTRICO SEIS (06:02) Y EN ROJO LA GRÁFICA DE LA FUNCIÓN DE AJUSTE

Se han obtenido por interpolación, dos conjuntos de isolíneas; el primero para el módulo del término independiente de la función de regresión y el segundo, para el coeficiente del término logarítmico (Fig. AMM I - 07 y Fig. AMM I - 08). La concentración media de sólidos sedimentables, en la suspensión acuosa entrante al modelo, de $1,6 \text{ ml l}^{-1}$, se reduce por efecto de la sedimentación, a valores entre $0,05$ y $0,10 \text{ ml l}^{-1}$, en el líquido que escurre sobre el vertedero. Se operó en funcionamiento continuo, por períodos de cuatro a doce horas, seguidos de veinticuatro horas de reposo para clarificación del líquido, a efectos de permitir los sondeos. Cada app. 30 min se agregaron app. 110 gramos de limo al reactor, manteniendo la agitación, con electrobombas. El control de caudales en los afluentes ($Q_{\text{Sali - Gastona}} = 1235 \text{ ml min}^{-1}$ y $Q_{\text{Medina - Marapa}} = 565 \text{ ml min}^{-1}$), con una relación: 2,19 : 1 y en el vertedero y la toma de muestras para determinar los sólidos sedimentables, se realizaron en más de cuatro oportunidades por hora.

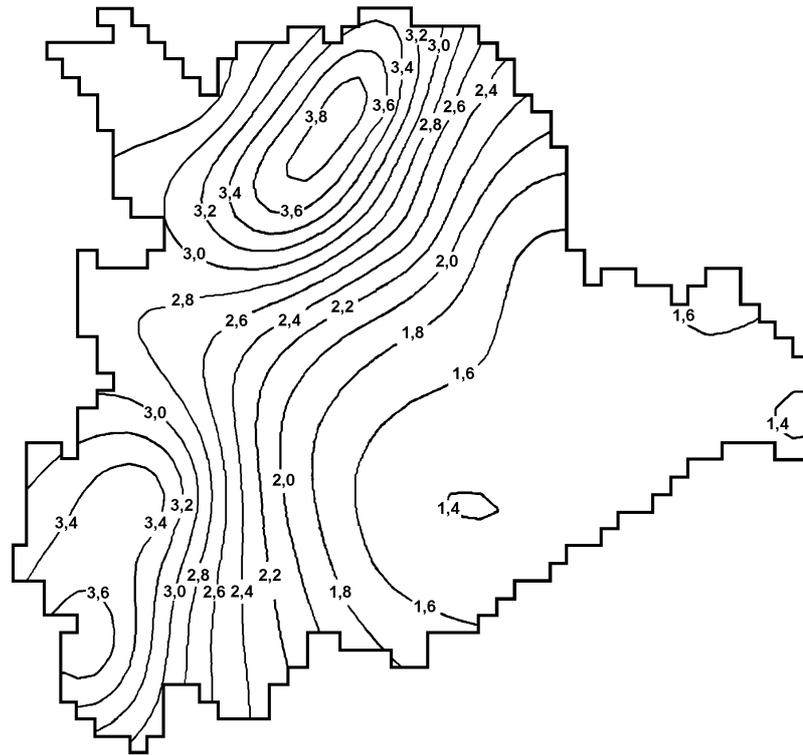


Fig. AMM I - 07 - ISOLÍNEAS DEL MÓDULO DEL TÉRMINO INDEPENDIENTE DE LA FUNCIÓN DE REGRESIÓN EMPLEADA PARA CALCULAR LA VARIACIÓN DE ESPESOR DE SEDIMENTOS

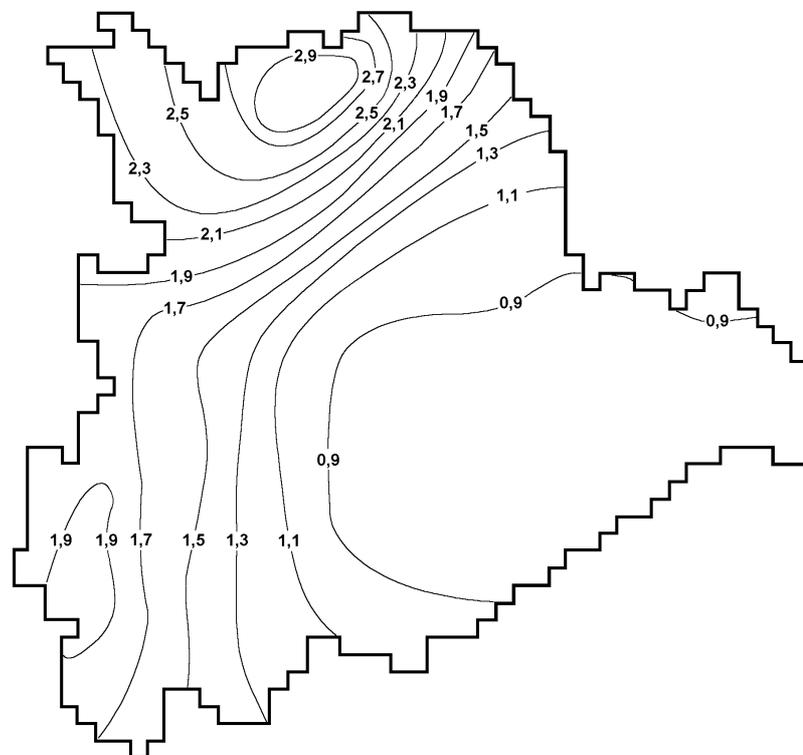


Fig. AMM I - 08 - ISOLÍNEAS DEL COEFICIENTE DEL TÉRMINO LOGARÍTMICO DE LA FUNCIÓN DE REGRESIÓN EMPLEADA PARA CALCULAR LA VARIACIÓN DE ESPESOR DE SEDIMENTOS

Para calcular los volúmenes de líquido y de sedimentos en el embalse, en función del tiempo, el sistema de cómputo emplea cuatro matrices principales:

- De cotas referidas a los vértices de los elementos cuadrados del reticulado adoptado para discretizar la proyección horizontal del modelo; corresponden a la situación topográfica al cierre del embalse (tiempo $t = 0$) y se cumple que $z_{j,k} \leq 274$ m snm.
- De términos independientes a de la función de regresión logarítmica, asignados a cada nodo del retículo y calculados a partir del mapa de isolíneas de la **Fig. AMM I - 07**.
- De coeficientes b del término logarítmico de la función de regresión, asignados a cada nodo del retículo y calculados a partir del mapa de isolíneas de la **Fig. AMM I - 08**.
- De cotas de cálculo $z_{\odot j,k}$, las que se obtienen haciendo:

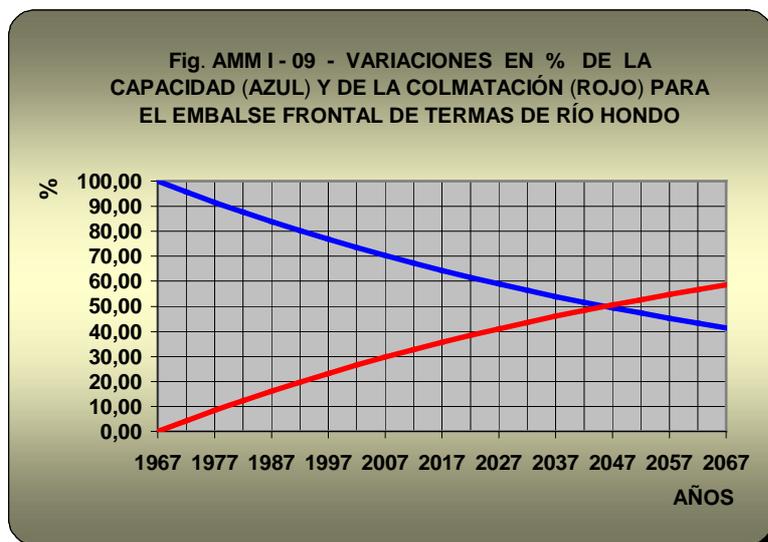
$$z_{\odot j,k} = z_{j,k} + a_{j,k} + b_{j,k} \ln(t) \leftrightarrow z_{\odot j,k} \leq 274 \text{ m snm} ,$$

si: $z_{\odot j,k} > 274 \text{ m snm} \rightarrow z_{\odot j,k} = 274 \text{ m snm} .$

La **Tabla AMM I - 04** muestra además del resultado de ajustar una función exponencial negativa a la variación experimental del volumen de la cubeta, la reducción de la capacidad del embalse y el aumento del volumen de sedimentos. Similar información, proporciona la **Fig. AMM I - 09**.

Tabla AMM I - 04 - VARIACIÓN DEL VOLUMEN DE LA CUBETA; DE LA CAPACIDAD ÚTIL DEL EMBALSE Y DEL VOLUMEN DE SEDIMENTOS, EN FUNCIÓN DEL TIEMPO

AÑOS	TIEMPO [AÑOS]	VOLUMEN CUBETA [hm ³]	CAPACIDAD ÚTIL [%]	VOLUMEN DE SEDIMENTOS [%]
1967	0	1658,00	100,00	0,00
1972	5	1586,63	95,70	4,30
1977	10	1518,33	91,58	8,42
1982	15	1452,97	87,63	12,37
1987	20	1390,43	83,86	16,14
1992	25	1330,58	80,25	19,75
1997	30	1273,30	76,80	23,20
2002	35	1218,49	73,49	26,51
2007	40	1166,04	70,33	29,67
2012	45	1115,85	67,30	32,70
2017	50	1067,81	64,40	35,60
2022	55	1021,85	61,63	38,37
2027	60	977,86	58,98	41,02
2032	65	935,77	56,44	43,56
2037	70	895,49	54,01	45,99
2042	75	856,94	51,69	48,31
2047	80	820,05	49,46	50,54
2052	85	784,75	47,33	52,67
2057	90	750,97	45,29	54,71
2062	95	718,64	43,34	56,66
2067	100	687,71	41,48	58,52



10. 3. 9. 5. - Discusión de Resultados: en el capítulo sobre **MATERIALES Y MÉTODOS**, se establecen caudales de $0,11 \text{ l min}^{-1}$ como valor medio; $0,165 \text{ l min}^{-1}$ y $0,066 \text{ l min}^{-1}$ para los períodos seco y húmedo, respectivamente. Tal como se expresa en las **NOTAS SOBRE ANÁLISIS DIMENSIONAL**, estos valores se obtienen a partir de las siguientes relaciones: λ , como cociente entre longitudes horizontales del sistema real y del modelo ($\lambda = 12\ 000$) y λ' , como razón entre medidas verticales ($\lambda' = 250$). La semejanza dimensional para caudales medios, se logra haciendo:

$$Q_{\text{modelo}} / Q = 1 / (\lambda) (\lambda' ^{3/2}) = 2,1082 \cdot 10^{-8}; \text{ por consiguiente, un caudal de } 87 \text{ metros cúbicos por segundo, se emula con: } Q_{\text{modelo}} = (87) (2,1082 \cdot 10^{-8}) = 0,000\ 0018 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} = 1,8 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \cong 0,11 \text{ l min}^{-1}.$$

Operando con un módulo medio de $142 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$, tal como ocurrió en los diecinueve años siguientes al cierre de la presa, se tiene que: $Q_{\text{modelo}} = (142) (2,1082 \cdot 10^{-8}) \cong 0,18 \text{ l min}^{-1}$. Sin embargo, para evitar sedimentaciones en las tuberías de distribución de la suspensión acuosa, el valor adoptado fue de: $Q_{\text{modelo}} = 1,8 \text{ l min}^{-1}$, lo que implica haber multiplicado por diez el caudal equivalente, modificando los tiempos de residencia. Al cabo de app. 44 horas, se tuvieron patrones de sedimentación semejantes a los del sistema real en oportunidad de la batimetría de 1985, de modo que admitiendo un comportamiento lineal, app. 2,52 horas de corrida equivalen a un año en la realidad. La semejanza hidráulica en relación con los rangos de diámetros y la participación porcentual de las fracciones granulométricas empleadas en la formulación de la suspensión acuosa de suelo sintético, requieren un control dinámico. También la operación del modelo, de modo de contemplar las fluctuaciones estacionales de nivel. Las simplificaciones, introducen un error experimental, que requiere ser evaluado.

En las zonas de deltas, por efecto de una mayor sedimentación de material grueso, aumenta el coeficiente del término logarítmico y por ende, la rapidez de cambio de la función de regresión. La capacidad de embalse, disminuye estimativamente en función del tiempo t , en años, conforme a: $Q_t = 1658 e^{-0,0088 t} [\text{hm}^3]$.

10. 3. 9. 6. - Conclusiones: se ha satisfecho el objetivo de diseñar y construir un modelo reducido hidráulico del Embalse de Termas de Río Hondo, con ajuste a las leyes de semejanza hidráulica, para analizar el proceso de colmatación; asimismo el de operar el modelo, en el que prevalecen la gravedad y la viscosidad, introduciendo una suspensión acuosa de suelo sintético, procurando lograr isomorfismos conducentes a la adquisición de datos experimentales. Con estos datos se ha generado un modelo numérico del proceso de colmatación provocado experimentalmente. Esta propuesta metodológica de bajo costo, es aplicable a situaciones de envejecimiento de embalses por colmatación, con independencia de la causa generadora de sólidos en suspensión en los afluentes; sea ésta, la erosión geológica y/o la de origen antrópico.

10. 3. 9. 7. - Resumen: se describe parte de un programa sobre caracterización y modelización del proceso de envejecimiento de lagos y embalses debido a la sedimentación y eutrofización. Para ello, se ha diseñado y construido un modelo hidráulico reducido del Embalse de Termas de Río Hondo, Provincia de Santiago del Estero, República Argentina, respetando las leyes de semejanza hidráulica. Esta solución es particularmente útil, cuando prevalecen fenómenos ligados a la gravedad y a la viscosidad. Ambas escalas horizontales son $1 : 12\ 000$ y la escala vertical es $1 : 250$; consiguientemente, se tiene una distorsión de $1 : 48$. El modelo hidráulico fue operado introduciendo una suspensión de suelo sintético, procurando satisfacer condiciones de isomorfia durante la captura de datos. Ésta incluye además de las propiedades físicas del material afluente (concentración; composición granulométrica del material de suelo; caudales; etc.), el espesor del sedimento como una función del tiempo. La medición del espesor de sedimentos, fue hecha en puntos seleccionados correspondientes a los perfiles batimétricos obtenidos sobre el sistema real.

Se ha desarrollado un modelo matemático discreto del proceso de sedimentación experimentalmente provocado, asimilando los volúmenes de control a paralelepípedos rectos de base cuadrada, superiormente limitados por una superficie reglada. El retículo espacial, para tiempo igual a cero, corresponde a la digitalización del relevamiento topográfico original. El algoritmo que determina los volúmenes de agua y sedimentos, emplea una suma finita de alturas afectadas por factores de ponderación, cuyos valores dependen de la posición relativa del nodo, multiplicada por la superficie del módulo de área. Las variaciones de altura para cada punto de la grilla, han sido obtenidas mediante funciones de regresión logarítmica, las que proporcionan un ajuste satisfactorio dentro del intervalo de predicción (aproximadamente sesenta y seis años). Se han tabulado y graficado los resultados numéricos.

10. 3. 9. 8. - Notas sobre Análisis Dimensional: una vez determinadas las variables Q_1, Q_2, \dots, Q_n que intervienen en el problema, se busca relacionarlas mediante una ecuación: $F(Q_1, Q_2, \dots, Q_n) = 0$; seleccionadas las variables relevantes, se aplica el Teorema de Buckingham que relaciona las "ene" distintas magnitudes o entidades físicas Q definidas por k unidades dimensionales fundamentales mediante: $f(\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_{n-k}) = 0$, siendo: $\Pi = Q_1^a Q_2^b Q_3^c \dots Q_n^m$, los "ene" parámetros pueden agruparse libremente en los $n - k$ términos. En cada producto adimensional figuran $k + 1$ parámetros; de ellos se escogen k que se repiten en todos. Sólo varía el último. Como el número de unidades fundamentales independientes es tres (longitud; tiempo y masa), k se hace igual a tres. Además de los términos que dependen únicamente de las condiciones de contorno, hay uno dependiente de la presión y otros cuatro que caracterizan el sistema por la influencia predominante: gravedad; viscosidad; tensión superficial o elasticidad. Estos cinco términos adimensionales, son los números de Euler; Froude; Reynolds; Weber y Cauchy. Para que exista semejanza geométrica y dinámica entre la naturaleza y el modelo, es preciso que las distancias entre los elementos de un sistema, sean proporcionales a las correspondientes al otro y que la trayectoria de cada elemento sea geoméricamente semejante y proporcional a la trayectoria del correspondiente en el otro sistema, en la misma relación que las dimensiones lineales. Como en general no es posible la semejanza completa, al considerar todas las variables físicas, se toman las que predominan, consiguientemente, se elige uno de los siguientes números: Froude, $F = v^2 / g L$; Reynolds, $R = v L / \nu$; Weber, $W = v^2 L / (\tau / \rho)$; Cauchy, $C = v^2 / (\epsilon / \rho)$.

Para la semejanza geométrica, es: Longitud: $(L / L_m) = \lambda$; Superficie: $(A / A_m) = \lambda^2$; Volumen: $(V / V_m) = \lambda^3$.

Para la semejanza mecánica, resulta: Peso: $W = V \gamma$, $W_m = V_m \gamma_m \Rightarrow$

$$\frac{W}{W_m} = \frac{V}{V_m} \frac{\gamma}{\gamma_m} = \lambda^3 \frac{\gamma}{\gamma_m}, \text{ si } \gamma = \gamma_m \Rightarrow \frac{W}{W_m} = \lambda^3. \text{ Con la semejanza cinemática, se tiene:}$$

$$\text{Tiempo: } \frac{t}{t_m} = \tau, \quad t = \sqrt{\frac{2h}{g}}, \quad t_m = \sqrt{\frac{2h_m}{g_m}}, \text{ si } g = g_m \Rightarrow \frac{t}{t_m} = \sqrt{\frac{h}{h_m}} = \sqrt{\lambda},$$

$$\text{Velocidad: } \frac{v}{v_m} = \frac{L T^{-1}}{L_m T_m^{-1}} = \frac{\lambda}{\tau}, \text{ si } g = g_m \Rightarrow \frac{v}{v_m} = \frac{\lambda}{\sqrt{\lambda}} = \sqrt{\lambda},$$

$$\text{Aceleración: } \frac{a}{a_m} = \frac{L T^{-2}}{L_m T_m^{-2}} = \lambda \tau^{-2}, \text{ si } g = g_m \Rightarrow \tau = \sqrt{\lambda} \Rightarrow \frac{a}{a_m} = 1 \therefore a = a_m.$$

Para la semejanza dinámica, resulta:

$$\text{Fuerza: } F = m a, \quad F_m = m_m a_m, \text{ si la relación de masas, es: } \eta = \frac{m}{m_m} \Rightarrow$$

$$\frac{F}{F_m} = \frac{m}{m_m} \frac{a}{a_m} = \eta \frac{\lambda}{\tau^2}, \text{ si } g = g_m \Rightarrow \frac{\lambda}{\tau^2} = 1 \therefore \frac{F}{F_m} = \eta; \text{ como:}$$

$$m = \rho V, \quad m_m = \rho_m V_m \Rightarrow \frac{m}{m_m} = \frac{\rho}{\rho_m} \frac{V}{V_m} = \frac{\rho}{\rho_m} \lambda^3 = \eta \therefore$$

$$\frac{F}{F_m} = \eta \frac{\lambda}{\tau^2} = \frac{\rho}{\rho_m} \frac{\lambda^4}{\tau^2}, \text{ si } \rho = \rho_m, \quad g = g_m \Rightarrow \frac{F}{F_m} = \lambda^3.$$

$$\text{Masa: } m = \frac{W}{g}, \quad m_m = \frac{W_m}{g_m} \Rightarrow \frac{m}{m_m} = \frac{W}{W_m} \frac{g}{g_m}, \text{ si } g = g_m \Rightarrow \frac{m}{m_m} = \lambda^3,$$

$$\text{Caudal: } Q = A V, \quad Q_m = A_m V_m, \quad \frac{Q}{Q_m} = \frac{A}{A_m} \frac{V}{V_m} = \lambda^2 \lambda^{1/2} = \lambda^{5/2},$$

$$\text{Trabajo: } W = F L, \quad W_m = F_m L_m \Rightarrow \frac{W}{W_m} = \frac{F}{F_m} \frac{L}{L_m} = \lambda^3 \lambda = \lambda^4, \quad \text{Energía: } \frac{E}{E_m} = \lambda^4,$$

$$\text{Potencia: } \frac{P}{P_m} = \lambda^{3,5}.$$

Sistemas en que domina la gravedad: para lograr semejanza hidrodinámica entre la realidad y el modelo, es preciso que en ambos sea constante el número de Froude:

$$\frac{v^2}{g L} = \frac{v_m^2}{g_m L_m}, \text{ si } g = g_m \Rightarrow \frac{v^2}{v_m^2} = \frac{L}{L_m} = \lambda \Rightarrow \frac{v}{v_m} = \sqrt{\lambda}.$$

En los sistemas en que predomina la viscosidad, para que exista semejanza, deben ser iguales los respectivos números de Reynold:

$$F = \mu S \frac{dv}{dx}, F_m = \mu_m S_m \frac{dv_m}{dx_m}, \text{ siendo } S \text{ la superficie de contacto.}$$

$$\frac{F}{F_m} = \frac{\mu}{\mu_m} \frac{dv}{dv_m} \frac{dx_m}{dx} \frac{S}{S_m} = \frac{\mu}{\mu_m} \frac{\lambda}{\tau} \frac{1}{\lambda} \lambda^2 = \frac{\mu}{\mu_m} \frac{\lambda^2}{\tau}, \text{ como } \frac{F}{F_m} = \frac{\rho}{\rho_m} \frac{\lambda^4}{\tau^2} = \frac{\lambda^2}{\tau} \frac{\mu}{\mu_m}$$

$$\Rightarrow \tau = \lambda^2 \frac{\rho_m}{\rho} = \lambda^2 \frac{v_m}{v}, \text{ en consecuencia: } v = \frac{\lambda^2}{\tau} v_m$$

Cuando dominan la gravedad y la viscosidad, para que exista semejanza, debe cumplirse que: $\lambda = \left(\frac{v}{v_m} \right)^{2/3}$.

Modelos con dos escalas de longitudes: para lograr el mismo régimen que en la naturaleza, es necesario incrementar la escala vertical. Bajo estas condiciones, se alteran las relaciones entre caudales; pendientes; etc. Para obtener las escalas, se hace:

Longitudes: $\frac{L}{L_m} = \frac{B}{B_m} = \lambda, \quad \frac{H}{H_m} = \lambda',$ siendo L, B : medidas horizontales,
 H : medida vertical.

Superficies: $S = L B, \quad S_m = L_m B_m \Rightarrow \frac{S}{S_m} = \lambda^2$
 $S' = L H, \quad S'_m = L_m H_m \Rightarrow \frac{S'}{S'_m} = \lambda \lambda'$

Pendientes: $\frac{i}{i_m} = \frac{\lambda}{\lambda'}$

Velocidades: $\frac{v}{v_m} = \frac{\lambda}{\sqrt{\lambda'}}$

Caudales: $\frac{Q_m}{Q} = \frac{1}{\lambda \lambda' \sqrt{\lambda'}} = \frac{1}{\lambda \lambda'^{3/2}}$

Tiempos: $\frac{T_m}{T} = \frac{\sqrt{\lambda'}}{\lambda}$

De acuerdo a Manning, se tienen efectos debidos a la rugosidad en un modelo distorsionado:

$$i = \frac{n^2 v^2}{R^{4/3}}, \quad i_m = \frac{n_m^2 v_m^2}{R_m^{4/3}}, \text{ como: } \frac{i}{i_m} = \frac{\lambda'}{\lambda} \Rightarrow \frac{\lambda'}{\lambda} = \frac{n^2 v^2 R_m^{4/3}}{n_m^2 v_m^2 R^{4/3}} \Rightarrow$$

$$n_m = n \frac{v}{v_m} \frac{\sqrt{\lambda}}{\sqrt{\lambda'}} \frac{R_m^{2/3}}{R^{2/3}}; \text{ en régimen turbulento } \frac{v}{v_m} = \sqrt{\lambda} \Rightarrow n_m = n \sqrt{\lambda} \left(\frac{R_m}{R} \right)^{2/3}.$$

Arrastre de sedimentos: $\frac{d}{h} = \frac{3}{2} \frac{c}{(s'-1)\mu},$ siendo: $\mu = \frac{c a h}{(s'-1)V} = 0,20, \quad S' = \frac{S}{\gamma}, \quad V = \text{volumen del cuerpo},$

h = carga estática más altura debida a la velocidad, a = área transversal del cuerpo, c = coeficiente = 0,75, γ = peso específico del agua, S = peso específico del cuerpo.

10. 3. 10. - MODELIZACIÓN ANALÓGICO-DIGITAL DE LA DIFUSIÓN DE CONTAMINANTES Y NUTRIENTES, EN CONDICIONES DE RÉGIMEN ESTACIONARIO, EN EL EMBALSE FRONTAL DE TERMAS DE RÍO HONDO, REPÚBLICA ARGENTINA

10. 3. 10. 1. - Introducción y Antecedentes: la elaboración y empleo de modelos analógicos, se basa en la circunstancia de ser descriptos dos sistemas físicos distintos, por las mismas ecuaciones diferenciales generales, en las que difiere el significado físico de las variables (Liebmann, G., 1953). Consiguientemente, la solución de las ecuaciones diferenciales en un contexto, puede ser trasladada de otro, haciendo mediciones experimentales. Los problemas de campo se relacionan con parámetros distribuidos (*distributed-parameter*), donde las entidades físicas consideradas, dependen de las coordenadas espaciales del sistema. Una o más variables independientes de posición, participan del problema, mientras que el tiempo es la única variable independiente en un modelo de parámetros concentrados o globales (*lumped-parameter*); se reconocen entonces, en el ámbito de la Mecánica Clásica, dos tipos diferentes de variables independientes, las espaciales y la temporal. En relación con las variables dependientes, se distinguen las llamadas *across* y las llamadas *through*; las primeras, relacionan la situación en un punto del campo con la correspondiente a otro punto en el mismo campo y como diferencia entre magnitudes, se expresan habitualmente en unidades relativas. En un sistema eléctrico, la variable *across*, es la tensión que puede medirse como diferencia entre el potencial eléctrico de dos puntos o bien como diferencia de potencial entre un punto del sistema y algún otro de referencia como tierra o potencial de tierra. En razón de ser medida como diferencia entre el potencial escalar de dos puntos, es una cantidad escalar. La variable *through*, representa el flujo de alguna cantidad que atraviesa una sección transversal elemental del campo. En un sistema eléctrico, *through* es el flujo de corriente; ésto es, la tasa de flujo de electrones por unidad de área. Esta cantidad es especificada mediante la medición hecha en un punto del campo, en términos de magnitud; dirección y sentido de flujo. Es consecuentemente una cantidad vectorial (Perera, J. G. *et al.*, 2001).

La relación entre las variables *across* y *through* se expresa en función de los parámetros del sistema. Estos parámetros, para sistemas de campo o parámetros distribuidos y para sistemas de parámetros concentrados o globales, pueden dividirse en tres tipos diferentes conforme al rol que juegan en los mecanismos de transferencia, asociados a las características del sistema. Los modelos analógicos continuos que describen sistemas tridimensionales, deben ser tridimensionales. La capacitancia del análogo eléctrico de un sistema real, es en general baja, por ello, los procesos transitorios ocurren en tiempos cortos, de difícil medición experimental. Ésto se debe sobre todo, a que se pretende que el mismo material satisfaga requerimientos resistivos y capacitivos. En el caso de sistemas descriptos por la ecuación de onda amortiguada, los tres parámetros, disipatividad D ; capacidad como reservorio de flujo por unidad de longitud del campo E_f y capacidad como reservorio de potencial por unidad de longitud del campo E_p , son importantes.

En un modelo de parámetros concentrados o globales (*lumped-parameter*), el sistema físico se considera compuesto por una red de diferentes elementos interconectados y se formula expresando las ecuaciones diferenciales parciales que lo describen, como diferencias finitas. Se consideran en general cinco tipos de modelos de parámetros concentrados o globales; éstos son, los sistemas traslacionales; los rotacionales; los eléctricos; los fluidicos y los térmicos (Avrami, M. and V. Paschkis, 1942).

Para cada uno de ellos, se dispone de tres elementos básicos, tal como se ha expresado, correspondientes a la disipatividad; a la capacidad para actuar como reservorios de potencial y a la capacidad para actuar como reservorios de flujo por unidad de longitud del campo. Los tres elementos mencionados, en un circuito eléctrico son los resistores; los capacitores y los inductores.

El objetivo principal del trabajo, consiste en desarrollar una metodología de modelización analógico-digital de los procesos difusivos en condiciones de régimen estacionario, de contaminantes y nutrientes de origen superficial y puntual, aportados por los tributarios al Embalse Frontal de Termas de Río Hondo. Este reservorio, originalmente de 1720 Hm³, con un espejo de aproximadamente 34200 Ha, es el mayor embalse artificial de la Cuenca Salí-Dulce (Argentina). Se extiende desde el sureste de la Provincia de Tucumán, hacia la de Santiago del Estero, donde están emplazados el muro de cierre y la central hidroeléctrica. La problemática ambiental de la Cuenca Superior del Río Salí-Dulce, ha sido objeto de numerosos estudios por parte del Centro de Ingeniería Ambiental (CEDIA) de la Facultad Regional Tucumán, Universidad Tecnológica Nacional, Argentina (Perera, J. G. *et al.*, 1994).

10. 3. 10. 2. - Materiales y Métodos: en diversas ramas de la Ciencia y de la Tecnología se presenta el problema de resolver la ecuación de Laplace para determinadas condiciones de contorno; casos típicos son los del cálculo de campos eléctricos y magnéticos; de campos de velocidades en el movimiento de fluidos, tanto en el espacio libre como en medios porosos (Prasuhn, A. L., 1987); de distribuciones de temperaturas en transmisión del calor; de concentraciones en problemas de difusión y mezclado (Hoffmann, C. *et al.*, 1991; Hoffmann, C. *et al.*, 1993); etc. A partir de sistemas de conducción eléctrica óhmica, donde la descripción del proceso está ligada a la ecuación de Laplace y pueden realizarse mediciones experimentales, se establecen analogías físico-matemáticas con sistemas reales.

En sistemas continuos, unidimensionales, con conductividad $\sigma(x)$ y aplicación de un potencial eléctrico $V(x)$, se tiene por unidad de área normal a la dirección x , una circulación de corriente de intensidad J , dada por: $J = -\sigma(x) \frac{dV(x)}{dx}$. Si se introduce un factor de proporcionalidad α en las ecuaciones de Laplace, se tiene: $\phi(x, y, z) = \alpha V(x, y, z)$. La medición del potencial $V(x, y, z)$ en el sistema óhmico, proporciona una solución para un sistema con igual geometría, si los potenciales en el contorno se eligen de forma que: $\phi(\text{en el punto de contorno}) = \alpha V(\text{en el punto de contorno})$.

Si se consideran dos planos; uno en x y otro en $x + dx$, la acumulación de carga entre ambos, estará dada por la diferencia entre la corriente que entra y la que sale, es decir:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} dx = J(x) - J(x + dx) + f(x) dx = -\frac{\partial J}{\partial x} dx + f(x) dx, \text{ donde } \rho(x, t)$$

es la densidad de carga y $f(x)$ es la densidad de fuentes de carga. Utilizando la expresión que

proporciona J y eliminando el factor dx se obtiene: $\frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\sigma(x) \frac{dV(x)}{dx} \right) + f(x)$. Para el

caso tridimensional se tienen tres términos similares al del segundo miembro; es decir:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\sigma \frac{\partial V}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\sigma \frac{\partial V}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\sigma \frac{\partial V}{\partial z} \right) + f(x).$$

Utilizando las definiciones de gradiente y divergencia (Davis, H. F. and A. D. Zinder, 1979), puede escribirse: $\frac{\partial \rho}{\partial t} = \text{div} (\sigma \mathbf{Grad} V) + f(x)$. Si la conductividad σ no depende de la posición, se tiene: $\frac{\partial \rho}{\partial t} = \sigma \nabla^2 V + f(x)$, donde ∇^2 es el operador llamado laplaciano: $\nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$. Si la densidad de carga ρ no depende del tiempo (estado estacionario), en ausencia de fuentes ($f(x) = 0$), es: $\nabla^2 V(x, y, z) = 0$.

Se aplican modelos electroanalógicos para simular la distribución espacial de contaminantes y de nutrientes, en las aguas de lagos y embalses. Este tipo de modelos es utilizable tanto en el caso límite en que el mezclado de las aguas es dominante sobre la deriva, como en el que podría denominarse de flujo laminar. En el presente caso, se considera que la distribución de componentes está determinada por los procesos de mezclado. Indicando con $C(\mathbf{r})$ la concentración de un componente, función de la posición dada por el vector \mathbf{r} , el flujo \mathbf{J}_m del componente se expresa por: $\mathbf{J}_m = \mathbf{v} C - D \mathbf{Grad} C$, donde \mathbf{v} es la velocidad de deriva de la masa líquida. Si $C(\mathbf{r})$ está determinada principalmente por los procesos de mezclado, el primer término del segundo miembro de la ecuación anterior, es despreciable, por lo que puede escribirse: $\mathbf{J}_m = -D \mathbf{Grad} C$. El coeficiente D es el coeficiente de mezclado del sistema. En ausencia de fuentes y sumideros del componente en cuestión, por descomposición o por reacciones químicas; etc., la conservación de éste, implica que en régimen estacionario se tiene: $\text{div} \mathbf{J}_m = 0$. Suponiendo que D es independiente de la posición \mathbf{r} , resulta: $\nabla^2 C(\mathbf{r}) = 0$. Análogamente, en un sistema isótropo con conductividad eléctrica σ ; potencial eléctrico $V(\mathbf{r})$, el flujo de corriente \mathbf{J}_e , está dado por: $\mathbf{J}_e = -\sigma \mathbf{Grad} V$. Para el estado estacionario la conservación de cargas implica que: $\text{div} \mathbf{J}_e = 0$.

Utilizando $\mathbf{J}_e = -\sigma \mathbf{Grad} V$, en sistemas homogéneos (σ independiente de la posición), se tiene: $\nabla^2 V(\mathbf{r}) = 0$. La equivalencia matemática de esta ecuación con $\nabla^2 C(\mathbf{r}) = 0$, puede emplearse para obtener soluciones, realizando mediciones del potencial eléctrico $V(\mathbf{r})$ en un sistema de similar geometría. Esta analogía es de mérito práctico cuando los sistemas son bidimensionales; caso en que puede utilizarse una cuba electrolítica o una hoja de papel semiconductor, tal como el empleado en el modelo. Como la profundidad media del sistema real, es: $\bar{z} = \frac{1720 \text{ Hm}^3}{34200 \text{ Hm}^2} \cong 0,05 \text{ Hm} \equiv 5 \text{ m}$ y el diámetro equivalente, aproximadamente de 20867 m, se tiene una relación diámetro equivalente / profundidad media, superior a 4000 : 1. Esta circunstancia, respalda la simplificación conducente a un modelo bidimensional. De la comparación entre las ecuaciones $\nabla^2 C(\mathbf{r}) = 0$ y $\nabla^2 V(\mathbf{r}) = 0$, se infiere que el potencial eléctrico $V(\mathbf{r})$ puede ponerse en correspondencia con la concentración $C(\mathbf{r})$ del componente de interés, que es en el caso de las corridas de simulación del presente trabajo, el ortofosfato soluble. Se elige este nutriente, en razón de su significación en el diagnóstico del estado trófico del embalse (Erickson, P. A., 1994; Glasson, J.; R. Therivel and A. Chadwick, 1994). Debe observarse que la mencionada correspondencia deja de ser válida en las proximidades de los puntos de ingreso de los tributarios en el lago o embalse, por la influencia de los caudales variables que aportan. El análisis de las condiciones de contorno en los puntos de ingreso de los tributarios, permite establecer los valores de caudales máxicos, correspondientes a los diversos potenciales eléctricos a aplicar en los electrodos que los emulan, en función de los correspondientes valores de caudal y concentración.

Considerando los tributarios 1, 2, ..., n ; siendo q_i y c_i los respectivos caudales y concentraciones, con $i = 1, 2, \dots, n$ y suponiendo que del lago o embalse sale una única corriente líquida, con caudal q_m y concentración c_m dados por: $q_m = q_1 + q_2 + \dots + q_n - q_e$, donde q_e representa la pérdidas por evaporación, se tiene que: $c_m q_m = c_1 q_1 + c_2 q_2 + \dots + c_n q_n$. Un tributario con caudal q_i y concentración c_i , actuará como fuente o sumidero del componente, según sea c_i mayor o menor que c_m , haciéndolo con una intensidad dada por: $q_i (c_i - c_m)$. Tomando una línea L_i , alrededor de la desembocadura del tributario i , e indicando con dL la longitud del elemento de línea y con $(\text{Grad } C)_o$, el gradiente de la concentración en la dirección ortogonal a L , el flujo del componente a través de la línea L por efecto del mezclado, debe igualar a la intensidad de fuente (o sumidero) dada por $q_i (c_i - c_m)$. Se tiene entonces:

$q_i (c_i - c_m) = D I_i$, $i = 1, 2, \dots, n$, donde se ha empleado la notación: $I_i = \int_L (\text{Grad } C)_o dL$. Con la ecuación $c_m q_m = c_1 q_1 + c_2 q_2 + \dots + c_n q_n$ y las n ecuaciones: $q_i (c_i - c_m) = D I_i$, se forma el siguiente sistema de $n + 1$ ecuaciones en $c_1, c_2, \dots, c_n, c_m$:

$$\left\{ \begin{array}{l} q_1 c_1 + q_2 c_2 + \dots + q_n c_n - q_m c_m = 0 \\ q_1 c_1 - q_1 c_m = D I_1 \\ q_2 c_2 - q_2 c_m = D I_2 \\ \dots \\ q_n c_n - q_n c_m = D I_n \end{array} \right.$$

La columna de términos independientes es proporcional al coeficiente de mezclado D , por lo que todas las concentraciones, obtenidas del sistema de ecuaciones precedente, lo contendrán como factor. El valor absoluto de las concentraciones se obtiene dando el valor absoluto de una cualquiera de ellas, como por ejemplo c_m . También pueden calcularse los caudales suponiendo que se conocen las concentraciones c_i , ($i = 1, 2, \dots, n$) y c_m . En efecto, de $q_i (c_i - c_m) = D I_i$, $i = 1, 2, \dots, n$, se obtiene: $q_i = \frac{D I_i}{c_i - c_m}$, $i = 1, 2, \dots, n$. En síntesis, a los

efectos de la modelización, sólo interesan los valores relativos de los caudales (Chow, V. T.; D. R. Maidment and L. W. Mays, 1994; Wanielista, M. P., 1990). La **Tabla AMM II - 01**, presenta valores medios de los caudales hídricos; de las concentraciones y de los caudales máxicos de fósforo soluble aportado por los tributarios del Embalse Frontal de Termas de Río Hondo.

Tabla AMM II - 01 - CAUDALES HÍDRICOS; CONCENTRACIONES Y CAUDALES MÁXICOS DE FÓSFORO SOLUBLE, APORTADO POR LOS TRIBUTARIOS DEL EMBALSE FRONTAL DE TERMAS DE RÍO HONDO

RÍOS:		SALÍ	GASTONA	MEDINA + MARAPA	DULCE
Caudales hídricos app. en $m^3 s^{-1}$	Semestre húmedo (noviembre a abril)	81,0	31,0	35,0	147,0
	Primer trimestre seco (mayo a julio)	33,0	13,0	14,0	60,0
	Segundo trimestre crítico (agosto a octubre)	19,0	7,0	9,0	35,0
Concentración de fósforo soluble en ppm o $g m^{-3}$	mes de noviembre	1,3	1,1	0,8	0,8
	mes de diciembre	0,2	0,3	0,3	0,6
	mes de febrero	0,2	0,1	0,2	0,4
	mes de septiembre	1,6	1,4	0,9	0,3
Caudales máxicos en $g s^{-1}$	mes de noviembre	105,0	34,0	28,0	118,0
	mes de diciembre	16,0	9,0	11,0	88,0
	mes de febrero	16,0	3,0	7,0	59,0
	mes de septiembre	30,0	10,0	8,0	11,0

El *hardware* empleado en la simulación consta de los siguientes cuatro componentes: modelo electro-analógico; pantógrafo; interfase analógico-digital (EDP) y computadora. El modelo electro-analógico, es una figura plana de papel semi-conductor o resistivo, marca Teledeltos, cuyo contorno reproduce en escala 1 : 150000 , la superficie del agua o espejo del lago, en la cota de 275 m snm . Se ha montado sobre un soporte plano dieléctrico. En los puntos de ingreso de cada tributario se ha instalado un electrodo de aluminio, el que conectado a una fuente de tensión regulable, permite simular el aporte de la substancia en estudio. En correspondencia con la descarga del embalse, también se ha instalado un electrodo de similares características, tal como ilustra el Plano del Modelo Electro-analógico (**Fig. AMM II - 01**). La magnitud eléctrica considerada es la resistencia. El embalse es representado por una malla completa de resistencias entre todos los electrodos conectados, como se muestra en el Circuito Eléctrico Equivalente del Modelo Analógico (**Fig. AMM II - 02**).

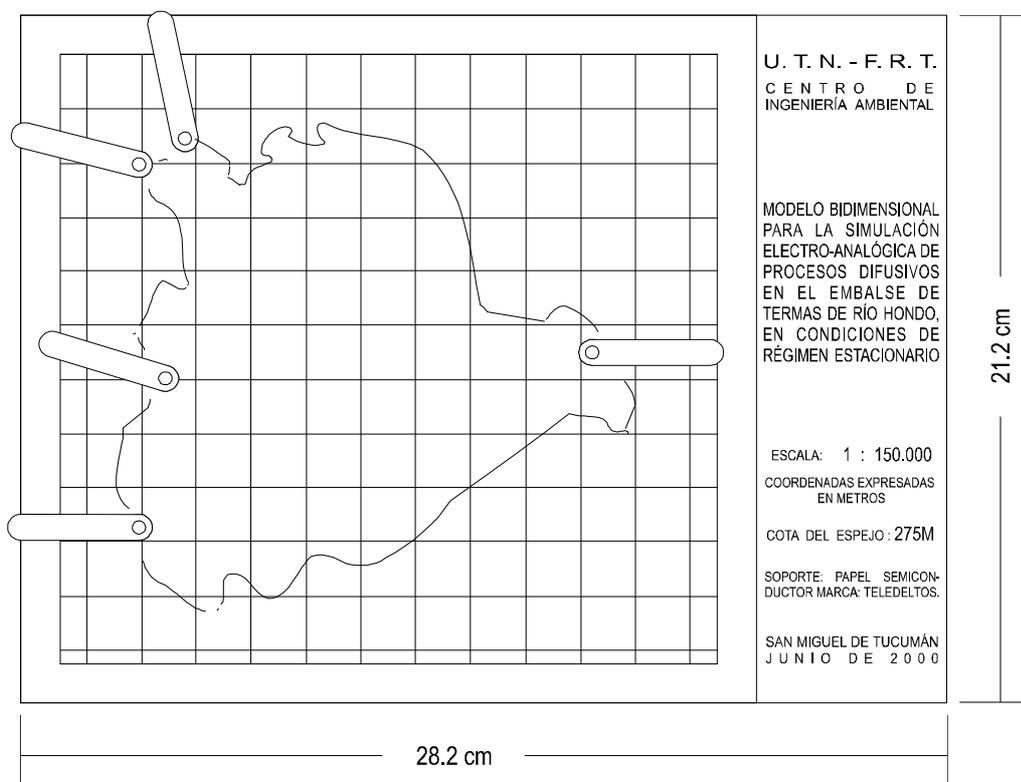


Fig. AMM II - 01 - ESQUEMA DEL MODELO ELECTRO-ANALÓGICO DEL EMBALSE DE TERMAS DE RÍO HONDO

El pantógrafo es un tablero rectangular plano, con un brazo articulado de dos piezas, montado en la esquina inferior izquierda, como se ilustra en el Plano del Pantógrafo (**Fig. AMM II - 03**). En cada articulación se ha instalado un potenciómetro y en el extremo distal del antebrazo se ha montado un electrodo sensor de bronce. Completa el conjunto, un pulsador que permite al usuario indicar al sistema de adquisición de datos, cuando el sensor se encuentra en el punto a medir. El Esquema Eléctrico del Pantógrafo (**Fig. AMM II - 04**), muestra la disposición y características de los componentes del circuito de posicionamiento y sensado de tensiones. Tanto el potenciómetro del hombro (PT1), como el del codo (PT2), se encuentran polarizados en sus extremos con 5 V y 0 V , lo que permite al cursor generar una tensión variable dentro de este rango. Por ser potenciómetros lineales, la variación de tensión es lineal respecto del ángulo barrido o rotado por el brazo y el antebrazo. Se agregaron condensadores electrolíticos (C1 y C2) a los cursores de los potenciómetros para disminuir el ruido que capta el conversor analógico-digital (A/D).

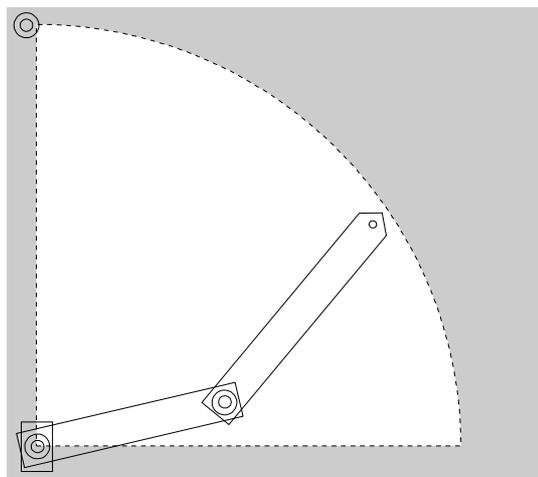
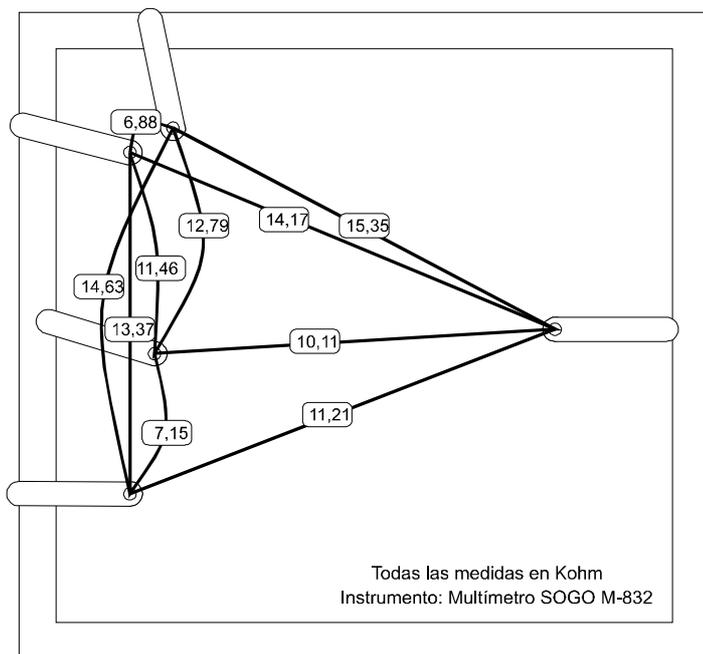


Fig. AMM II - 03 - PLANO DEL PANTÓGRAFO

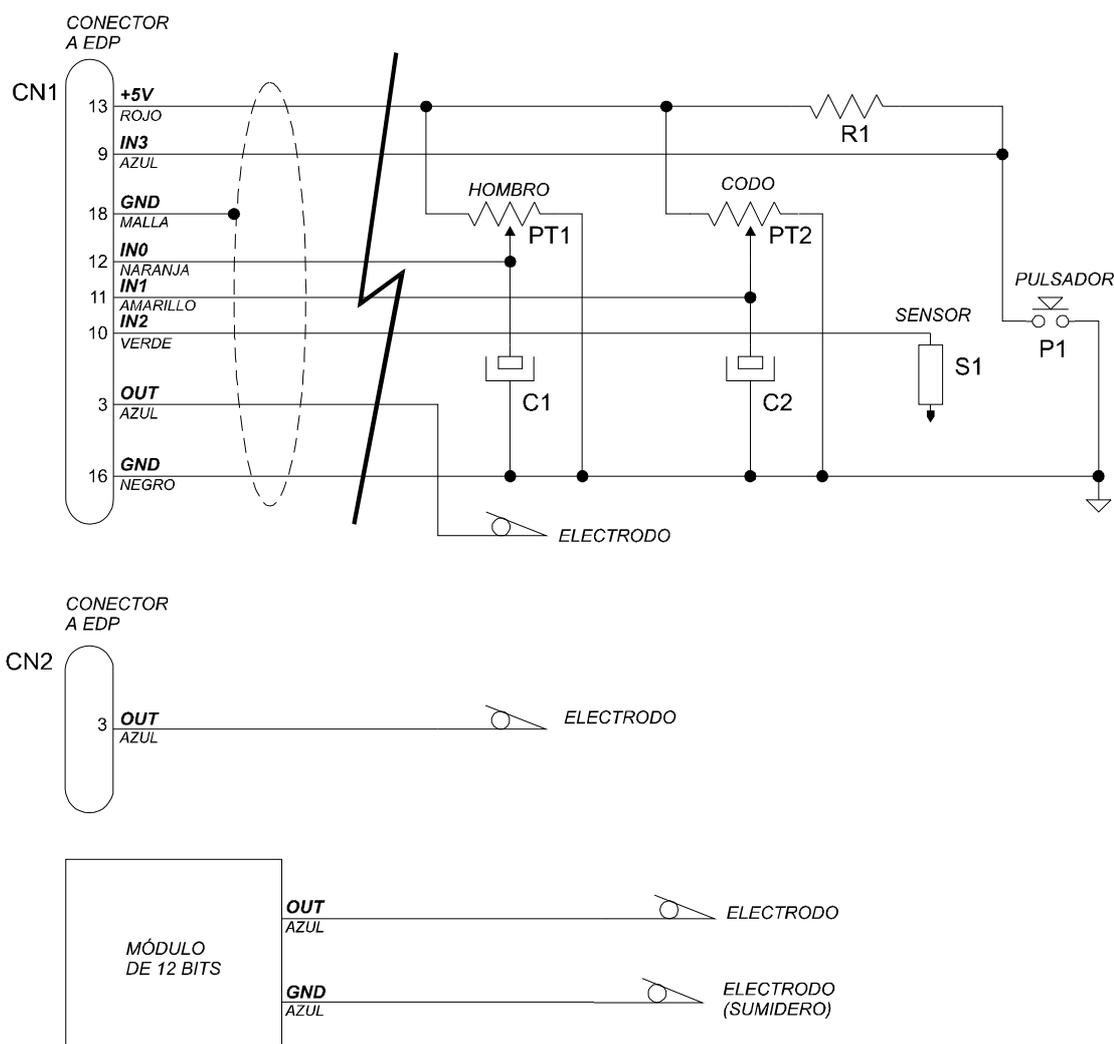
Fig. AMM II - 02 - CIRCUITO ELÉCTRICO EQUIVALENTE DEL MODELO ANALÓGICO

El pulsador, normalmente abierto, permite a la entrada analógica IN3 mantener un nivel alto de tensión (aproximadamente 5 V), a través de la resistencia R1; cuando se lo presiona, la tensión en dicha entrada es de 0 V. La Fig. AMM II - 05, muestra el conexionado general.

Para la adquisición de datos y generación de las tensiones de control se dispuso de una interfase marca EDP 2 - Entorno de Desarrollo de Periféricos, de la firma PC LAB, Arg. Este sistema permite la conexión de hasta ocho módulos de diverso tipo; en el presente trabajo, se emplearon dos analógicos y uno TTL. A este último se conectó una plaqueta que controla convertidores A/D y D/A de 12 bits. La interfase que cuenta con drivers para su control desde aplicaciones MSWindows, dispone de ocho entradas analógicas multiplexadas con resolución de 8 bits; rango de 0 a 5 V; una salida analógica con resolución de 8 bits; rango de 0 a 5 V; convertor A/D, marca National ADC0804 (t_{CONV} : 80 μ S típico) y convertor D/A marca National DAC0800 (t_{CONV} : 10 μ S típico).

El Módulo Analógico de 12 bits, tiene una entrada analógica con resolución de 12 bits; rango: 0 a 10 V; una salida analógica con resolución de 12 bits; rango de 0 a 10 V; convertor A/D marca Maxim MAX574A (t_{CONV} : 25 μ S típico); convertor D/A marca National DAC1230 (t_{CONV} : 1 μ S típico).

En el circuito de interconexión, mostrado en el esquema de Conexionado General (Fig. AMM II - 05), se utilizan tres salidas analógicas para polarizar tres de los cuatro electrodos del modelo electro-analógico. La primera y segunda salida utilizan convertidores de 8 bits; la tercera, un convertor de 12 bits. La señal medida se digitaliza en 8 bits.



- R1: resistencia 1,2Kohm 1/4W
- C1, C2: condensador electrolítico 1uF / 50V
- PT1, PT2: potenciómetro lineal 3,1Kohm
- S1: electrodo de bronce
- P1: pulsador NA
- CN1: conector DB25 macho p/cable

Fig. AMM II - 04 - ESQUEMA ELÉCTRICO DEL PANTÓGRAFO

10. 3. 10. 3. - Resultados: conjuntamente con la construcción y puesta a punto del modelo electroanalógico y del pantógrafo, se desarrolló en Visual Basic un programa de control para la captación, graficación y almacenamiento primario de los datos, el que consta de un Módulo Principal y de otro de Calibración; emplea para el control de las interfases analógicas una DLL (*Dynamic Link Library*) codificada en Borland C++ y cumple las siguientes funciones:

- Controlar la tensión aplicada en cada electrodo en función de los caudales máxicos;
- Calcular la posición $x - y$ del electrodo sensor;
- Representar en pantalla en falso color, un mapa de contorno de tensión;
- Generar el archivo con las muestras u observaciones obtenidas.

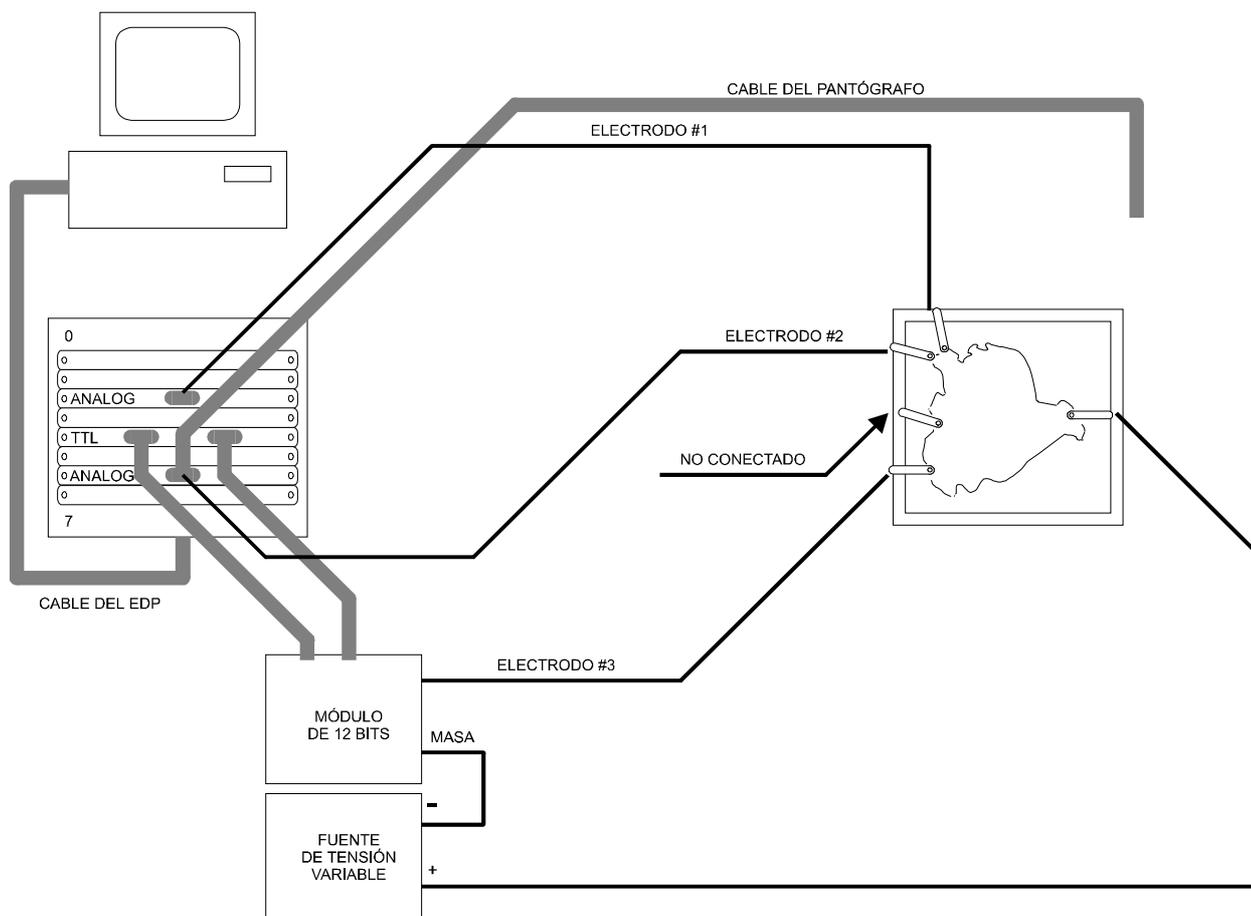


Fig. AMM II - 05 - CONEXIONADO GENERAL

El archivo de salida, tiene formato ASCII; cada línea corresponde a una terna (x, y, v) , perteneciente a la solución del problema. Las primeras componentes (x, y) , son longitudes enteras en milímetros, medidas desde el punto hacia el origen del sistema coordenado Gauss-Krüger, ubicado en el eje de rotación del potenciómetro del hombro del pantógrafo. La tercera componente es el valor de tensión medido (v) , convertido a unidades de caudal másico.

Con las corridas de simulación, realizadas conforme a los datos de la **Tabla AMM II - 01** sobre caudales hídricos; concentraciones y caudales másicos de fósforo soluble aportado por los tributarios del Embalse Frontal de Termas de Río Hondo y considerando el espejo del Embalse en cota máxima, se obtienen archivos con extensión *dat*. Estos archivos son procesados con el programa Surfer 6.0, que genera archivos con extensión *grd*. El logicial, ofrece opciones de graficación, tales como: líneas de contorno o curvas de nivel (**Fig. AMM II - 06** y **Fig. AMM II - 08**), o bien representaciones espaciales de superficies reticuladas; se tienen así, archivos gráficos con extensión *plt*, que pueden ser optimizados, resultando archivos con extensión *opt* (**Fig. AMM II - 07** y **Fig. AMM II - 09**). En la **Fig. AMM II - 07** y en la **Fig. AMM II - 09**, la superficie reticulada, es observada desde el cuadrante Suroeste.

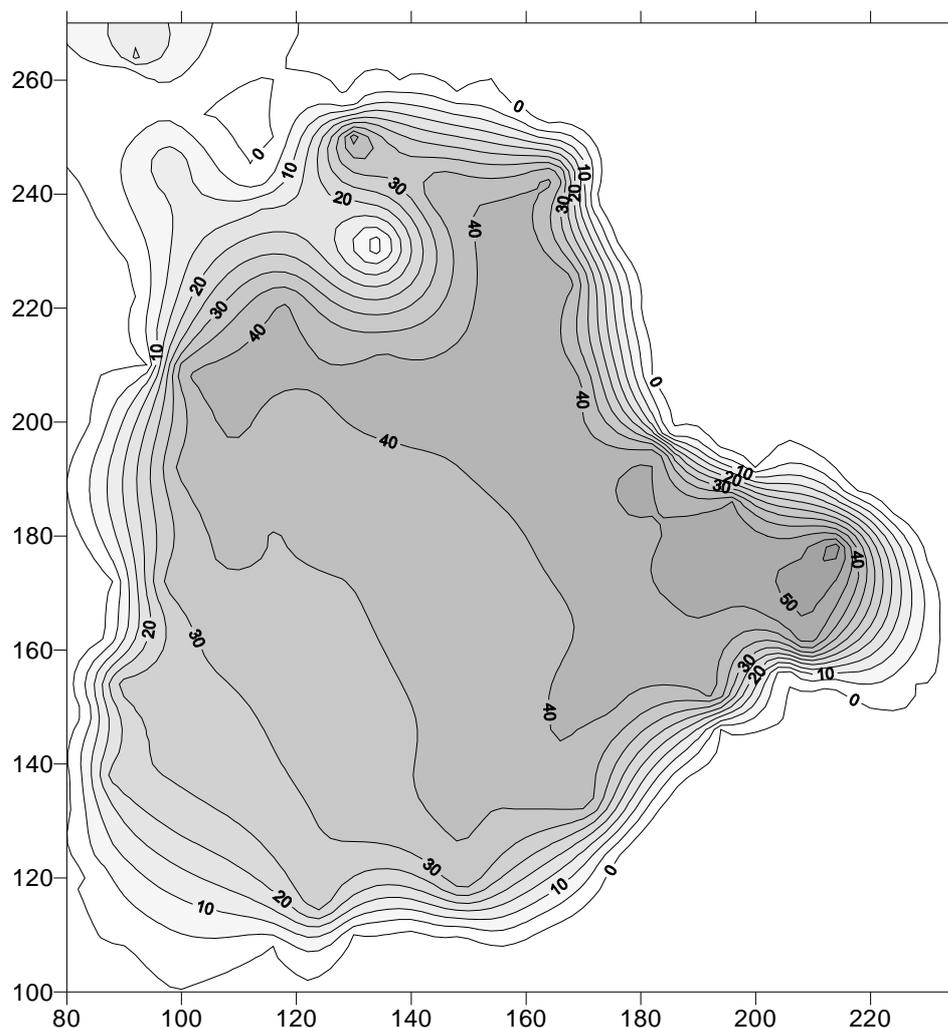


Fig. AMM II - 06 - CURVAS DE IGUAL CONCENTRACIÓN DE ORTOFOSFATO SOLUBLE, EN EL EMBALSE FRONTAL DE TERMAS DE RÍO HONDO, CORRESPONDIENTES AL MES DE FEBRERO

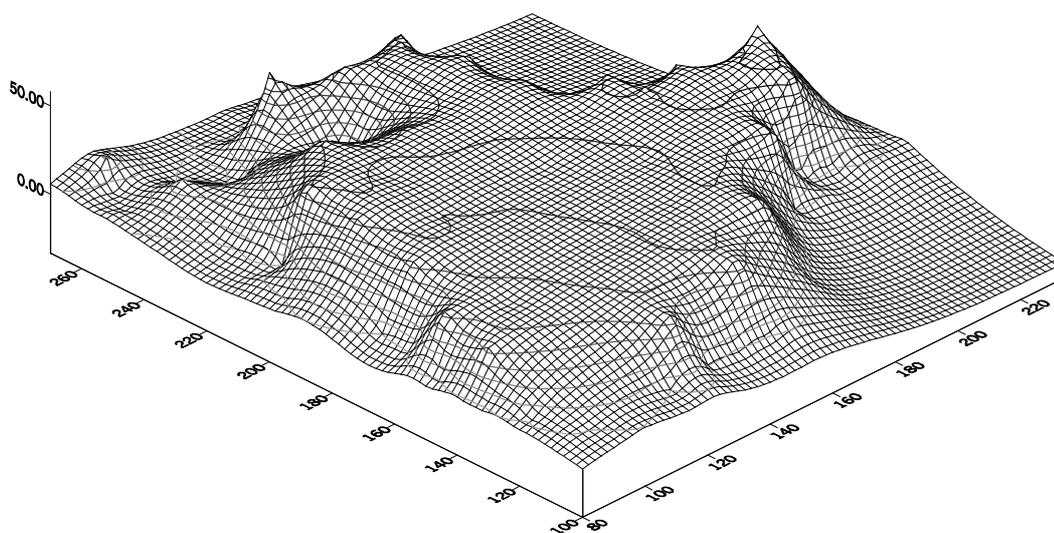


Fig. AMM II - 07 - SUPERFICIE RETICULADA ESPACIAL DE LA VARIACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ORTOFOSFATO SOLUBLE, EN EL EMBALSE FRONTAL DE TERMAS DE RÍO HONDO, CORRESP. AL MES DE FEBRERO

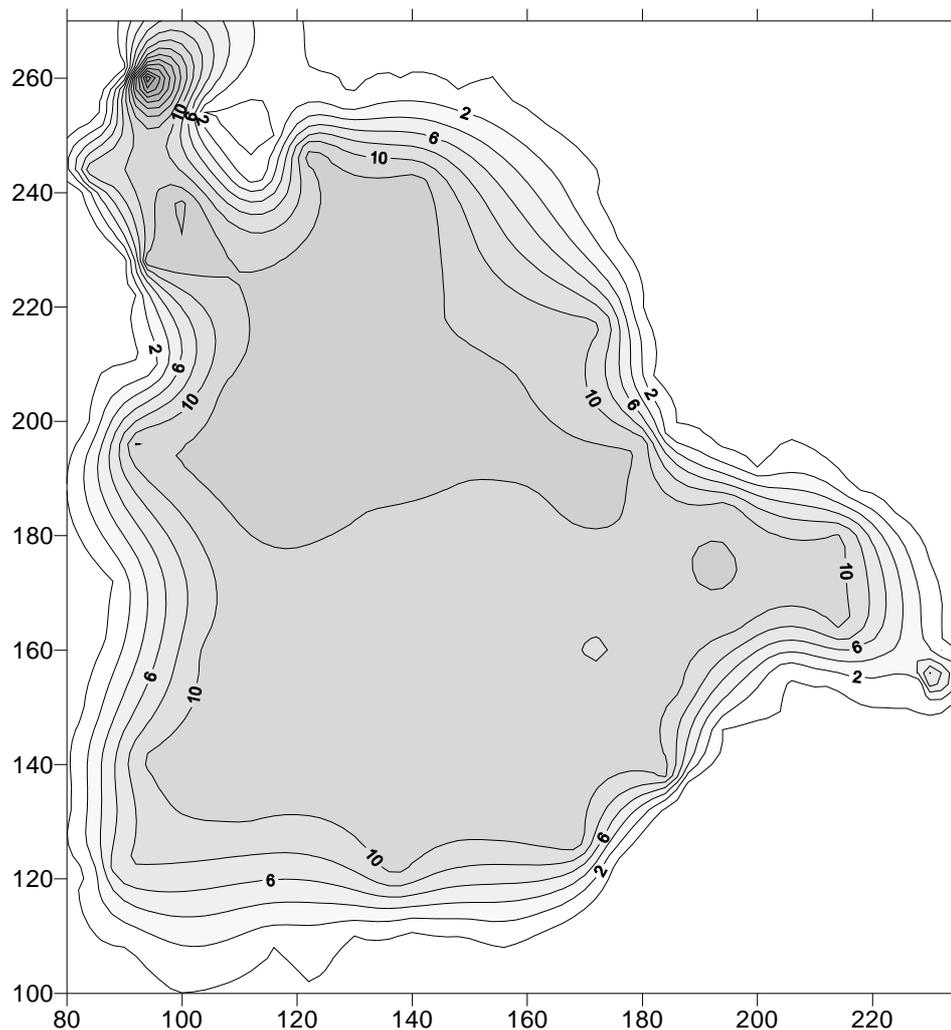


Fig. AMM II - 08 - CURVAS DE IGUAL CONCENTRACIÓN DE ORTOFOSFATO SOLUBLE, EN EL EMBALSE FRONTAL DE TERMAS DE RÍO HONDO, CORRESPONDIENTES AL MES DE SEPTIEMBRE

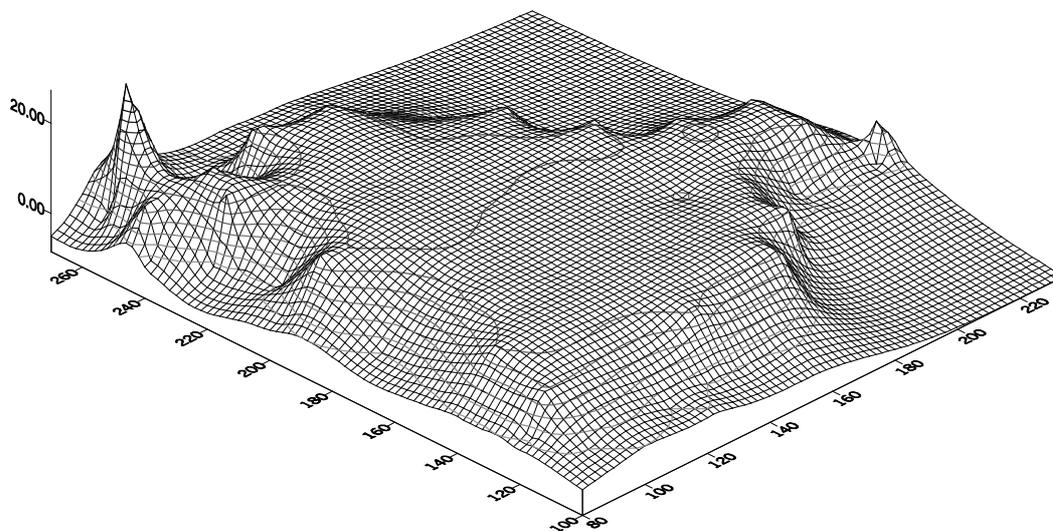


Fig. AMM II - 09 - SUPERFICIE RETICULADA ESPACIAL DE LA VARIACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE ORTOFOSFATO SOLUBLE, EN EL EMBALSE FRONTAL DE TERMAS DE RÍO HONDO, CORRESP. AL MES DE SEPTIEMBRE

10. 3. 10. 4. - Discusión de Resultados y Conclusiones: el modelo analógico-digital diseñado, construido y operado, genera isolíneas de potencial V o curvas equipotenciales que en condiciones de régimen estacionario, corresponden a la distribución de contaminantes y nutrientes, empleando la concentración C como parámetro distribuido, pues en los procesos de difusión y mezclado, descritos por la ecuación de Laplace, es posible emplear un sistema análogo de conducción eléctrica continua ohmica. Siendo el medio isótropo, con conductividad eléctrica σ , independiente de la posición \mathbf{r} , se tiene que: $\nabla^2 V(\mathbf{r}) = 0$. Operando sobre un modelo bidimensional electro-analógico, se obtuvieron valores de tensión o potencial eléctrico. De este modo se generaron soluciones para la ecuación de Laplace $\nabla^2 C(\mathbf{r}) = 0$, que describe la distribución espacial de la concentración C de contaminantes y nutrientes, con coeficiente de difusión o mezclado D , independiente de la posición \mathbf{r} .

El procesamiento de los archivos de datos, conduce a la obtención de gráficos de líneas de contorno o curvas equipotenciales o bien a representaciones tridimensionales de superficies reticuladas. Cabe observar, que a pesar de ser nulos los valores de tensión fuera del área del modelo, el *software* de aplicación empleado, interpola entre el valor actual de tensión sobre el contorno del modelo y el marco del reticulado generado al superponer una grilla rectangular al espacio de trabajo; consiguientemente, la superficie objeto de estudio, se asimila al rectángulo que la inscribe.

La modelización se ha realizado en todos los casos, asumiendo que el espejo del embalse, se mantiene en la cota máxima; simplificación que no responde a la realidad, pues el nivel varía significativamente en el sistema real, conforme a las fluctuaciones estacionales del año hidrológico. Una mejora del planteo experimental, en este aspecto, conduciría a operar con contornos variables del papel semiconductor, en función de la cota del pelo libre.

10. 3. 10. 5. - Resumen: se desarrolla una metodología de modelización de los procesos difusivos en condiciones de régimen estacionario, de contaminantes y nutrientes de origen superficial y puntual, aportados por los tributarios del Embalse Frontal de Termas de Río Hondo (Provincias de Tucumán y Santiago del Estero, República Argentina). El modelo analógico-digital, genera isolíneas de potencial V (curvas equipotenciales) o bien superficies reticuladas, que se corresponden con la dispersión espacial de contaminantes y nutrientes, en el medio líquido, cuando se emplea la concentración C como parámetro distribuido. En los procesos de difusión y mezclado, en medio isótropo, con conductividad eléctrica σ , independiente de la posición \mathbf{r} , es posible emplear un sistema análogo de conducción eléctrica continua ohmica, descrito por la ecuación de Laplace ($\nabla^2 V(\mathbf{r}) = 0$). El modelo electro-analógico bidimensional, fue construido en escala, con papel semiconductor, respetando la planimetría del Embalse Frontal de Termas de Río Hondo, cuando el espejo alcanza la cota máxima. Se obtuvieron valores de tensión o potencial eléctrico y de este modo, se generaron soluciones para la ecuación de Laplace $\nabla^2 C(\mathbf{r}) = 0$, que describe la distribución espacial de la concentración C de contaminantes y nutrientes, con coeficiente de difusión o mezclado D , independiente de la posición \mathbf{r} . El dispositivo experimental empleado, incluye además del modelo electro-analógico, un pantógrafo; un voltímetro; un conversor analógico-digital y dos programas computacionales para controlar las tensiones aplicadas en los electrodos, en función de los caudales máxicos aportados por los tributarios y gestionar la adquisición de datos. Se generan archivos de ternas de puntos, pertenecientes a las soluciones del problema.

10. 3. 11. - BASES CONCEPTUALES Y METODOLÓGICAS PARA UN BALANCE COSTO-BENEFICIO AMBIENTAL Y SOCIAL

10. 3. 11. 1. - PRIMERA PARTE:

10. 3. 11. 1. 1. - Resumen: la legislación vigente establece que la Evaluación de Impactos Ambientales debe considerar un Análisis de Costo-Beneficio Ambiental y Social y una comparación de aspectos físicos, biológicos, económicos y sociales en un estado de referencia inicial con su probable situación futura, bajo condiciones descritas como sin acción y con acción, reconociendo la complejidad inherente a los ecosistemas dominados por el hombre (Çambel, A. B., 1993). La acción como respuesta a un problema no bien definido debe ejecutarse en un ambiente cambiante o en contextos insuficientemente o mal definidos (Waldrop, M. M., 1992). Es pertinente formular la pregunta de si alguna acción de intervención humana sobre la ecósfera, es ambientalmente inocua. A la luz del conocimiento actual sobre marcos referenciales (Allen, T. F. H. and T. W. Hoekstra, 1992) y sistemas dinámicos apartados del equilibrio, no cabe una respuesta afirmativa; en este capítulo, se propone un criterio para estimar costos ambientales y sociales.

Palabras clave: complejidad; Economía Ecológica; costos ambientales y sociales; costo del impacto; costo de Ingeniería.

10. 3. 11. 1. 2. - Abstract: Environmental Impact Assessment must consider a Social and Environmental Cost-Benefit Analysis and a comparison between physical-biological-economic and social aspects in a reference initial stage with a probable future situation with and without action. The inherent complexity related to man dominated ecosystems is recognized. Actions as a response to not well-defined problems must be executed in a bad or insufficiently defined context. Is any human intervention action over the ecosphere, environmentally innocuous? If we apply referential frames and nonlinear dynamics in far-from-equilibrium conditions, an affirmative answer is not possible. In this paper a criterion for estimating environmental and social costs is proposed.

Key words: complexity; Ecological Economics; environmental and social costs; impact costs; Engineering costs.

10. 3. 11. 1. 3. - Desarrollo: en cuestiones de Ingeniería Ambiental, los objetivos y las posibles soluciones, no pueden formularse en forma determinística, pues están afectados de incertidumbres de diferentes orígenes, tales como la imposibilidad de medir; la subjetividad de los juicios; la dependencia del entorno; el desconocimiento de la totalidad de las variables intervinientes; etc. El primer paso para abordar la complejidad es aceptar la unidad, donde el análisis opera la segmentación en partes. La realidad se estructura según niveles de complejidad creciente, donde cada nivel persiste en el siguiente, pero en cada nivel surgen propiedades emergentes, propias de cada uno de ellos e irreductibles al nivel inferior. La unidad es entonces, unidad en lo múltiple, una imbricación de inter-relaciones. Esquemáticamente, el primer nivel es el del enfoque costo-beneficio convencional; consiste en identificar los costos de cada curso de acción específico, cuantificando los beneficios asociados, para lograr la relación óptima entre ellos. Esto importa considerar las implicaciones de cada alternativa. La dificultad de este enfoque radica en que generalmente se asume que los problemas están bien definidos, que las opciones y las políticas están también, bien definidas. De este modo el análisis consiste en asignar valores numéricos a costos y beneficios de cada alternativa. Lamentablemente para la teoría estándar que posiciona al observador fuera del sistema, el mundo real y de manera particular los aspectos ambientales, son difusos y cambiantes y las valoraciones numéricas descansan en juicios subjetivos, los que en general desestiman los temas en relación con los cuales no hay criterios de evaluación.

El segundo nivel de definición de políticas se basa en un análisis institucional de quienes son los actores y porqué, como si el sistema político fuera exógeno, en vez de ser considerado como una consecuencia dinámica del inter-juego de todos los elementos, sujetos a alianzas, coaliciones, confrontaciones, etc.; en el tercer nivel de análisis se consideran, el punto de vista estándar del equilibrio, heredado del Enciclopedismo del Siglo XVIII y el enfoque de la Complejidad. En el punto de vista estándar, prevalece la idea de la dualidad entre el Hombre y la Naturaleza y de la existencia de un equilibrio entre ellos, el que debe ser óptimo para el Hombre. Es el ámbito de la optimización de las decisiones relacionadas con los recursos ambientales, la Complejidad, no admite la dualidad Hombre-Naturaleza, pues el Hombre constituye la Naturaleza; está inserto en ella y es parte de su compleja red de inter-relaciones.

Un balance económico-ambiental, resulta de confrontar impactos ambientales positivos y negativos, valorizados en unidades monetarias o en su defecto, empleando algún criterio cuali-cuantitativo. Los impactos ambientales positivos, inherentes a emprendimientos productivos, están en general asociados a la generación ecológicamente sustentable de bienes y servicios demandados por la sociedad; al mejoramiento de procesos en términos de incremento de la eficiencia en el uso de recursos materiales; energéticos y de comunicaciones. Asimismo a la gestión de protección o preservación o restauración ambiental; a la bio-remediación; a la conservación de la biodiversidad; etc. Los beneficios ambientales y sociales, cuando están en juego cantidades de masa (materia) y/o energía, pueden ser estimados; contrariamente los impactos negativos, no son tan fácilmente cuantificables en unidades económicas o monetarias.

La Economía Ecológica, propone la aplicación de criterios alternativos: valorización de las mermas productivas ocasionadas por la aplicación o el empleo de un recurso degradado; cuantificación en dinero de la disminución de biomasa seca por encima del nivel del terreno; estimación de las tasas de decrecimiento de la capacidad productiva de un recurso natural y proyección del fenómeno en el tiempo; cálculo de los costos de corrección o remediación o mitigación de la situación ambiental alterada; aplicación de compensaciones diversas sobre la base de equivalencias ambientales; etc. Del análisis de situación resulta que si monetariamente valorizado un impacto negativo, el monto económico es mayor que el costo de conjurarlo, debe encararse la solución de Ingeniería que suprima el impacto, si la tecnología correspondiente está disponible. En síntesis:

- Se asume provisoriamente que puede conocerse el costo del impacto, en el corto; mediano y largo plazo y que para facilitar el razonamiento, el largo plazo coincide con la vida útil de las instalaciones, oportunidad en la que se totaliza el costo actualizado, llamado **COST-IMP** ;
- Pueden calcularse los costos operativos de Ingeniería (costos fijos y costos variables), para conjurar el impacto negativo, a lo largo de igual período; éstos se indican por: **COST-ING** ;
- Se presentará alguna de las situaciones que ilustra la **Tabla ACB - 01**, en la que también se consignan las decisiones:

Tabla ACB - 01 - COMPARACIONES ENTRE COSTOS DE IMPACTOS Y DE INGENIERÍA Y DECISIONES A TOMAR

COMPARACIÓN DE COSTOS:	DECISIÓN:
$COST-IMP > COST-ING$	Se ejecuta la mejora
$COST-IMP = COST-ING$	Situación de indiferencia
$COST-IMP < COST-ING$	No se ejecuta la mejora

- Si la incertidumbre prevalece sobre la información, en cuanto al costo del impacto (**COST-IMP**) y se toma la decisión de incurrir en el costo de corrección de Ingeniería (**COST-ING**), se tiene que como éste es estimable, se dispone entonces de una cota superior para valorizar el impacto ambiental negativo.

10. 3. 11. 1. 4. - Conclusiones: disponiéndose de una solución técnico-económica viable, para conjurar o impedir una emisión contaminante, causante de impacto ambiental, se cuenta con un criterio de cuantificación monetaria de impactos negativos, en condiciones de régimen y para un período equivalente a la vida útil de las instalaciones; ésto es, puede calcularse una cota superior, asimilable a los costos de ingeniería correspondientes a daños o efluentes o emisiones cero.

10. 3. 11. 2. - SEGUNDA PARTE:

10. 3. 11. 2. 1. - Resumen: la Evaluación de Impactos Ambientales debe considerar un Análisis de Costo-Beneficio Ambiental y Social y una comparación de aspectos físicos, biológicos, económicos y sociales en un estado de referencia inicial con su probable situación futura, bajo condiciones descritas como sin acción y con acción. La valuación ajena o externa al mercado de los recursos ambientales emplea los intercambios explícitos e implícitos entre conservación y desarrollo, para asignarles un precio o valor monetario. Para derivar una teoría del valor económico basada en la elección racional, se emplean el conjunto de preferencias lógicamente ordenado, en materia de bienes y servicios; la función de utilidad que sirve de índice para el orden de preferencia y el superávit del consumidor.

Palabras clave: valor económico; bienes ambientales; preferencias; función de utilidad; superávit del consumidor; valuación contingente.

10. 3. 11. 2. 2. - Abstract: Environmental Impact Assessment must consider a Social and Environmental Cost-Benefit Analysis and a comparison between physical-biological-economic and social aspects in a reference initial stage with a probable future situation with and without action. The non-market valuation of environmental resources applies explicit and implicit exchanges between conservation and development in order to assign them a price or monetary value. As a way of deriving a theory of economic value based on rational choice a set of preferences logically ordered as goods and services, a utility function as a preference order index and a measure of consumer surplus are employed.

Key words: economic value; environmental goods; preferences; utility function; consumer surplus; contingent valuation.

10. 3. 11. 2. 3. - Desarrollo: dentro del marco utilitario neoclásico la valuación ajena o externa al mercado de los recursos ambientales emplea los intercambios explícitos e implícitos entre conservación y desarrollo, para asignarles un precio o valor monetario (Hanley, N.; J. F. Shogren and B. White, 1997). La medida del valor económico, se fundamenta en la elección racional que el individuo hace frente a un cambio en los servicios ambientales, independientemente de su ausencia del mercado. Si ocurre un cambio favorable en un aspecto ambiental, interesa conocer cuánto estaría dispuesta a pagar una persona para asegurar su persistencia. Esta disposición a pagar, refleja su valuación económica del servicio ambiental mejorado. Recíprocamente si el cambio la afecta negativamente, podría estar dispuesta a aceptar una compensación para permitir el deterioro. La disposición a pagar (*willingness to pay - WTP*) y la disposición a aceptar el pago (*willingness to accept - WTA*), representan las dos medidas generales del valor económico de un servicio ambiental. Los tres constructos lógicos que se emplean para derivar una teoría del valor económico basada en la elección racional, son el conjunto de preferencias lógicamente ordenado, en materia de bienes y servicios; la función de utilidad que sirve de índice para el orden de preferencia y el superávit del consumidor.

La función de preferencia constituye una representación ordinal de preferencias que permite expresar los conjuntos de consumo preferidos para el más alto nivel de utilidad ¹. El superávit del consumidor puede ser *WTP* o *WTA* una medida compensatoria.

Los axiomas sobre las preferencias permiten la representación de éstas mediante una función de utilidad $U(Q_i)$, lo que equivale a que si un individuo prefiere Q_1 a Q_2 , entonces la utilidad asociada con Q_1 es mayor que la utilidad de Q_2 ; $U(Q_1) > U(Q_2)$. Si $U(Q_0)$ es la utilidad de un nivel pre-asignado de un bien ambiental Q_0 conforme al planteo clásico de los retornos decrecientes, cuanto más se dispone de un bien, menor es el valor que se le asigna a cada unidad adicional del bien.

$$\text{Formalmente: } U_Q \equiv \frac{dU}{dQ_0} > 0, \quad U_{QQ} \equiv \frac{d^2U}{dQ_0^2} < 0.$$

Un individuo deriva utilidad de la calidad ambiental Q_0 y de los demás bienes y servicios del mercado $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, tal que $U = U(\mathbf{x}, Q_0)$. Asumiendo que los \mathbf{x} proporcionan utilidad positiva y que la utilidad crece menos que proporcionalmente, se tiene: $U_{x_i} \equiv \frac{\partial U}{\partial x_i} > 0$, $U_{x_i x_i} \equiv \frac{\partial^2 U}{\partial x_i^2} < 0 \quad \forall i$.

La selección individual de todos los bienes y servicios del mercado está restringida por un ingreso monetario fijo, identificado por M y por el precio de los mencionados bienes y servicios, $\mathbf{p} = (p_1, p_2, \dots, p_n)$. El problema económico individual consiste en hacer máxima la utilidad mediante la selección de un nivel de consumo de todos los bienes del mercado $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$; estando restringido por un ingreso fijo M ; un vector de precios $\mathbf{p} = (p_1, p_2, \dots, p_n)$ y un nivel de calidad ambiental Q_0 exógenamente fijado. Para el problema individual, se tiene: $\text{Max}_{\mathbf{x}} [U(\mathbf{x}, Q_0) \mid M \geq \mathbf{p}\mathbf{x}; Q_0 \text{ es pre-asignado}]$. Como las diferencias en utilidad no son mensurables, se introduce el concepto de superávit del consumidor, que es una métrica monetaria de cambios en la utilidad. Otro modo de ilustrar las medidas de valor *WTP* y *WTA* es re-escribiendo el problema como uno de minimización de costo, o como el dual del problema de maximización de utilidades o beneficios.

¹ Las cuatro restricciones axiomas sobre las preferencias, requieren considerar primeramente, elecciones entre conjuntos o paquetes de alternativas de consumo, definidas por n niveles de calidad ambiental: Q_1, Q_2, \dots, Q_n . Si el nivel Q_1 es preferido o resulta indiferente frente al nivel Q_2 , se escribe $Q_1 \succeq Q_2$; si Q_1 es estrictamente preferido a $Q_2 \Rightarrow Q_1 \succ Q_2$ y si \exists indiferencia entre $Q_1, Q_2 \Rightarrow Q_1 \sim Q_2$.

- 1) Reflexividad: cada nivel de un bien o servicio, tal como calidad ambiental es tan bueno como él mismo.
 $\forall Q_i; Q_i \succeq Q_i$.
- 2) Completitud: para dos niveles cualesquiera de calidad ambiental Q_i, Q_j , se tiene que $Q_i \succeq Q_j$ o bien (or) $Q_j \succeq Q_i$.
- 3) Transitividad: si $Q_i \succeq Q_j, Q_j \succeq Q_k \Rightarrow Q_i \succeq Q_k$.
- 4) Continuidad: siendo $A(Q_i)$ al menos tan buen conjunto, $B(Q_i)$ el conjunto no mejor que $\Rightarrow A(Q_i) \wedge B(Q_i)$ son cerrados; esto es, contienen los puntos de su propio contorno, lo que implica que ningún nivel de calidad ambiental es absolutamente necesario y que la calidad puede ser intercambiada en el contorno por otro bien o ingreso.

En este caso la función de gasto (*expenditure function*) $e(\mathbf{p}, Q_0, \bar{U})$, desempeña el rol clave en la definición de medidas del valor económico. Se pretende minimizar costos, seleccionando niveles de bienes y servicios de mercado que minimicen los gastos, sujetos a un nivel fijo de utilidad \bar{U} y a un bien o servicio ambiental. Entonces, siendo Q_0 pre-asignado, se tiene: $e(\mathbf{p}, Q_0, \bar{U}) = \min_x [\mathbf{p}, \mathbf{x} | \bar{U} \geq U(\mathbf{x}, Q_0)]$. El máximo de la disposición a pagar

por una mejora de Q_0 a Q_1 , es: $Máx[WTP] = e(\mathbf{p}, Q_0, \bar{U}) - e(\mathbf{p}, Q_1, \bar{U})$, que representa la diferencia entre los dos niveles de mínimo gasto, para alcanzar una utilidad fija \bar{U} . En relación con los riesgos ambientales; las medidas de valor y la función de utilidad indirecta, interesa conocer el monto económico inherente a la reducción de un riesgo ambiental R . El riesgo puede ser cuantificado físicamente, como la concentración de un contaminante. Asumiendo que un incremento en el riesgo, disminuye la utilidad $U(\mathbf{x}, R)$, tal que:

$$U_R \equiv \frac{\partial U}{\partial R} < 0, \quad U_{RR} \equiv \frac{\partial^2 U}{\partial R^2} > 0.$$

El problema individual llamando $V(M, \mathbf{p}, R)$ a la función de utilidad indirecta puede escribirse con R_0 pre-asignado: $V(M, \mathbf{p}, R_0) \equiv \max_x [U(\mathbf{x}, R_0) | M \geq \mathbf{p}\mathbf{x}]$ que es la máxima utilidad alcanzable, dado una restricción presupuestaria y un nivel de riesgo. Trátase de una función de los parámetros exógenos, ingreso; precios y nivel de riesgo. Además de la subjetividad en la formación de un valor monetario asignable a una entidad o situación ambiental, otra dificultad es la de atribuir valor económico a bienes que la mayoría de las personas no usarán de modo directo. Surge entonces la noción del valor de opción como el valor de preservar el recurso para usos potenciales futuros. Resulta evidente la incidencia sobre el proceso de asignación de valor, de los medios de comunicación y las condiciones del proceso de enseñanza – aprendizaje. Si un individuo puede proponer un criterio de valorización para la modificación de una situación ambiental, sin restricciones temporales o de recursos de soporte de la decisión, entonces la medida hicksiana (en homenaje a Sir John Hicks) de compensación es: $HC(Q_0, Q_1, \bar{U}) = M - e(\mathbf{p}, Q_1, \bar{U})$, donde:

$e(\mathbf{p}, Q_1, \bar{U}) = \min_x [\mathbf{p}\mathbf{x} | \bar{U} \geq U(\mathbf{x}, Q_1)]$. HC tiene el sentido del valor económico que refleja la intensidad de las preferencias individuales asociadas a una determinada mejora ambiental. La medida hicksiana de compensación, incorporando restricciones temporales o de soporte de la decisión, es: $fHC(Q_0, Q_1, t) = M - e(\mathbf{p}, Q_1, t, \bar{U}^*) \leq HC(Q_0, Q_1, \bar{U})$.

Siendo: $e(\mathbf{p}, Q_1, t, \bar{U}^*) \geq e(\mathbf{p}, Q_1, \bar{U})$, se tiene que:

$$HC(Q_0, Q_1, \bar{U}) \geq fHC(Q_0, Q_1, t).$$

Los métodos de valuación se dividen generalmente en directos e indirectos. Los primeros, de mayor interés en relación con el tema del presente artículo, procuran inferir de modo directo, las preferencias individuales sobre calidad ambiental. Para ello, se valen de diferentes técnicas de encuestamiento, administradas cara-a-cara; telefónicamente; por correo o bien empleando otras tecnologías de la información (correo electrónico; Internet; etc.).

En los relevamientos de valuación contingentes, se inquiriere sobre la máxima predisposición a pagar o *willingness to pay (WTP)* por una mejora o aumento de la calidad ambiental o bien sobre la mínima predisposición a aceptar compensación o *willingness to accept compensation (WTAC)* por renunciar a la mejora. Alternativamente, puede preguntarse sobre la máxima WTP para evitar una disminución en la calidad ambiental o la mínima WTAC para aceptar la reducción.

El empleo de números índice en la cuantificación de impactos ambientales y sociales, se corresponde con el método de valuación contingente. El método de valuación contingente o *contingent valuation method (CVM)*, se desarrolla en cinco escenarios: el mercado hipotético; la obtención de posturas u ofertas (situación propia del ámbito del mercado de valores con los interjuegos inherentes al remate); la estimación de parámetros como medidas de tendencia central para WTP/WTAC; la estimación de curvas de posturas u ofertas y la agregación de los datos. En conexión con las estrategias de relevamiento por encuestas para valuación contingente, es pertinente preguntarse en qué medida las personas realmente actúan como declaran que lo harían cuando se simulan comportamientos en un mercado hipotético. Si las personas obran como dicen, entonces los valores económicos educidos o inferidos aplicando el CVM, son razonablemente fiables; caso contrario la subjetividad y los supuestos restan mérito a las mejores técnicas econométricas. La información disponible muestra una sobrevaluación de bienes y servicios ambientales, con relación a los valores obtenidos en mercados reales (Seip, K. and J. Strand, 1990).

10. 3. 11. 2. 4. - Conclusiones: se ha expresado que la valuación ajena o externa al mercado de los recursos ambientales emplea los intercambios explícitos e implícitos entre conservación y desarrollo, para asignarles un precio o valor monetario. Para derivar una teoría del valor económico basada en la elección racional, se emplean el conjunto de preferencias lógicamente ordenado, en materia de bienes y servicios; la función de utilidad que sirve de índice para el orden de preferencia y el superávit del consumidor. Si ocurre un cambio favorable en un aspecto ambiental, interesa conocer cuánto estaría dispuesta a pagar una persona para asegurar su persistencia. Esta disposición a pagar, refleja su valuación económica del servicio ambiental mejorado. Recíprocamente si el cambio la afecta negativamente, podría estar dispuesta a aceptar una compensación para permitir el deterioro. La disposición a pagar (*willingness to pay - WTP*) y la disposición a aceptar el pago (*willingness to accept - WTA*) representan las dos medidas generales del valor económico de un servicio ambiental. El empleo de números índice en la cuantificación de impactos ambientales y sociales, se corresponde con el método de valuación contingente. La información disponible muestra una sobrevaluación de bienes y servicios ambientales, con relación a los valores obtenidos en mercados reales.

10. 3. 12. - CÓDIGOS FUENTE EN LENGUAJE C DEL SISTEMA INFORMÁTICO DE CLASIFICACIÓN Y ORDENAMIENTO DE LOS ELEMENTOS OBJETO DE MODELIZACIÓN ESTRUCTURAL INTERPRETATIVA Y MENSAJES DE ERROR PARA EL USUARIO

10. 3. 12. 1. - Códigos Fuente en Lenguaje C :

```

/*
Programa   : mei101.c
Tarea     : 10. 3. 12. 1. 1. - Ingreso de Elementos
Autores   : J. G. Perera y J. H. Perera
*/

#include <systemas.h>
#include "mei.h"
#include "elemento.dch"
#include "mei101.pnh"

file fele;
screen p;
void formpat1(), formpat2();

program(me101, 1.0 01/03/04)
{
    int precond(), postcond(), i, nobaja, cmd;
    long nreg;
    char cadena1[MAXFORM], cadena2[FORMPATH];

    fele = openfile ("elemento", "u");
    p = openscreen("mei101", precond, postcond);

    while((cmd = sinput(rrp, p)) != CANCELE)
        switch(cmd) {
            case LECTURA :
                limpie(rp, rp.deslarga);
                ele.codigo = atol(rp.codigo);

                if ((nreg = readkey(fele, rele, "wf")) < 0) {
                    setmem(rele, sizeof(ele), 0);
                    p->status = nreg==LOCKED ? LOCKED : ALTA;
                    break;
                }

                strncpy(rp.deslarga, ele.deslarga, sizeof(rp.deslarga));
                strncpy(rp.descorta, ele.descorta, sizeof(rp.descorta));
                formpat1(ele.conjunto, LNULL, cadena1);
                formpat2(cadena1, cadena2);
                strncpy(rp.pathset, cadena2, sizeof(rp.pathset));
                break;

            case GRABACION :
                ele.codigo = atol(rp.codigo);
                strncpy(ele.deslarga, rp.deslarga, sizeof(ele.deslarga));
                strncpy(ele.descorta, rp.descorta, sizeof(ele.descorta));
                writekey(fele, rele);
                break;

            case BAJA :
                nobaja = 0;
                ele.codigo = atol(rp.codigo);
                for (i = 0; i < MAXPATH ; i++) {

```

```

                if (ele.conjunto[i] == 3) {
                    dspmsg(6);
                    input();
                    nobaja = 1;
                    break;
                }
            }
            if (!nobaja) delete(fele, rele);
            break;
        }
    }
}

int precondition(dato, nstp, n, m)
char *dato;
int nstp,n,m;
{
    switch (nstp) {
        case CODIGO :
            dato[0] = 0;
            break;
    }
    return 0;
}

int postcond(dato, nstp, n, m)
char *dato;
int nstp,n,m;
{
    switch (nstp) {
        case CODIGO :
            if (atoi(dato) == 0) {
                dspmsg(2);
                input();
                return ERROR;
            }
            break;
        case DESLARGA :
            if (dato[0] == 0) {
                dspmsg(1);
                input();
                return ERROR;
            }
            break;
    }
    return 0;
}

```

/*

Programa : mei102.c

Tarea : 10.3.12.1.2. - Consulta de Elementos

Autores : J. G. Perera y J. H. Perera

*/

```

#include <sisemas.h>
#include "mei.h"
#include "elemento.dch"
#include "mei102.pnh"

file fele;
struct elemento eleaux;
char *releaux = (char *)&eleaux;
long codele;
int i, j, nroelem[MAXPATH];
screen p;
extern FILE *printer;

```

```

extern int nlineas, pagina;
void formpat1(), formpat2();
void titulo(), cab(), linea(), ref();

program(me102, 1.0 01/03/04)
{
    int precond(), postcond(), cmd;
    char cadena1[MAXFORM], cadena2[FORMPATH];
    fele = openfile ("elemento", "r");
    p = openscreen("me102", precond, postcond);
    while((cmd = sinput(rrp, p)) != CANCELE)
        switch(cmd) {
            case LECTURA :
                limpie(rp, rp.nivel[0]);
                for (i = 0; i < MAXPATH; i++) nroelem[i] = 0;
                eleaux.codigo = 0;
                (void) findkey(fele, releaux, 0);
                while (readnext(fele, releaux, "wf") != ERROR) {
                    for (j=0; j < MAXPATH && ele.conjunto[j]; j++) {
                        if (compath(ele.conjunto,
                                    eleaux.conjunto, j+1))
                            nroelem[j]++;
                        else break;
                    }
                }
                strncpy(rp.deslarga,ele.deslarga,sizeof(rp.deslarga)-1);
                strncpy(rp.descorta,ele.descorta,sizeof(rp.descorta)-1);
                for (i = 0; i < NLINEAS && ele.conjunto[i]; i++) {
                    itoa(i+1, rp.nivel[i]);
                    rp.set[i][0] = lset(ele.conjunto[i]);
                    if (ele.elem part[i] == ele.codigo){
                        ltoa(ele.codigo, rp.elem part[i]);
                        strncpy(rp.despart[i], ele.deslarga,
                                sizeof(rp.despart[i])-1);
                    }
                    else {
                        ltoa(ele.elem part[i], rp.elem part[i]);
                        eleaux.codigo = ele.elem part[i];
                        if (readkey(fele, releaux, "wf") <= 0)
                            strncpy(rp.despart[i],
                                    "Elemento inexistente",
                                    sizeof(rp.despart[i])-1);
                        else
                            strncpy(rp.despart[i],
                                    eleaux.deslarga,
                                    sizeof(rp.despart[i])-1);
                    }
                    itoa(nroelem[i], rp.nroelem[i]);
                }
            }
            case GRABACION :
                printer = openlpr("");
                formpat1(ele.conjunto, ele.codigo, cadena1);
                formpat2(cadena1, cadena2);
                titulo(ele.codigo, ele.deslarga, ele.descorta, cadena2);
                for (i = 0; i < NLINEAS && ele.conjunto[i]; i++) {
                    if (i == 0) cab();
                    linea(atoi(rp.nivel[i]),
                        ((ele.conjunto[i]==1)?"N":
                         (ele.conjunto[i]==2)?"F":
                         (ele.conjunto[i]==3)?"P":
                         (ele.conjunto[i]==4)?"V":"D"),
                        atoi(rp.elem part[i]),

```

```

                rp.despart[i],
                atoi(rp.nroelem[i]));
            }
            ref();
            closelpr(printer);
            break;
        }
    }
}

int precondition(dato, nstp, n, m)
char *dato;
int nstp,n,m;
{
    switch(nstp) {
        case CODIGO :
            dato[0] = 0;
            break;
    }
    return 0;
}

int postcond(dato, nstp, n, m)
char *dato;
int nstp,n,m;
{
    int j;
    switch (nstp) {
        case CODIGO :
            if (dato[0] == 0) {
                dspmsg(2);
                input();
                return ERROR;
            }
            ele.codigo = atol(rp.codigo);
            if (readkey(fele, rele, "wf") <= 0) {
                dspmsg(4);
                input();
                return ERROR;
            }
            break;
    }
    return 0;
}
}
/*
Programa : mei103.c
Tarea : 10. 3. 12. 1. 3. - Partición de Conjuntos
Autores : J. G. Perera y J. H. Perera
*/
#include <sisemas.h>
#include "mei.h"
#include "elemento.dch"
#include "mei103.pnh"

file fele;
long codele;
int i;
short reaccion, conant, exispar;
short nivel, pathset[MAXPATH];
screen p;

program(me103, 1.0 01/03/04)
{
    int precondition(), postcond(), cmd;
    fele = openfile ("elemento", "r");
    p = openscreen("mei103", precondition, postcond);
}

```

```

while((cmd = sinput(rrp, p)) != CANCELE)
    switch(cmd) {
    case LECTURA :
        limpie(rp, rp.codigo[0]);
        exispar = 0;
        ele.codigo = 0;
        (void) findkey(fele, rele, 0);
        for (i = 0; readnext(fele, rele, "wf") != ERROR
            && i < NLINEAS; i++) {
            if (!compath(pathset, ele.conjunto, nivel)) {
                i--;
                continue;
            }
            if (i == 0 && ele.conjunto[nivel] != 0) {
                reaccion = 1;
                dspmsg(9);
                input();
            }
            ltoa(ele.codigo, rp.codigo[i]);
            strncpy(rp.deslar[i], ele.deslarga,
                sizeof(rp.deslar[i])-1);
            strncpy(rp.descor[i], ele.descorta,
                sizeof(rp.descor[i])-1);
            if (ele.conjunto[nivel])
                rp.conjunto[i][0] =
                    lset(ele.conjunto[nivel]);
            if (ele.conjunto[nivel] == 3)
                rp.aster[i][0] = '*';
            else
                rp.aster[i][0] = ' ';
        }
        if (rp.codigo[0][0] == 0) {
            dspmsg(3);
            input();
        }
        break;

    case GRABACION :
        if (reaccion) {
            dspmsg(8);
            input();
            break;
        }
        if (!lexispar) {
            dspmsg(14);
            input();
            break;
        }
        for (i = 0; rp.codigo[i][0] && i < NLINEAS; i++) {
            ele.codigo = atol(rp.codigo[i]);
            (void) readkey(fele, rele, "wf");
            ele.conjunto[nivel] = dset(rp.conjunto[i][0]);
            ele.elempart[nivel] = codele;
            writekey(fele, rele);
        }
        break;
    }
}

int precondition(dato, nstp, n, m)
char *dato;
int nstp, n, m;
{
    switch(nstp) {

```

```

    case PATHSET :
        dato[0] = 0;
        break;
    case CONJUNTO :
        conant = dset(dato[0]);
        break;
    }
    return 0;
}

int postcond(dato, nstp, n, m)
char *dato;
int nstp,n,m;
{
    int j;
    switch (nstp) {
    case PATHSET :
        for (j = 0; j < MAXPATH; j++) pathset[j] = 0;
        if (dato[0] == 0) {
            pathset[0] = nivel = 0;
            break;
        }
        /* Se verifica la consistencia del pathset. */
        for (j = 0; j < MAXPATH && dato[j]; j++) {
            if (!dset(dato[j])) {
                dspmsg(7);
                input();
                return ERROR;
            }
            if (dset(dato[j]) == 2 && dato[j+1]) {
                dspmsg(18); input(); return ERROR;
            }
        }
        for (j = 0; j < MAXPATH && dato[j]; j++)
            pathset[j] = dset(dato[j]);
        nivel = j;
        reaccion = 0;
        if (dset(dato[j-1]) == 2) {
            dspmsg(15); input(); return ERROR;
        }
        break;
    case CONJUNTO :
        if (!dset(dato[0])) {
            dspmsg(16); input(); return ERROR;
        }
        /* No se permite cambiar el tipo de conjunto si la particion ya
        existe.*/
        if (reaccion && dset(dato[0]) != conant) {
            dato[0] = lset(conant); return ERROR;
        }
        if (conant != 3 && dset(dato[0]) == 3) {
            if (!exispar) {
                exispar = 1;
                codele = atol(rp.codigo[m]);
                rp.aster[m][0] = '*';
            }
            else {
                dspmsg(5); input(); return ERROR;
            }
        }
        if (conant == 3 && dset(dato[0]) != 3) {
            exispar = 0;

```

```

        codele = 0l;
        rp.aster[m][0] = ' ';
    }
    break;
}
return 0;
}
}

/*
Programa   : mei104.c
Tarea     : 10. 3. 12. 1. 4. - Búsqueda de Conjuntos sin Particionar
Autores   : J. G. Perera y J. H. Perera
*/

#include <sisistemas.h>
#include "mei.h"
#include "elemento.dch"
#include "mei104.pnh"

file fele;
screen p;
struct tab {
    short pathset[MAXPATH];
    long nroelem;
} *tabla;
short set;
int i, eletab, nropath;
extern int nlineas, pagina;
extern FILE *printer;
void titulo(), linea();
void formpat1(), formpat2(), copipath();
void pantalla();

program(me104, 1.0 01/03/04)
{
    int precond(), postcond(), cmd;
    char cadena1[MAXFORM], cadena2[FORMPATH];
    short presente;

    fele = openfile ("elemento", "r");
    p = openscreen("mei104", precond, postcond);
    while((cmd = sinput(rrp, p)) != CANCELE)
        switch(cmd) {
            case LECTURA :
                limpie(rp, rp.pathset[0]);
                eletab = nropath = 0;
                tabla = (struct tab *)allocate((unsigned)filesize(fele),
                    (unsigned)sizeof(struct tab));

                if (tabla == NULL) {
                    dspmsg(11);
                    input();
                    break;
                }
                ele.codigo = 0l;
                (void) findkey(fele, rele, 0);
                while (readnext(fele, rele, "wf") != ERROR ) {
                    presente = 0;
                    if (!buscaset(ele.conjunto, set)) continue;
                    for (i = 0; tabla[i].pathset[0]; i++) {
                        if (compath(tabla[i].pathset,
                            ele.conjunto,MAXPATH)) {
                            tabla[i].nroelem++;
                            presente = 1;
                            break;
                        }
                    }
                }
            }
        }
}

```

```

        if (presente) continue;
        copipath(ele.conjunto, tabla[i].pathset);
        nropath++;
        tabla[i].nroelem++;
    }
    if (tabla[0].pathset[0] == 0) {
        dspmsg(17, (set == 1) ?
            "Nonfeedback" : (set == 2) ? "Feedback" : (set == 4) ?
            "Vacancy" : "Drop");

        input();
        break;
    }
    pantalla();
    break;
}
case GRABACION :
    printer = openlpr("");
    nlineas = 100;
    for (i = 0; tabla[i].pathset[0]; i++) {
        if (nlineas > 65)
            titulo (set == 1 ? "NONFEEDBACK" :
                set == 2 ? " FEEDBACK" :
                set == 4 ? " VACANCY" :
                " DROP");

        formpat1(tabla[i].pathset, LNULL, cadena1);
        formpat2(cadena1, cadena2);
        linea(cadena2, tabla[i].nroelem);
    }
    closelpr(printer);
    break;
}
}

int precondition(dato, nstp, n, m)
char *dato;
int nstp, n, m;
{
    switch(nstp) {
        case SET :
            dato[0] = 0;
            break;
    }
    return 0;
}

int postcond(dato, nstp, n, m, comando)
char *dato;
int nstp, n, m, *comando;
{
    switch (nstp) {
        case SET :
            if (!dset(dato[0]) || dset(dato[0]) == 3){
                dspmsg(16);
                input();
                return ERROR;
            }

            if (dset(dato[0]) == 2) {
                dspmsg(15);
                input();
                return ERROR;
            }

            set = dset(dato[0]);
            break;
    }
}

```

```

        case CONTROL :
            if (*comando == SIG) {
                if ((eletab+10) < nropath) {
                    eletab += 10;
                    pantalla();
                }
                else {
                    eletab = 0;
                    pantalla();
                }
            }
            if (*comando == ANT && (eletab-10) >= 0) {
                eletab -= 10;
                pantalla();
            }
            break;
        }
    }
    return 0;
}

void pantalla()
{
    int j;
    char cad1[MAXFORM], cad2[FORMPATH];
    for (j = 0; j < NLINEAS && eletab < nropath; j++) {
        formpat1(tabla[eletab].pathset, LNULL, cad1);
        formpat2(cad1, cad2);
        strncpy(rp.pathset[j], cad2, sizeof(rp.pathset[j]));
        ltoa(tabla[eletab].nroelem, rp.nroelem[j]);
        eletab++;
    }
    eletab -= j;
}

/*
Programa   : mei105.c
Tarea     : 10. 3. 12. 1. 5. - Consulta de Conjuntos Ordenados
Autores   : J. G. Perera y J. H. Perera
*/

#include <sisemas.h>
#include "mei.h"
#include "elemento.dch"
#include "mei105.pnh"

file fele;
struct tab {
    char nset[MAXFORM];
    long codigo;
} *tabla;
int i, eletab;
long nele;
short nivel, pathset[MAXPATH];
char path[FORMPATH];
extern int nlineas, pagina;
extern FILE *printer;
screen p;
void formpat1(), formpat2();
void titulo(), camino(), cab(), linea();
program(me105, 1.0 01/03/04)
{
    int precond(), postcond(), cmd, strcmp();
    char cadena1[MAXFORM], cadena2[FORMPATH];

    fele = openfile ("elemento", "r");
    p = openscreen("mei105", precond, postcond);
}

```

```

while((cmd = sinput(rrp, p)) != CANCELE)
    switch(cmd) {
    case LECTURA :
        limpie(rp, rp.orden[0]);
        eletab = 0;
        tabla = (struct tab *)allocate((unsigned)filesize(fele),
                                     (unsigned)sizeof(struct tab));

        if (tabla == NULL) {
            dspmsg(12);
            input();
            break;
        }
        ele.codigo = 0;
        (void) findkey(fele, rele, 0);
        for(nele = 0; readnext(fele, rele, "wf") != ERROR;
            nele++) {
            if (!compath(pathset, ele.conjunto, nivel)) {
                nele--;
                continue;
            }
            formpat1(ele.conjunto, ele.codigo,
                   tabla[nele].nset);
            tabla[nele].codigo = ele.codigo;
        }
        if (tabla[0].nset[0] == 0) {
            dspmsg(3);
            input();
            break;
        }
        qsort(tabla, (unsigned)nele, sizeof(tabla[0]), strcmp);
        pantalla();
        break;

    case GRABACION :
        printer = openlpr("");
        nlineas = 100;
        for (i = 0; i < nele; i++) {
            ele.codigo = tabla[i].codigo;
            (void) readkey(fele, rele, "wf");
            if (rp.pathset[0]) {
                formpat1(pathset, LNULL, cadena1);
                formpat2(cadena1, cadena2);
            }
            if (nlineas > LINPAG) {
                titulo();
                if (rp.pathset[0]) camino(cadena2);
                cab();
            }
            if (nlineas > LINPAG - 4) ref();
            formpat2(tabla[i].nset, path);
            linea(i+1, ele.codigo, ele.deslarga, path);
        }
        ref(); closelpr(printer); break;
    }
}

int precond(dato, nstp, n, m)
char *dato;
int nstp, n, m;
{
    switch(nstp) {
    case PATHSET :
        dato[0] = 0;
        break;
    }
    return 0;
}

```

```

int postcond(dato, nstp, n, m, comando)
char *dato;
int nstp, n, m, *comando;
{
    int j;
    switch (nstp) {
    case PATHSET :
        for (j = 0; j < MAXPATH; j++) pathset[j] = 0;
        if (dato[0] == 0) {
            pathset[0] = nivel = 0;
            break;
        }
        /* Se verifica la consistencia del pathset. */
        for (j = 0; j < MAXPATH && dato[j]; j++) {
            if (!dset(dato[j])) {
                dspmsg(7);
                input();
                return ERROR;
            }
            if (dset(dato[j]) == 2 && dato[j+1]) {
                dspmsg(18);
                input();
                return ERROR;
            }
        }
        for (j = 0; j < MAXPATH && dato[j]; j++)
            pathset[j] = dset(dato[j]);
        nivel = j;
        break;
    case CONTROL :
        if (*comando == SIG ) {
            if ((eletab+10) < nele) {
                eletab += 10;
                pantalla();
            }
            else {
                eletab = 0;
                pantalla();
            }
        }
        if (*comando == ANT && (eletab-10) >= 0) {
            eletab -= 10;
            pantalla();
        }
        break;
    }
    return 0;
}

pantalla()
{
    int j;
    limpie(rp, rp.orden[0]);

    for (j = 0; j < NLINEAS && eletab < nele; j++) {
        ele.codigo = tabla[eletab].codigo;
        (void) readkey(fele, rele, "wf");
        formpat2(tabla[eletab].nset, path);
        itoa(eletab+1, rp.orden[j]);
        ltoa(ele.codigo, rp.codigo[j]);
        strncpy(rp.deslarga[j], ele.deslarga, sizeof(rp.deslarga[j])-1);
        strncpy(rp.path[j], path, sizeof(rp.path[j]));
        eletab++;
    }
    eletab -= j;
}

```

```

}

/*
Programa   : mei106.c
Tarea     : 10.3.12.1.6. - Listado de los Elementos Ordenados
Autores   : J. G. Perera y J. H. Perera
*/

#include <sisemas.h>
#include "mei.h"
#include "elemento.dch"
#include "mei106.pnh"

file fele;
struct tab {
    char nset[MAXFORM];
    long codigo;
} *tabla;

int i;
long nreg;
extern int nlineas, pagina;
extern FILE *printer;
screen p;

void formpat1(), formpat2();
void titulo(), linea(), ref();
program(me106, 1.0 01/03/04)
{
    int cmd, strcmp();
    char pathset[FORMPATH];

    fele = openfile ("elemento", "r");
    p = openscreen("mei106", NULLFP, NULLFP);
    while((cmd = sinput(rrp, p)) != CANCELE)
        switch(cmd) {
            case IGNORE :
                stop();
            case GRABACION :
                printer = openlpr("");
                ele.codigo = 0;
                findkey(fele, rele, 0);
                nlineas = 100;
                tabla = (struct tab *)allocate((unsigned)filesize(fele),
                                                (unsigned)sizeof(struct tab));

                if (tabla == NULL) {
                    dspmsg(10);
                    input();
                    break;
                }
                for (nreg = 0; readnext(fele, rele, "wf") != ERROR;
                    nreg++) {
                    formpat1(ele.conjunto, ele.codigo,
                            tabla[nreg].nset);
                    tabla[nreg].codigo = ele.codigo;
                }
                qsort(tabla, (unsigned)nreg, sizeof(tabla[0]), strcmp);
                for (i = 0; i < nreg; i++) {
                    ele.codigo = tabla[i].codigo;
                    (void) readkey(fele, rele, "wf");
                    if (nlineas > LINPAG) titulo();
                    if (nlineas > LINPAG - 4) ref();
                    formpat2(tabla[i].nset, pathset);
                    linea(i+1, ele.codigo, ele.deslarga, pathset);
                }
                ref();

```

```

        closelpr(printer);
        stop();
        break;
    }
}

/*
Programa   : mei107.c
Tarea     : 10. 3. 12. 1. 7. - Depuración de Conjuntos
Autores   : J. G. Perera y J. H. Perera
*/

#include <sisistemas.h>
#include "mei.h"
#include "elemento.dch"
#include "mei107.pnh"
file fele;
int i;
short nivel, pathset[MAXPATH];
screen p;

program(me107, 1.0 01/03/04)
{
    int precond(), postcond(), cmd;
    fele = openfile ("elemento", "r");
    p = openscreen("mei107", precond, postcond);
    while((cmd = sinput(rrp, p)) != CANCELE)
        switch(cmd) {
            case IGNORE :
                stop();
            case GRABACION :
                if (rp.pathset[0] == 0) break;
                ele.codigo = 0;
                (void) findkey(fele, rele, 0);
                while(readnext(fele, rele, "wf") != ERROR) {
                    if (!compath(pathset, ele.conjunto, nivel))
                        continue;
                    for (i = nivel; i < MAXPATH; i++) {
                        ele.conjunto[i] = 0;
                        ele.elempart[i] = 0;
                    }
                    writekey(fele,rele);
                }
                stop();
                break;
        }
}

int precond(dato, nstp, n, m)
char *dato;
int nstp,n,m;
{
    switch(nstp) {
        case PATHSET :
            dato[0] = 0;
            break;
    }
    return 0;
}

int postcond(dato, nstp, n, m)
char *dato;
int nstp,n,m;
{
    int j;

```

```

switch (nstp) {
case PATHSET :
    for (j = 0; j < MAXPATH; j++) pathset[j] = 0;
    if (dato[0] == '*') {
        pathset[0] = nivel = 0;
        break;
    }
    /* Se verifica la consistencia del pathset. */
    for (j = 0; j < MAXPATH && dato[j]; j++) {
        if (!dset(dato[j])) {
            dspmsg(7);
            input();
            return ERROR;
        }
        if (dset(dato[j]) == 2 && dato[j+1]) {
            dspmsg(18);
            input();
            return ERROR;
        }
    }
    if (dset(dato[j-1]) == 2) {
        dspmsg(13);
        input();
        return ERROR;
    }
    for (j = 0; j < MAXPATH && dato[j]; j++)
        pathset[j] = dset(dato[j]);

    nivel = j;
    break;
}
return 0;
}

```

/*
Programa : meiset.c (librería)
Tarea : 10. 3. 12. 1. 8. - lset() - retorna el tipo de conjunto en letras; dset() - retorna el tipo de conjunto en dígitos;
 buscaset() - busca un conjunto dentro de una ubicación

Autores : J. G. Perera y J. H. Perera

*/

#include <sisistemas.h>

#include "mei.h"

char lset(digito)

int digito;

```

{
    if (digito == 1) return('n'); /* Nonfeedback Set */
    if (digito == 2) return('f'); /* Feedback Set */
    if (digito == 3) return('p'); /* Elemento de Particion */
    if (digito == 4) return('v'); /* Vacancy Set */
    if (digito == 5) return('d'); /* Drop Set */
    return(0);
}

```

int dset(letra)

char letra;

```

{
    if (letra == 'n' || letra == 'N') return(1); /* Nonfeedback Set */
    if (letra == 'f' || letra == 'F') return(2); /* Feedback Set */
    if (letra == 'p' || letra == 'P') return(3); /* Elemento de Particion */
    if (letra == 'v' || letra == 'V') return(4); /* Vacancy Set */
    if (letra == 'd' || letra == 'D') return(5); /* Drop Set */
    return(0);
}

```

int buscaset(pathset, set)

short *pathset, set;


```
int i;

for (i = 0; i < MAXPATH; i++)
    destino[i] = origen[i];
}

/*
Programa   : mei.h (archivo "header")
Tarea     : 10. 3. 12. 1. 10 - Definición de Constantes Generales
Autores   : J. G. Perera y J. H. Perera
*/

/* Cantidad de conjuntos en la ubicación de un elemento. */
#define MAXPATH 11

/* Número de dígitos para el código de los elementos. */
#define DIGITOS 3

/* Constantes para el formateo de la ubicación de los elementos y sus códigos. */
#define FORMAUX (MAXPATH + DIGITOS)
#define FORMPATH (MAXPATH * 2 - 1)
#define MAXFORM (FORMPATH + DIGITOS + 1)

/* Cero long. */
#define LNULL 0L

/* Líneas por página. */
#define LINPAG 65
```

10. 3. 12. 2. - Mensajes de Error para el Usuario:

- **Debe ingresarse la descripción del elemento.** Enter.

Explicación: En el campo de descripción del elemento debe ingresarse al menos un carácter.

Programa: Ingreso de Elementos.

- **Debe ingresarse un código válido.** Enter.

Explicación: En el campo actual de la pantalla se ha ingresado un dato con el que el sistema no puede operar.

Programas: Ingreso de Elementos; Consulta de Elementos.

- **Digitar Enter para dar de baja los datos. Otra tecla para cancelar.**

Explicación: Debe confirmarse la intención de dar de baja los datos. Presionando cualquier tecla distinta de Enter se detiene la operación.

Programa: Ingreso de Elementos.

- **El camino ingresado no existe.** Enter.

Explicación: El camino o "path" que se ingresó no es ninguno de los existentes hasta el momento.

Programas: Partición de Conjuntos; Consulta de Conjuntos Ordenados; Depuración de Con-juntos.

- **El código no existe.** Enter.

Explicación: El código de elemento no está cargado en el sistema.

Programa: Consulta de Elementos.

- **La partición existe. Las modificaciones no serán grabadas.** Enter.

Explicación: El sistema no permite alterar una partición. La única forma es depurando a partir del nivel inmediatamente anterior e ingresando nuevamente la información de todos los elementos.

Programa: Partición de Conjuntos.

- **El elemento de partición ya existe.** Enter.

Explicación: El operador ingresó un segundo elemento de partición. El campo actual no puede ser abandonado hasta que no se ingrese el conjunto crítico correspondiente.

Programa: Partición de Conjuntos.

- **El elemento es de partición. Hay que depurar antes de borrarlo.** Enter.

Explicación: El elemento no puede ser borrado porque es de partición en algún conjunto. Para hacerlo es necesario realizar una depuración de conjuntos a partir del nivel inmediatamente anterior a aquél donde el elemento es de partición.

Programa: Ingreso de Elementos.

- **Error en la notación.** Enter.

Explicación: Alguno de los caracteres ingresados en el camino o "path" actual no es reconocido por el sistema.

Programas: Partición de Conjuntos; Consulta de Conjuntos Ordenados; Depuración de Con-juntos.

- **La grabación no se efectúa.** Enter.

Explicación: Se intentó grabar a pesar de la advertencia dada en su momento por el sistema.

Programa: Partición de Conjuntos.

- **Memoria insuficiente para generar el listado.** Enter.

Explicación: El sistema no tiene la memoria suficiente como para contener una tabla de los elementos y realizar su ordenación para el listado.

Programa: Listado de los Elementos Ordenados.

- **Memoria insuficiente para hacer la búsqueda.** Enter.

Explicación: El sistema no tiene la memoria suficiente como para que el programa realice la búsqueda. La memoria no puede contener una tabla con todos los elementos almacenados.

Programa: Búsqueda de Conjuntos sin Particionar.

- **Memoria insuficiente para hacer la ordenación.** Enter.

Explicación: La memoria no alcanza para que el programa haga la ordenación de los elementos. No puede contener una tabla con los elementos almacenados en el sistema.

Programa: Consulta de Conjuntos Ordenados.

- **No es necesario depurar un conjunto Feedback.** Enter.

Explicación: El usuario ingresó un camino terminado en un conjunto "Feedback" para que se efectúe una depuración a partir del mismo. Como no existen particiones después de un conjunto "Feedback", la depuración no se lleva a cabo.

Programa: Depuración de Conjuntos.

- **No hay elemento de partición. La grabación no se efectúa.** Enter.

Explicación: No se ingresó el elemento de partición. En cada partición debe haber un elemento en base al cual se determinan los conjuntos críticos. La grabación no tiene lugar en estas condiciones.

Programa: Partición de Conjuntos.

- **No se puede particionar un conjunto Feedback.** Enter.

Explicación: El sistema no permite particionar conjuntos "Feedback".

Programa: Partición de Conjuntos.

- **Opción incorrecta.** Enter.

Explicación: El carácter ingresado no es reconocido por el sistema.

Programas: Partición de Conjuntos; Búsqueda de Conjuntos sin Particionar.

- **Todos los conjuntos Nonfeedback están particionados.** Enter.

- **Todos los conjuntos Vacancy están particionados.** Enter.

- **Todos los conjuntos Drop están particionados.** Enter.

Explicación: No existen caminos que terminen en el conjunto ingresado.

Programa: Búsqueda de Conjuntos sin Particionar.

- **Un conjunto Feedback no puede estar dentro de un camino.**Enter.

Explicación: El operador ingresó un camino o "path" dentro del cual se encuentra un conjunto "Feedback". Estos conjuntos sólo pueden figurar al final de un camino, ya que no existen particiones a partir de él.

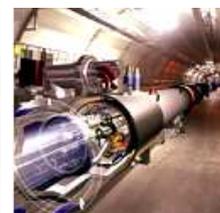
Programas: Partición de Conjuntos; Consulta de Conjuntos Ordenados; Depuración de Con-juntos.

10. 3. 13. - NOTAS SOBRE ALGUNOS ASPECTOS DE LA TEORÍA DE SUPERCUERDAS Y DEL MODELO ESTÁNDAR DE LA MATERIA

10. 3. 13. 1. - Presentación: la Teoría de Super Cuerdas sugiere que el Big Bang no fue el origen del Universo, sino el resultado de un estado preexistente (Veneziano, G., 2004). Filósofos; teólogos y científicos han debatido sobre la eternidad o la finitud del tiempo; ésto es, sobre si el Universo ha existido siempre o si tiene una génesis definida. La Teoría General de la Relatividad implica un comienzo en el Big Bang, si bien, deja de ser válida en la vecindad del Big Bang, donde prevalece la Mecánica Cuántica. La Teoría de Súper Cuerdas, aporta una teoría cuántica completa de la gravedad, introduciendo un quantum de longitud mínima como nueva constante de la Naturaleza, haciendo improbable la noción del Big Bang como instancia genética. Admite que éste ocurrió, no comportando un momento de infinita densidad y que el Universo le antecedió. Las simetrías de la Teoría de Súper Cuerdas sugieren que el tiempo no tuvo un comienzo y no tendrá un final. El Universo pudo comenzar casi vacío o bien ciclar entre nacimiento y muerte. En ambos casos, la etapa Pre-Bang habría contribuido al cosmos presente.

La Teoría de Súper Cuerdas propuesta por Gabriele Veneziano en el CERN¹, en 1968, intenta describir las interacciones entre las partículas del núcleo atómico. Sirve además, para combinar la Teoría General de la Relatividad con la Teoría Cuántica. La idea básica consiste en asimilar las partículas elementales a objetos unidimensionales finitos, llamados cuerdas, con dimensiones espaciales extra y donde las vibraciones se propagan con la velocidad de la luz. La longitud cuántica, irreducible de una cuerda es $l_s = 10^{-34}$ m y aún no teniendo masa, puede tener momento angular. Esta característica explica su capacidad de transportar las fuerzas fundamentales; el fotón para el electromagnetismo; el gravitón para la gravedad; etc.

¹ El Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire (CERN) o European Organization for Nuclear Research, fundado en 1954 a corta distancia de la Ciudad de Ginebra en Suiza, nuclea veinte Naciones (Miembros: Alemania; Austria; Bélgica; Bulgaria; Dinamarca; España; Finlandia; Francia; Grecia; Holanda; Hungría; Italia; Noruega; Polonia; Portugal; Reino Unido; República Checa; República Eslova; Suecia; Suiza. EE.UU.; India; Israel; Japón; Federación Rusa; Turquía; Comisión Europea y UNESCO, tienen jerarquía de observadores. La República Argentina como Estado No-Miembro, participa en diversos programas). Es el primer laboratorio mundial de investigación en Física de Partículas y ocupa unas 3000 personas (físicos; ingenieros; técnicos; artesanos; administrativos; operarios; etc.). Alrededor de 6500 científicos visitantes, la mitad del total de físicos de partículas, provenientes de 500 universidades ubicadas en 80 países, participan de los programas del CERN, donde se investiga sobre la naturaleza de la materia y de las fuerzas que la mantienen cohesionada. Ver: <http://www.cern.ch/>.



La organización del CERN, responde a necesidades específicas de la comunidad científica; el Consejo es su autoridad máxima y tiene la responsabilidad final en conexión con todas las decisiones importantes; controla el Centro en materia científica; técnica y administrativa. Es asistido por el Comité de Política Científica y el Comité de Finanzas. El Director General, es designado por el Consejo; conduce el CERN, estando autorizado a actuar en su nombre; es acompañado por un Directorio y ordena la marcha de los trabajos, mediante una estructura de Departamentos. Uno de los aportes colaterales del CERN, fue la World Wide Web, desarrollada en 1989 por Tim Berners-Lee, para optimizar los tiempos de comunicación entre físicos de diferentes universidades e institutos de todo el Planeta. Hoy la Web cuenta con millones de usuarios dedicados a actividades académicas o comerciales.

Las preguntas ¿de dónde venimos?; ¿quiénes somos? y ¿hacia dónde vamos?, ligadas al origen, identidad y destino de cada ser humano individual, se vinculan con similares interrogantes referidos al cosmos. ¿Es éste, tan efímero como nosotros? Aristóteles sostenía que a partir de la nada, nada se genera, consiguientemente, el Universo debió existir siempre y el tiempo extenderse eternamente, hacia el pasado y hacia el futuro. La Teología Cristiana, según expresa San Agustín, concibe la existencia de Dios, fuera del tiempo y del espacio o del espacio-tiempo; Dios es omnipotente para materializarlos, como a cualquier otra entidad universal. A la pregunta de cuál era el quehacer divino, previo a la Creación, respondió que siendo el tiempo parte de la creación, no hubo un antes. La Teoría General de la Relatividad, conduce a la misma conclusión, siendo además, el espacio-tiempo, maleable; ésto es, dinámico en grandes escalas.

En 1960 Stephen Hawking y Roger Penrose, probaron que el tiempo no puede extenderse infinitamente hacia el pasado. Si se retrocede temporalmente, afirmaron, las galaxias se funden en un punto infinitesimal o singularidad, como si cayeran en un agujero negro. En esta situación la densidad; la temperatura y la curvatura del espacio-tiempo se hacen infinitas. Sin embargo, el alto grado de homogeneidad e isotropía que el Universo exhibe a gran escala, respalda la hipótesis de que el Universo inicial, fuera mucho más reducido o bien más antiguo que lo que postula la Cosmología estándar. De este modo, las estructuras precursoras de las galaxias coordinaron sus propiedades. Según Einstein, la curvatura media del Universo está ligada a su densidad media, por ello, la geometría, se asocia a su destino. El Universo de alta densidad, es curvado positivamente como una superficie esférica; el Universo de baja densidad es negativamente curvado, como en el paraboloides hiperbólico (silla de montar) y el Universo de densidad crítica, es espacialmente plano (Krauss, L. M. and M. S. Turner, 2004).

Desde que Einstein concibió en 1917 el término cosmológico para contrarrestar la gravedad, permitiéndole construir un modelo teórico del Universo estático y finito, ha sido descartado, adaptado y revalorizado. Contemporáneamente, el cosmólogo holandés Willem de Sitter, empleando un término cosmológico, propuso otro modelo, con expansión acelerada. En 1922 el físico ruso Alexander Friedman, construyó modelos de Universos en expansión y en contracción, prescindiendo del término cosmológico. Como se ha anotado, en 1929 el astrónomo estadounidense Edwin Hubble, descubrió que el Universo está en expansión, induciendo a Albert Einstein a abandonar su término cosmológico. En 1967 el físico ruso Yakov Borisovich Zel'dovich, estimó la densidad de energía del vacío cuántico, encontrando que daría lugar a un término cosmológico exageradamente grande. En 1998 dos equipos de cazadores de Supernovas, encabezados por Saul Perlmutter y por Brian Schmidt, informaron que la expansión cósmica es acelerada, atribuyendo el efecto a un término cosmológico adecuado, representante de la densidad energética o *dark energy*, invariante con la expansión del Universo.

El núcleo de la Teoría General de la Relatividad, reside en la ecuación de campo, que establece que la geometría del espacio-tiempo, expresada por el tensor de curvatura de Einstein, $G_{\mu\nu}$, está determinada por la distribución de materia y energía, dada por el tensor de tensiones-energía $T_{\mu\nu}$. Siendo G la constante gravitacional de Newton, se tiene que la materia y la energía, determinan la curvatura del espacio:

$$G_{\mu\nu} = 8 \pi G T_{\mu\nu} .$$

Para crear un modelo de Universo estático, Einstein introdujo el ya mencionado término cosmológico Λ para contrarrestar la atracción de la gravedad en escala cósmica. Agregó, en el miembro de la izquierda, Λ multiplicado por el tensor del espacio-tiempo métrico, que define las distancias, $g_{\mu\nu}$, considerándolo una propiedad del espacio mismo:

$$G_{\mu\nu} + \Lambda g_{\mu\nu} = 8 \pi G T_{\mu\nu} .$$

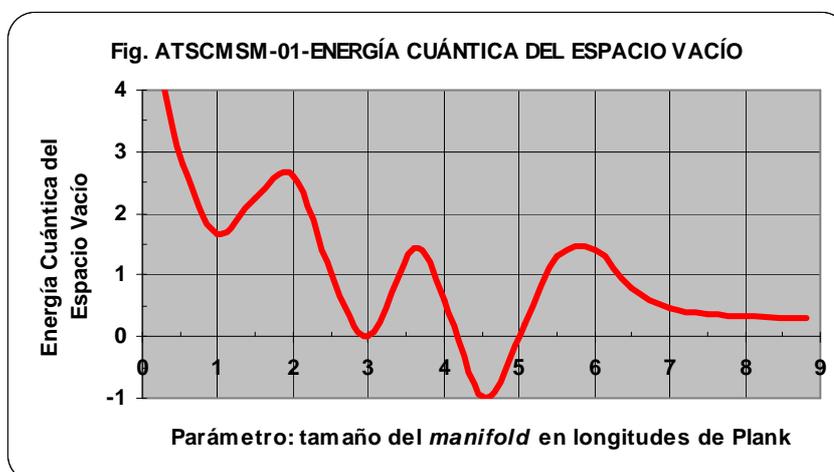
Einstein abandonó el término cosmológico, al conocer la expansión del Universo, tal como se expresó precedentemente. La Teoría Cuántica, postula que el espacio vacío, puede poseer una reducida densidad energética; por ello el término ρ_{VAC} , que es la densidad de energía del vacío, multiplicado por $g_{\mu\nu}$, se agrega al miembro derecho de la ecuación de campo:

$$G_{\mu\nu} = 8 \pi G (T_{\mu\nu} + \rho_{VAC} g_{\mu\nu}).$$

A pesar de la equivalencia matemática entre Λ y ρ_{VAC} , son conceptualmente distintos; el primero es una propiedad del espacio y el segundo, una forma de energía generada por los pares virtuales de partículas-antipartículas del vacío cuántico.

La Teoría de Súper Cuerdas predice que el Universo podría ocupar aleatoriamente, un valle, de una selección virtualmente infinita de valles, en un vasto paisaje de posibilidades. Este paisaje teórico, poblado por un arreglo de innumerables posibles Universos, tendría tal vez, 10^{500} valles, cada uno sujeto a un conjunto de leyes físicas que pueden operar en dilatadas burbujas de espacio. Nuestro Universo visible, sería una región relativamente pequeña dentro de una de las burbujas. De acuerdo con la Teoría de Súper Cuerdas, las leyes físicas que operan en nuestro mundo, dependen de cómo las dimensiones extra del espacio, están curvadas o enrolladas en pequeños haces.

Todo cuerpo masivo deja su impronta sobre el espacio-tiempo. La curvatura del espacio-tiempo, mantiene a la tierra en su órbita alrededor del sol y provoca el alejamiento de las galaxias lejanas. Lo expresado equivale a reemplazar la fuerza gravitacional por la dinámica del espacio-tiempo, lo que constituye un modelo geométrico. La Teoría de Super Cuerdas unifica la Mecánica Cuántica; la Teoría General de la Relatividad y la Física de Partículas, donde las leyes físicas, dependen de la geometría de las dimensiones extra, ocultas. Las soluciones de las ecuaciones de la Teoría de Super Cuerdas, representan configuraciones específicas del espacio y del tiempo, especificando arreglos de las pequeñas dimensiones, con sus *branes* asociadas y sus líneas de fuerza o líneas de flujo. Aceptando la existencia de seis dimensiones extra, se tiene que cada punto del espacio observable, oculta un espacio hexa-dimensional, múltiple o *manifold*, el que determina con su tamaño y estructura (número de asas o superficies tóricas asociadas; parámetros geométricos de éstas; número y localización de las *branes* y número de líneas de flujo enrolladas en cada asa con forma de *doughnut*), las leyes físicas que gobiernan los procesos visibles. Emerge un paisaje cuando la energía de cada posible solución, se grafica como función de los parámetros que definen el correspondiente múltiple hexa-dimensional. Si sólo un parámetro varía; el tamaño del múltiple por ejemplo, se tiene un sistema bidimensional, con la energía en función del parámetro, tamaño (ver Fig. ATSCMSM - 01).



El múltiple, tenderá a ajustar su tamaño para ubicarse en uno de los tres mínimos. Puede también escapar hacia el infinito, si supera el máximo local de la derecha. El verdadero paisaje de la Teoría de Super Cuerdas, considera todos los parámetros, generando así, una topografía multidimensional, donde la energía contenida en el espacio vacío, es la variable dependiente. El múltiple de dimensiones extra, desliza hacia el fondo de una depresión o mínimo local, que es una solución estable o vacío estable; los efectos cuánticos pueden hacer que el múltiple cambie abruptamente de estado, el que se mueve hacia una depresión o valle más bajo, próximo, y así siguiendo. Diferentes regiones del Universo, recorren aleatoriamente, trayectorias distintas.

10. 3. 13. 2. - Burbujas de Realidad: según Raphael Bousso y Joseph Polchinski, la posibilidad de decaer de un vacío estable a otro, plantea una nueva visión de nuestro Universo en las escalas mayores. El deslizar o *tunneling* de un vacío estable a otro, no ocurriría en todas partes del Universo, simultáneamente, sino aleatoriamente en una localización, provocando una burbuja espacial expansiva. La nueva región emerge cuando decaen las líneas de flujo del múltiple de dimensiones extra. Se tienen entonces, dos regiones con diferentes clases de partículas; fuerzas y leyes físicas. La nueva región, crece rápidamente, alcanzando un diámetro de miles de millones de años luz. Este proceso se repetiría, generando internamente, una tercera región que no alcanzaría a la anterior, la que tampoco ocuparía totalmente la primera o vacío original.

Como el efecto cuántico de *tunneling* es un proceso aleatorio, localizaciones con gran separación, decaerían con diferentes secuencias, explorándose todas las posibilidades y ocurriendo todos los estados de vacío estables, en numerosos lugares del Universo. Éste, es como una espuma de burbujas que se expanden, dentro de burbujas, cada una con sus propias leyes físicas. Un número muy reducido de burbujas, es adecuado para la formación de estructuras complejas, tales como las galaxias y la vida. Nuestro Universo visible, de un diámetro superior a los veinte mil millones de años luz, sería una región relativamente pequeña, dentro de una de las mencionadas burbujas.

10. 3. 13. 3. - El Actual Modelo Estándar de la Materia: reconoce doce partículas materiales pertenecientes a dos familias; los *quarks*, que son seis; *up/down*; *charm/strange* y *top/bottom* y los *leptons*; tres con carga y masa: electrón o e^- ; muón o μ y tau o τ y tres neutros, con muy pequeña masa: electrón-neutrino o ν_e ; muón-neutrino o ν_μ y tau-neutrino o ν_τ . También incluye cuatro partículas (*bosons*) que vehiculizan las fuerzas fundamentales. El modelo estándar contempla tres tipos de interacciones; fuerte o *gluon*; débil o w, z *bosons* y electromagnética o *photon*. La cuarta fuerza fundamental, la gravedad, no está por ahora, incluida en el modelo. La energía que puede concentrarse en un acelerador, permite generar partículas, tal como ocurrió durante el Big Bang. El estudio de la colisión entre partículas, equivale a una mirada retrospectiva, hacia los orígenes del Universo.

Un acelerador consiste en una cámara de vacío, rodeada de una secuencia de bombas de vacío; magnetos o electroimanes; cavidades de radio-frecuencia; instrumentos para alta tensión y circuitos electrónicos. La cámara de vacío es un tubo metálico del que se extrae aire permanentemente, para asegurar la más baja presión residual. Dentro del tubo, las partículas son aceleradas mediante campos eléctricos. Amplificadores de potencia generan intensas ondas de radio, que son inyectadas en las cavidades de radio-frecuencia, las que actúan como estructuras resonantes. Cada vez que las partículas atraviesan una cavidad de radio-frecuencia, absorben parte de la energía de la onda de radio y se aceleran, alcanzando finalmente, velocidades próximas a la de la luz.

A muy altas energías, del orden de 10^9 de las aplicadas en los aceleradores actuales, las fuerzas electromagnética; débil y fuerte, son indistinguibles. Esta situación debió producirse en el comienzo del Universo, 10^{-34} segundos después del Big Bang. En los puntos de colisión entre partículas, en los aceleradores, se instalan detectores que permiten identificar sus componentes e interacciones y también registrar la creación de nuevas partículas. La investigación de los constituyentes de la materia, se hace a niveles subatómicos, del orden de los femtometros o 10^{-15} m; por ello, se requiere que la longitud de onda de la sonda, sea extremadamente pequeña o lo que es equivalente, que su frecuencia de oscilación, directamente proporcional a la energía que se le suministra, sea sumamente elevada. Ésto sostiene la afirmación, que conforme son más pequeños los detalles a observar, mayor es la energía y el equipamiento necesarios.

Para hacer más eficiente el uso de un número limitado de cavidades de radio-frecuencia, el haz de partículas, las recorre varias veces, merced a un diseño de lazo cerrado del acelerador; éste en el caso del *Large Electron-Positron Collider* o LEP o del *Large Hadron Collider* o LHC, hoy en construcción, es de planta aproximadamente circular. El haz es curvado por efecto del campo magnético al que se lo somete, generado por magnetos bipolares. La fuerza magnética es ejercida sobre las partículas cargadas, de manera perpendicular a su vector de velocidad. A mayor energía en las partículas, más intenso es el campo necesario para curvar su trayectoria. Para enfocar el haz, se emplean electroimanes tetrapolares o cuadrupolos. La Fig. ATSCMSM - 02 muestra el complejo de aceleradores del CERN.

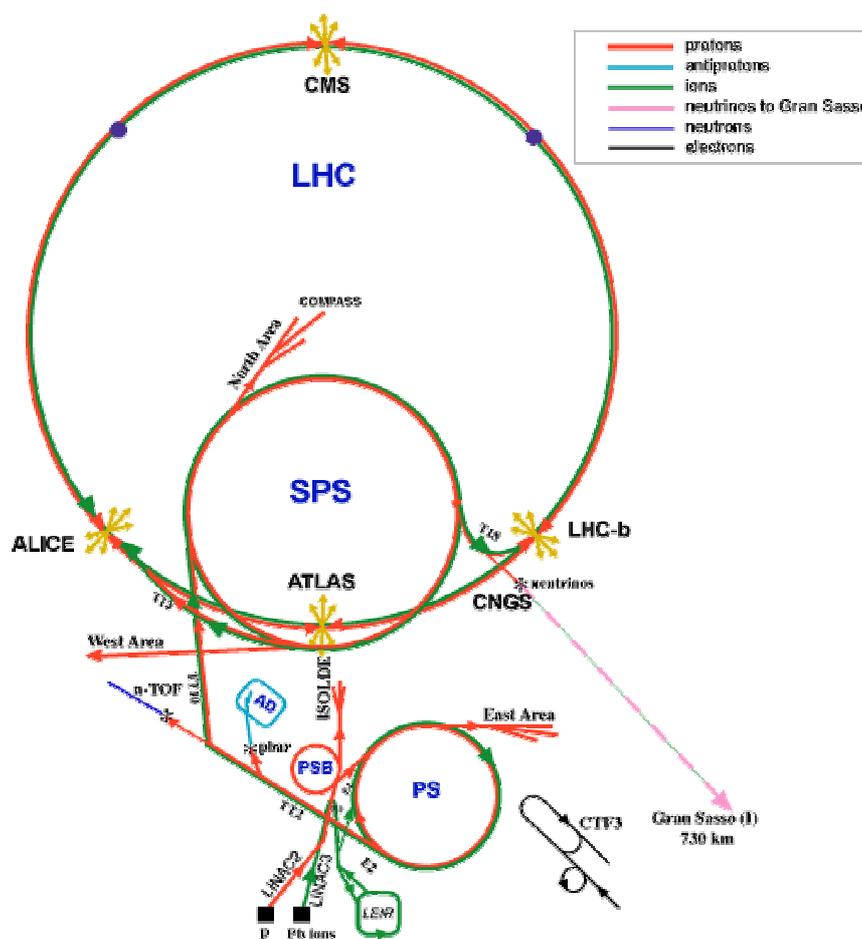


Fig. ATSCMSM - 02 - COMPLEJO DE ACCELERADORES DEL CERN

La colisión entre partículas, se hace con dos propósitos principales; conocer que contienen y emplear la energía proveniente de la colisión, en la creación de nuevas partículas. Por cada evento de colisión, los sensores o detectores de partículas, hacen el recuento; trazan las trayectorias y caracterizan las partículas producidas, en función de su carga; masa y energía. Las cámaras de seguimiento o *tracking chambers*, hacen indirectamente visibles las trayectorias. Si el detector se ubica en un campo magnético, las partículas con carga eléctrica, se desvían según sea su signo; las dotadas de mayor momento o cantidad de movimiento, viajan según trayectorias rectilíneas y las de menor momento, describen movimientos helicoidales. Asociados con los dispositivos de seguimiento, los calorímetros, detienen y absorben la energía de las partículas. Sólo escapan los muones que son detectados por sensores externos al calorímetro y los neutrinos que no dejan huellas. Su presencia se evalúa mediante un balance o diferencia entre las energías inicial y final del evento. Ver Fig. ATSCMSM - 03.

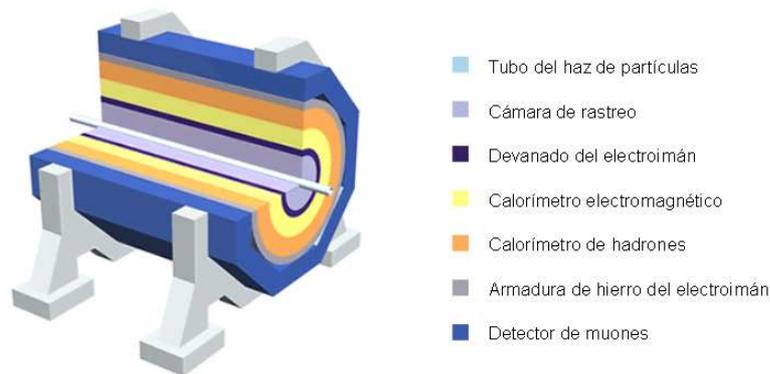


Fig. ATSCMSM - 03 - ESQUEMA DE UN DETECTOR DE PARTÍCULAS

10. 4. - ASPECTOS BIOLÓGICOS

10. 4. 2. - CLAVE TENTATIVA DE ESPECIES DE MICROALGAS

1. Organismos sin núcleo verdadero ni plastos	2
1. Organismos con núcleo verdadero y plastos	8
2. Formas solitarias, coloniales o filamentosas, pero sin formación de hormogonios	3
2. Formas filamentosas, con formación de hormogonios	4
3. Colonias en forma de placa	<i>Merismopedia glauca</i>
3. Colonias esféricas o de forma variada, pero no como placa	<i>Microcystis aeruginosa</i>
4. Formas con heterocistos	<i>Anabaena flos-aquae</i>
4. Formas sin heterocistos	5
5. Formas sin vaina	6
5. Formas con vaina	7
6. Tricomas de hasta 10 µm de ancho, extremo curvo	<i>Oscillatoria chalybae</i>
6. Tricomas de más de 10 µm de ancho, extremo recto	<i>Oscillatoria princeps</i>
7. Tricomas constrictos	<i>Lingbia foveolarum</i>
7. Tricomas no constrictos	<i>Lyngbia limnetica</i>
8. Formas unicelulares, flageladas, con teca formada por placas	<i>Peridinium sp</i>
8. Formas sin teca formada por placas	9
9. Formas unicelulares, flageladas con cauda y sustancia de reserva paramilón	10
9. Tipos morfológicos variados, sustancia de reserva almidón, crisolaminaria o almidón de las florídeas	11
10. Células aplanadas	<i>Phacus longicauda</i>
10. Células de sección circular	<i>Euglena acus</i>
11. Organismos que presentan como sustancia de reserva almidón	12
11. Organismos que presentan sustancia de reserva distinta al almidón	36
12. Formas unicelulares o coloniales flageladas	13
12. Formas unicelulares coloniales inmóviles o formas filamentosas	16
13. Formas unicelulares	<i>Chlamydomonas globosa</i>
13. Formas coloniales	14
14. Células en forma de cuña, presionadas una contra otra	<i>Pandorina morum</i>
14. Células esféricas, distantes unas de otras	15
15. Colonias de hasta 32 células	<i>Eudorina elegans</i>
15. Colonias de varios cientos a miles de células	<i>Volvox tertius</i>
16. Formas unicelulares o coloniales	17
16. Formas filamentosas	25
17. Formas solitarias	18
17. Células reunidas en colonias	20
18. Reproducción sexual por conjugación	29
18. Sin reproducción sexual por conjugación	19
19. Formas solitarias sin mucílago	<i>Monoraphidium pusillum</i>
19. Formas solitarias con mucílago	<i>Planktosphaeria gelatinosa</i>
20. Células no reunidas por mucílago	21
20. Células reunidas por mucílago	24
21. Colonias informes	<i>Oocystis solitaria</i>
21. Células reunidas en colonias o cenobios	22
22. Células esféricas	<i>Coelastrum cambricum</i>
22. Células de otra forma	23
23. Células agrupadas linealmente formando una colonia plana	<i>Scenedesmus quadricauda</i>
23. Células reunidas en cenobios circulares, planos	<i>Pediastrum borianum</i>
24. Colonias informes	<i>Botriococcus brunii</i>
24. Colonias esféricas	<i>Sphaerocystis Schroeteri</i>
25. Filamentos con bandas de crecimiento o calotas	<i>Oedogonium sp.</i>
25. Filamentos sin bandas de crecimiento	26
26. Células con plasto reticulado y numerosos núcleos	<i>Cladophora sp.</i>
26. Células con cloroplasto espiralado y uninucleadas	27
27. Un cloroplasto por célula	28
27. Dos cloroplastos por célula	<i>Spirogyra sp. 2</i>
28. Células de hasta 10 µm de ancho	<i>Spirogyra sp. 1</i>
28. Células de más de 10 µm de ancho	<i>Spirogyra sp. 3</i>
29. Células con constricción media	<i>Cosmarium sp.</i>
29. Células sin constricción media	30
30. Células con numerosos pirenoides dispuestos en forma desordenada	<i>Clotterium pritchardianum</i>
30. Células con pirenoides alineados	31
31. Células arqueadas	32
31. Células poco arqueadas o rectas	34
32. Células delgadas de no más de 3 µm de largo, 18 veces más largas que anchas	<i>Closterium acutum</i> var. <i>variabile</i>

32. Células de más de 6 µm de ancho	33
33. Células de hasta 80 µm de largo	<i>Closterium venus</i>
33. Células de más de 100 µm de largo.....	<i>Closterium moniliferum</i> var. <i>concauum</i>
34. Células grandes, de más de 540 µm de largo, membrana débilmente punteada	<i>Closterium acerossium</i> var. <i>elongatum</i>
34. Células de menos de 540 µm de largo, membrana lisa.....	35
35. Células de no más de 60 µm de ancho, vacuolas con numerosos cristales.....	<i>Closterium acerosum</i>
35. Células de más de 60 µm de ancho, vacuolas con no más de 10 cristales.....	<i>Closterium lanceolatum</i>
36. Organismos que presentan como sustancia de reserva crisolaminarina. Algas pardas, amarillentas o doradas.....	37
36. Organismos que presentan como sustancia de reserva almidón de las florideas. Algas azul verdosas o rojizas	Estado <i>Chantransia</i>
37. Células rodeadas por una pared silíceo bivalva.....	38
37. Células sin pared silíceo bivalva	quistes de <i>Chrysophyceae</i>
38. Formas con valva alargada, contorno elíptico lanceolato y la mayoría de las veces con simetría bilateral.....	43
38. Formas con valva circular, la mayoría de las veces de simetría radiada	39
39. Diatomeas elípticas con pocos sulcos	<i>Pleurosira lavis</i>
39. Diatomeas circulares.....	40
40. Valvas lisas sobre toda la superficie	<i>Melosira varians</i>
40. Valvas ornamentadas.....	41
41. Células con espinas, unidas en largas cadenas	<i>Aulacoseria granulata</i>
41. Células aisladas.....	42
42. Valvas sin ombligo	<i>Cyclotella meneghiniana</i>
42. Valvas con ombligo	<i>Hyalodiscus</i> sp.
43. Valvas desprovistas de rafe.....	43
43. Valvas con rafe o pseudorafe.....	47
44. Valvas elípticas lanceolatas con bandas transversales relativamente delgadas	<i>Diatoma vulgare</i>
44. Valvas lineares lanceolatas sin bandas.....	45
45. Frústulos curvos en forma de banana, de a uno o en ramilletes en cadenas	<i>Fragilaria arcus</i>
45. Frústulos rectos.....	46
46. Frústulos la mayoría de las veces mayores a 50 µm. Área central variable, en general completa, a veces puede faltar... <i>Fragilaria ulna</i>	
46. Frústulos la mayoría de las veces menores de 40 µm. Área central desarrollada hacia una mitad de la valva	<i>Fragilaria capuchina</i>
47. Rafe fuertemente reducido y localizado en el extremo de la valva	<i>Eunotia pectinales</i>
47. Rafe normalmente desarrollado	48
48. Frústulos con las dos valvas con estructura diferente, una con rafe y la otra con pseudorafe	<i>Cocconeis placentula</i> var. <i>eulypta</i>
48. Frústulos con valvas idénticas, con un rafe verdadero bien desarrollado.....	49
49. Rafe medio que recorre todo el eje de la valva. Sin canal rafidiano.....	50
49. Canal rafidiano, atravesado sobre el lado interno por una serie de poros regularmente dispuestos.....	79
50. Rafe en forma de S	51
50. Rafe rectilíneo.....	55
51. Rafe en una carena saliente, vista conectiva en forma de 8.....	<i>Entomoneis alata</i>
51. Rafe sin carena, vista conectiva no en forma de 8	53
52. Valvas con dos series de estrías perpendiculares entre sí.....	54
52. Valvas con tres series de estrías.....	<i>Pleurosigma salinarum</i>
53. Valvas más cortas que 200 µm.....	54
53. Valvas más largas que 200 µm.....	<i>Gyrosigma strigilis</i>
54. Estrías longitudinales y transversales casi igualmente separadas.....	<i>Gyrosigma acuminatum</i>
54. Estrías transversales más separadas que las longitudinales	<i>Gyrosigma scalproide</i>
55. Valvas isopolares.....	56
55. Valvas heteropolares.....	70
56. Rafe encuadrado por dos líneas paralelas	57
56. Rafe no encuadrado por dos líneas paralelas.....	58
57. Líneas paralelas del rafe sólo en los polos	<i>Amphipleura linheimerii</i>
57. Líneas paralelas del rafe extendidas a todo lo largo	<i>Diploneis boldtiana</i>
58. Líneas paralelas en los bordes de la valva.....	59
58. Sin líneas paralelas en los bordes de las valvas.....	63
59. Alvéolas cerradas al menos en el área media de la valva, a veces punteadas.....	<i>Caloneis westii</i>
59. Alvéolas abiertas o cerradas, lisas.....	60
60. Rafe poco lateral, pequeñas a grandes formas	61
60. Rafe fuertemente lateral, grandes formas.....	62
61. Valvas con extremos capitados de hasta 70 µm de largo	<i>Pinnularia giba</i> var. <i>parva</i>
61. Valvas con extremos poco capitados de más de 70 µm de largo.....	<i>Pinnularia giba</i>
62. Los extremos de la valva se enangostan paulatinamente, con más de 5 estrías en 10 µm	<i>Pinnularia viridis</i>
62. Los extremos de la valva casi no se enangostan, trunco-redondeados, con menos de 5 estrías en 10 µm	<i>Pinnularia dactylus</i>
63. Valvas de hasta 40 µm de largo	64
63. Valvas de más de 40 µm de largo	66
64. Nódulos polares llamativamente expandidos	<i>Navicula pupula</i>
64. Nódulos polares no expandidos	65
65. Valvas lanceoladas con extremos prolongados	<i>Navicula capitatoradiata</i>
65. Valvas elípticas-lanceoladas, con extremos no prolongados.....	<i>Navicula recens</i>
66. Estrías paralelas	67

66. Estrías radiales	68
67. Valvas de hasta 90 µm de largo.....	<i>Navicula cuspidata</i>
67. Valvas de más de 100 µm de largo.....	<i>Navicula perrotetti</i>
68. Área central ensanchada transversalmente con 1 estigma de un lado y 2-3 pequeños puntos del otro.....	<i>Navicula moviliensis</i> var. <i>intermedia</i>
68. Sin estigma ni puntos en el área central	69
69. Valvas de hasta 60 µm de largo y 9 µm de ancho. Estrías 11-13 en 10 µm sin lineolas fuertes.....	<i>Navicula tripunctata</i> var. <i>schizonemoides</i>
69. Valvas de más de 60 µm de largo y 9 µm de ancho. Estrías 5-7 en 10 µm con lineolas fuertes	<i>Navicula peregrina</i>
70. Valvas isopolares respecto al eje apical y heteropolares respecto al eje transapical.....	71
70. Valvas heteropolares respecto al eje apical e iopolares respecto al eje transapical.....	75
71. Manto de la valva del lado dorsal un poco más ancho que del lado ventral	72
71. Manto de la valva del lado dorsal mucho más ancho que el lado ventral	<i>Amphora libyca</i>
72. Formas naviculares, medianamente dorsiventrales	<i>Cymbella sinuata</i>
72. Valvas claramente dorsiventrales.....	73
73. Más de 20 puntos en 10 µm.....	<i>Cymbella affinis</i>
73. Menos de 20 puntos en 10 µm.....	74
74. Extremos rostrados y valvas de más de 14 µm de ancho.....	<i>Cymbella tumida</i>
74. Extremos no rostrados y valvas de no más de 14 µm de ancho.....	<i>Cymbella cymbiformis</i>
75. Sólo una valva con rafe bien desarrollado.....	<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>
75. Ambas valvas con rafe bien desarrollado.....	76
76. Zona más ancha de la valva cercana al extremo anterior.....	77
76. Zona más ancha de la valva cercana al extremo de la valva, o valvas casi lineares.....	<i>Gomphonema</i> sp.
77. Extremo anterior anchamente redondeado	78
77. Extremo anterior alargado, más o menos agudo redondeado	<i>Gomphonema parvulum</i>
78. Valvas bajo el extremo anterior fuertemente constrictas, con extremo posterior alargado, enangostado	<i>Gomphonema constrictum</i>
78. Valvas típicamente en forma de clava, débilmente constrictas.....	<i>Gomphonema constrictum</i> var. <i>capitatum</i>
79. Valvas ornamentadas por costillas marcadas, separadas por estrías finas o aréolas	80
79. Valvas en general con ornamentación homogénea	83
80. Valvas fusiformes o lanceoladas	<i>Denticula kuetzingii</i>
80. Valvas curvadas	81
81. Con fuertes costas transversales y dos tabiques perforados paralelos a la valva, rafe en forma de V abierta	<i>Epithemia adnata</i>
81. Costas transversales menos acentuadas, sin tabiques paralelos ala valva	82
82. Valva en forma de paréntesis, los extremos ventralmente curvados y punteagudo redondeados.....	<i>Rhopalodia giba</i>
82. Valva con el lado ventral cóncavo en forma de medialuna	<i>Rhopalodia gibberula</i>
83. Canal rafidiano medio o marginal	84
83. Canal rafidiano rodeando enteramente la valva.....	91
84. Rafe situado en dos ángulos consecutivos.....	<i>Hantzschia amphioxis</i>
84. Rafe situado en dos ángulos diametralmente opuestos.....	85
85. Frústulos en vista cingular y valvar sigmoideo	<i>Nitzschia sigmoidea</i>
85. Frústulos no sigmoideos en vista valvar.....	86
86. Valvas anchamente lineares elípticas, con extremos en forma de cuña, trunco redondeados	<i>Levidensis</i> sp.
86. Valvas lineares, lineares lanceoladas, con extremos enangostados	87
87. Valvas de no más de 140 µm de largo.....	88
87. Valvas muy grandes de 430 – 600 µm de largo.....	<i>Nitzschia scalaris</i>
88. Frústulos en vista singular más o menos sigmoideos	<i>Nitzschia obtusa</i>
88. Células rectas o ligeramente curvas, pero no sigmoideas.....	89
89. Carina muy excéntrica.....	90
89. Carina poco excéntrica.....	<i>Nitzschia linearis</i>
90. Valvas de hasta 5 µm de ancho	<i>Nitzschia palea</i>
90. Valvas de 8 – 9 µm de ancho	<i>Nitzschia</i> sp.
91. Células en forma de silla de montar	<i>Campylodiscus bicostatus</i>
91. no en forma de silla de montar	92
92. Ondas transapicales y estrías en la línea media no interrumpidas	<i>Cymatopleura solea</i>
92. Ondas transapicales y estrías al menos en la línea media interrumpida.....	93
93. Formas isopolares	<i>Surirella linearis</i>
93. Formas heteropolares	94
94. Grandes formas de más de 140 µm de largo.....	95
94. Formas de no más de 80 µm de largo	<i>Surirella ovalis</i>
95. Valvas poco alargadas, anchamente ovales.....	96
95. Valvas alargadas, linear ovales	<i>Surirella splendida</i>
96. Superficie de la valva con depresiones características en las porciones polares.....	<i>Surirella rotata</i>
96. Superficie de la valva sin depresiones.....	<i>Surirella striatula</i>