UNIVERSIDAD DE BURGOS

PROGRAMA INTERNACIONAL DE DOCTORADO
ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Departamento de Didácticas Específicas



TESIS DOCTORAL

REPRESENTACIONES MENTALES DE DOCENTES SOBRE EL UNIVERSO, LOS MODELOS COSMOLÓGICOS QUE LO EXPLICAN Y APLICACIÓN DE UNA ESTRATEGIA METODOLÓGICA PARA PROMOVER SU EVOLUCIÓN

BERENICE LARIOS DE RODRÍGUEZ

Burgos, septiembre 2007

UNIVERSIDAD DE BURGOS

PROGRAMA INTERNACIONAL DE DOCTORADO
ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Departamento de Didácticas Específicas



Universidad de Burgos



Universidade Federal do Rio Grande do Sul

REPRESENTACIONES MENTALES DE DOCENTES SOBRE EL UNIVERSO, LOS MODELOS COSMOLÓGICOS QUE LO EXPLICAN Y APLICACIÓN DE UNA ESTRATEGIA METODOLÓGICA PARA PROMOVER SU EVOLUCIÓN

BERENICE LARIOS DE RODRÍGUEZ

Tesis Doctoral realizada por **Dª Berenice Larios de Rodríguez** para optar al Grado de Doctor por la Universidad de Burgos, bajo la dirección del Dr. **Marco Antonio Moreira** y la Dra. **Mª Concesa Caballero**

Burgos, septiembre de 2007

DEDICATORIA

Ante todo a Dios Todopoderoso, cuya
presencia en mi vida ha sido evidente.
A Esteban, mi complemento perfecto;
a los hijos y nietos que entendieron por qué
muchas veces no estuve con ellos;
a mis hermanos y a quienes por compartir
mis genes y sueños sentirán en su corazón
la misma alegría que hoy me embarga.

Al tibio recuerdo de quienes ya
se fueron pero siguen presente
porque nunca nos dejaron.

AGRADECIMIENTOS.

Amigos y familiares me preguntaron:
¿Para qué quieres hacer un doctorado si ya
estás pensionada?. ¿qué te puede reportar?.
Hoy, seis años después, cuando
toco el umbral de esta meta anhelada
quiero decirles que fue una bendición de
Dios el haber ingresado
al doctorado en mis años otoñales.
¡Cómo se disfruta cada etapa!.
Es volver a vivir;
es retroceder en el tiempo y hallar en sus pliegues la
energía de los años mozos.
¡Qué buena experiencia!.

Gracias a Esteban a los hijos y a todos
los familiares que comprendieron mi anhelo;
a los maestros que proporcionaron
sus representaciones del universo
cuyo aporte dio sentido a mi
trabajo; gracias a los colegas
del grupo de estudio por compartir mis utopías
en torno a la educación de nuestro país; gracias a Orlando
director del Planetario, quien proporcionó el apoyo logístico;
gracias Concesa, gracias Marco, mis dos asesores;
mejores…imposible.
Berenice.

TABLA DE CONTENIDO

Numeral	Contenido	Páginas
I	Resúmen	11
II	Abstract	13
III	Presentación	15
	PRIMERA PARTE. *DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA ETAPA EXPLORATORIA*	
	CAPÍTULO I. *Diseño y Estructuración de la Propuesta*	
1	Introducción	23
2	Una mirada al panorama educativo nacional en el campo de las Ciencias Naturales	24
3	A manera de antecedente	34
3.1	¿Qué se hizo? ¿Bajo qué perspectiva?¿Cuáles fueron las inferencias?	34
3.1.1	Análisis de las representaciones	36
3.2	Inferencias	56
3.3	Sugerencias	59
3.4	En conclusión	60
4	Justificación y formulación del problema de investigación	64
5	Preguntas de investigación	73
6	Hipótesis	74
7	Objetivos	74
7.1	General	74
7.2	Específicos	74
8	Fundamentación Teórica	75
8.1	Desde la Ciencia	75
8.1.1	Cosmologías de la Antigüedad	77
8.1.2	Cosmologías hasta principios del siglo XX	93
8.1.3	Cosmologías del siglo XX	106
8.2	Sobre el Cambio Conceptual	117
8.3	Teorías Representacionales	119
8.4	Modelos Mentales de Johnson-Laird	125
8.5	Teoría de los Campos Conceptuales de Gérard Vergnaud	130
8.6	Puntos de encuentro entre las dos teorías	136
9	Vectores direccionales de la dinámica de intervención	140
10	Sintaxis de la estrategia	141
11	Caracterización de la investigación	146
12	Registros	147
13	Parámetros para el análisis de los registros	148
14	La muestra y el contexto	148
15	Cronograma de encuentros y actividades	150

SEGUNDA PARTE
DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

0	Presentación	155

CAPÍTULO II
Caracterización de las representaciones mentales que sobre el universo tiene una muestra no estratificada de sujetos que frecuentan el Planetario de Barranquilla

1	Introducción	161
2	Algunos elementos sobre el referente teórico	161
3	La Muestra	163
4	Parámetros de análisis y categorías	164
4.1	Universo Impreciso	165
4.2	Universo Ego	168
4.3	Universo Heliocéntrico	172
4.4	Universo que no va más allá de la Vía Láctea	179
4.5	Universo como sistema	181
4.5.1	Grupo 1	181
4.5.2	Grupo 2	182
4.6	Universo acéntrico	182
4.6.1	Grupo 1	182
4.6.2	Grupo 2	189
4.6.3	Grupo 3	193
5	A manera de Conclusión	197

CAPÍTULO III
Aplicación de una estrategia metodológica para promover evolución en las representaciones mentales que tienen docentes sobre el universo y los modelos cosmológicos que lo explican

1	Introducción	205
2	La Muestra	209
3	Aplicación de la Estrategia	210
3.1	Dinámica del trabajo	211
3.1.1	Análisis crítico	211
3.1.1.1	Acción	211
3.1.1.2	Justificación	212
3.1.1.3	¿Qué encontramos?	213
	Profesor JC	214
	Profesor JG	217
	Profesor RG	219
	Profesor AF	220
	Profesor OM	223
3.1.1.4	A manera de síntesis	226
3.1.2	Enriquecimiento conceptual	226
3.1.3	Funcionalidad y validez de los modelos	227

3.1.3.1	Acción 1	227
3.1.3.2	Acción 2	227
3.1.3.3	Justificación	229
3.1.3.4	¿Qué encontramos?	232
3.1.3.5	A manera de conclusión	264
3.1.4	Recursividad y explicitación	271
3.1.4.1	Acción	271
3.1.4.2	Justificación	271
3.1.4.3	¿Qué encontramos?	272
3.1.5	Análisis, conclusiones y recomendaciones	276
3.1.5.1	Con base en los documentos elaborados	276
3.1.5.2	Entrevista a los docentes, realizada en el grupo	297
3.1.5.3	¿Qué podemos concluir de la entrevista y de todo el proceso?	302
4	¿Cuál es el valor agregado que nuestra investigación produjo y aporta a lo que ya se sabe sobre representaciones mentales y específicamente, sobre representaciones del universo?	304
4.1	Desde la fase exploratoria	304
4.2	Desde la aplicación de la estrategia	306
	Bibliografía	310
	Anexos	324
	Anexo 1. Modelos Cosmológicos a través de la Historia	327
	Anexo 2. Annus Mirábilis	353
	Anexo 3. Albert Einstein. El Hombre	367
	Anexo 4. Ciencia, Tecnología y Educación	387
	Anexo 5. Representaciones de universos, elaboradas por los docentes de la muestra. Originales de las representaciones lingüísticas.	395

TABLA DE FIGURAS Y CUADROS

Figura 1a	Representación pictórica del universo, complementada con explicaciones.	37
Figura 1b	Otras representaciones de universos.	38
Figura 1c	Representaciones lingüística y pictórica del universo.	39
Figura 1d	Representaciones de universos. Pictóricas.	40
Figura 1e	Representaciones pictórica y lingüística.	41
Figura 2a	Universo Contextual. Grupo 1	43
Figura 2b	Universo Contextual. Grupo 1	44
Figura 3	Universo Contextual. Grupo 2	45
Figura 4	Universo Geocéntrico	47
Figura 5a	Universo Heliocéntrico. Representación pictórica complementada con explicaciones.	48
Figura 5b	Universo Heliocéntrico. Grupo 1	49
Figura 6a	Universo Acéntrico. Grupo 1	51
Figura 6b	Universo Acéntrico. Grupo 1	52
Figura 6c	Universo Acéntrico. Grupo 1	53
Figura 6d	Universo Acéntrico. Segundo grupo	54
Figura 7	Fondo Cósmico de Microondas 1.	111

Figura 8	Fondo Cósmico de Microondas. 2	111
Figura 9a	Satélite COBE y fotografía tomada por el telescopio espacial Hubble.	114
Figura 9b	Imagen reciente del espacio profundo. Tomada con el telescopio espacial Hubble	115
Cuadro 1	Transcripción de algunas representaciones lingüísticas	165
Cuadro 2	Universo Impreciso. Transcripciones	166
Figura 10	Universo Impreciso. Representaciones pictóricas	169
Figura 11	Universo Ego. Representación pictórica	170
Cuadro 3	Universo Ego. Transcripción	171
Figura 12a	Universo Heliocéntrico. Representación pictórica	173
Figura 12b	Universo Heliocéntrico. Representaciones pictóricas	174
Figura 12c	Universo Heliocéntrico. Representaciones pictóricas con algunas explicaciones	175
Figura 13a	Universo Heliocéntrico. Representación pictórica-lingüística	177
Figura 13b	Representación pictórica de Universo Heliocéntrico	178
Figura 14	Universo como Vía Láctea. Representación pictórica	179
Cuadro 4	Universo como Vía Láctea. Transcripción	180
Figura 15	Universo como Sistema	183
Figura 16	Universo como Conjunto Infinito de Sistemas Solares	184
Figura 17a	Universo Acéntrico. Universo Miscelánea	185
Figura 17b	Universo Acéntrico. Representaciones pictóricas	186
Figura 17c	Universo Acéntrico. Representaciones de Universos Miscelánea	187
Cuadro 5	Universo Miscelánea. Transcripción	188
Figura 18a	Universo Acéntrico. Grupo 2	190
Figura 18b	Universo Acéntrico. Grupo 2	191
Figura 18c	Universo Acéntrico. Representaciones lingüística y pictórica	192
Figura 19a	Universo Acéntrico. Grupo 3	194
Figura 19b	Universo Acéntrico. Tercer grupo	195
Cuadro 6	Universo Acéntrico. Transcripción de representación lingüística	196
Cuadro 7	Transcripción de la primera representación del universo elaborada por el profesor JC	214
Cuadro 8	Transcripción de representación lingüística elaborada por el profesor JC	215
Cuadro 9	Transcripción de la primera y segunda representación del universo elaborada por el profesor JG	217
Figura 20	Primera representación del universo de RG	219
Cuadro 10	Transcripción de la representación lingüística elaborada por el profesor AF	222
Figura 21a	Representación del universo realizada por el profesor OM	224
Figura 21b	Complemento de la representación del universo elaborada por el profesor OM	225
Figura 22	El Universo según el profesor JG	237
Figura 23a	Mapa Conceptual del profesor JC. N°1	240
Figura 23b	Mapa Conceptual del profesor JC. N°2	241
Figura 23c	Mapa Conceptual del profesor JC. N°3	242
Figura 24	Mapa Conceptual del profesor RG	244
Figura 25	Mapa Conceptual del profesor OM	246
Figura 26a	Mapa Conceptual del profesor JG. N°1	248
Figura 26b	Mapa Conceptual del profesor JG. N°2	249
Figura 26c	Mapa Conceptual del profesor JG. N°3	250

Figura 27a	Mapa Conceptual del profesor AF. N°1	252
Figura 27b	Mapa Conceptual del profesor AF. N°2	253
Figura 28a	Representación del Universo objeto de análisis	258
Figura 28b	Representación del Universo, objeto de análisis	259
Figura 28c	Representación del Universo objeto de análisis	260
Cuadro 11	Representación del Universo del profesor JC	277
Figura 29	Representación del Universo, hecha al final. JC	278
Figura 30	Representación inicial del Universo. Profesor JG	282
Figura 31	Representación del Universo hecha al final. JG	283
Cuadro 12	Representación inicial del Universo del profesor Af	287
Figura 32	Representación del Universo, hecha al final. AF	288
Figura 33a	Representación inicial del universo. Profesor RG	291
Figura 33b	Representación del Universo hecha al final. RG	292
Figura 34a	Representación inicial del universo hecha por OM	295
Figura 34b	Representación del universo hecha al final. OM	296

I. RESUMEN

El estado actual del desarrollo de la Cosmología es el resultado de un proceso dinámico, no lineal que hace más de 25 siglos partió de mitos y conjeturas los cuales generaron modelos que a su vez posibilitaron hacer más preguntas y conjeturas cuyas respuestas aportaron mayor información, desde la cual fue posible pensar en modelos conceptuales cada vez más completos y avanzados desde el punto de vista de su capacidad para dar explicaciones a los fenómenos que el firmamento presentaba.

Este proceso cambiante, enriquecedor, no lineal, del conocimiento del universo, de acuerdo con los resultados de nuestra investigación, no ha logrado cruzar el umbral de las aulas de las instituciones educativas de los diferentes niveles de la educación en nuestro país; aunque parece, por resultados de investigaciones hechas en otros contextos y latitudes, que ésta es una debilidad común que tiene la educación científica mundial.

Ello implica que los esquemas mentales e invariantes operatorios sobre el universo de quienes tienen la responsabilidad de impartir este conocimiento a los niños, niñas y jóvenes, no les posibilita generar modelos conceptuales coherentes con los modelos cosmológicos actualmente aceptados; más aún, sus representadores no tienen la formación científica necesaria para entender los principios y teorías que subyacen detrás de cada modelo del universo.

Cómo generamos tal inferencia? Realizamos una investigación en dos etapas; *una exploratoria*, desde la cual caracterizamos las representaciones mentales de docentes de ciencias sobre el universo y los elementos que incluyeron en los modelos cosmológicos que lo explican y la *otra experimental*, donde aplicamos una estrategia metodológica inspirada en los puntos de encuentro de las teorías de los modelos mentales de Johnson-Laird y de los campos conceptuales de Gérard Vergnaud, cuyo objetivo fue promover la evolución de esas representaciones mentales acercando a los representadores a un mayor nivel de conocimiento sobre las teorías y modelos cosmológicos recientes.

La investigación se hizo con una muestra no estratificada de docentes de ciencias que frecuentan los espacios académicos que desde la educación no formal e informal brinda el Planetario de Barranquilla, Colombia.

Durante más de tres años, con estos profesores, hemos venido vivenciando cómo y qué tanto evolucionaron sus representaciones y sus conceptualizaciones sobre el universo, proceso que nos permitió relacionar las representaciones mentales de las personas con el nivel de comprensión que tienen de un fenómeno y desvelar por ejemplo, que la formación en ciencias que se ofrece a los educandos no les posibilita formar representaciones científicamente válidas sobre el universo. Es el contenido del presente documento.

II. ABSTRACT

Current state of the Cosmology development is the result of a dynamic, non-linear process that more than 25 centuries ago started from myths and conjectures that generated models that in turn facilitated to ask more questions and conjectures whose answers contributed even more information, from which was possible to think of more and more complete and advanced conceptual models from the point of view of their capacity to give explanations to the phenomena that the firmament presented.

This changing, enriching, non-linear process, of the universe knowledge, according to the results of our investigation, has not been able to cross the classrooms threshold of the educational institutions of the different levels of the education in our country; although it seems, from results of investigations made in other contexts and latitudes that this is a common weakness that has the world scientific education.

It implies that the mental schemes and operational invariants about the universe of those who have the responsibility of imparting this knowledge to the children and young do not help them to generate conceptual models coherent with the cosmological models currently accepted; more yet, those who built these representations do not have the necessary scientific formation to understand the principles and theories behind each pattern of the universe.

How did we generate such inference? We carried out an investigation in two stages; an *exploratory* one, from which we characterized the mental representations about the universe of science teachers and the elements that explain the universe included by them in their cosmological models; and the other one *experimental*, where we applied a methodological strategy inspired by common points of the theories of the mental models of Johnson-Laird and of the conceptual fields of Gérard Vergnaud whose objective was to promote the evolution of those mental representations bringing those who built representations near to a greater level of knowledge on the theories and recent cosmological models.

The investigation was carried out with a non stratified sample of science teachers that attend the academic spaces of Planetarium of Barranquilla,Colombia, in nonformal and informal educational activities offered in it.

During more than three years with these teachers, we have experimented how and how much their representations and their conceptualizations on the universe had evolved. The content of the present document is about that.

III. PRESENTACIÓN

Tres referentes teóricos iluminaron la presente investigación en sus dos etapas: Desde la ciencia cognitiva, las teorías de los Modelos Mentales de Johnson-Laird y de los Campos Conceptuales de Gérard Vergnaud; y, desde la cosmología, las teorías más recientes sobre el universo, en particular la teoría del Modelo Cosmológico Estándar cuyos supuestos aún siguen siendo válidos.

En la primera etapa de la investigación hemos caracterizado las representaciones mentales sobre el universo de docentes de ciencias que frecuentan los espacios académicos que desde la educación no formal e informal brinda el Planetario de Barranquilla, para lo cual, además del referente conceptual aludido tuvimos en cuenta no sólo los aportes que la política educativa de Colombia nos brindó, sino los resultados de algunas investigaciones realizadas en contextos y latitudes diferentes.

En la segunda etapa diseñamos y aplicamos una estrategia metodológica a cinco docentes de ciencias sociales y ciencias naturales, cuyo objetivo fue promover evolución en sus representaciones a través del enriquecimiento conceptual.

Tanto la sintaxis de la estrategia como sus vectores direccionales fueron definidos teniendo en cuenta los puntos de encuentro entre la

teoría de los modelos mentales de Johnson-Laird y de los campos conceptuales de Gérard Vergnaud, identificados por Moreira (2.004).

Funcionalidad, recursividad y contrastación fueron puestos en escena en la variedad de situaciones en que se colocó a los individuos asumiendo que, tanto la variedad de situaciones como el proceso en espiral desarrollado eran elementos determinantes en la evolución de las concepciones y prácticas de los individuos, quienes fueron considerados como sujetos en acción.

La aplicación de la estrategia tuvo dos etapas, cada una con dos fases: en la primera etapa priorizamos tanto el *enriquecimiento conceptual* como *el análisis crítico* de documentos, videos, situaciones concretas que fueron desvelando la realidad conceptual de los individuos; en la segunda etapa examinamos funcionalidad, validez de los modelos y recursividad como elementos que posibilitaron al docente volver al modelo, revisarlo, contrastarlo y verificar su coherencia con los modelos científicamente aceptados.

Se acopió una variedad de registros los cuales fueron analizados de acuerdo con los siguientes parámetros: *conceptos involucrados y relaciones que entre ésos establecieron; argumentos teóricos que manejaron los sujetos en la explicación de situaciones y fenómenos; y, estabilidad o permanencia de los modelos en el tiempo y a lo largo de la variedad de situaciones.*

Desde Agosto de 2.004 hasta Abril de 2.006, se desarrollaron las actividades programadas para las dos etapas, en 17 encuentros de cuatro horas o más de acuerdo con las circunstancias, más 76 horas de trabajo no presencial para un total de 152 horas. La secuencia de las etapas no fue lineal; la duración de éstas estuvo condicionada

por el cumplimiento en la realización de las tareas por parte de los docentes del grupo, actividad que a la vez dependía de la disponibilidad de tiempo que los profesores tuviesen en el día a día de su ejercicio profesional docente.

Desde la hipótesis de la investigación asumimos que si lográbamos evidenciar alguna evolución-transformación en las representaciones de los universos por la aplicación de la estrategia metodológica, entonces estábamos frente a los modelos mentales de Johnson-Laird, mientras que si a pesar de la intervención las representaciones no presentaban transformación evidente a través del proceso, entonces estábamos frente a esquemas conceptuales de Vergnaud, lo cual no significa que éstos sean inmutables sino que frente a su estabilidad, podíamos pensar que la generación de modelos mentales, que son inestables, es un proceso necesario frente al cambio representacional que pudiera llevar a nuevos esquemas. Hemos de admitir que tanto las representaciones como los conceptos que subyacen detrás de éstas manifestaron enriquecimiento evidenciado por la presencia de elementos y relaciones más coherentes con las teorías cosmológicas recientes.

De todas formas, hay que reconocer que la efectividad de la estrategia no se dio con la misma intensidad en todos los miembros del grupo, lo cual es apenas natural si recordamos que la ecología conceptual de los individuos es determinante en la evolución conceptual y, que las condiciones laborales (el contexto) de los sujetos implicados en la investigación es completamente desigual.

Qué aporte interesante hicimos al caudal de conocimientos que sobre las representaciones mentales tiene la ciencia cognitiva?.

En particular debemos precisar que *frente al conocimiento del universo no se reveló relación directa entre la formación de los representadores y sus representaciones internas; esto es, muchos docentes con formación en física hicieron representaciones externas del universo cuya coherencia con los modelos cosmológicos aceptados científicamente los colocó entre los grupos de menor desarrollo*; lo que si evidenciamos fue la influencia significativa que tiene la ecología conceptual en la evolución de esas representaciones, elemento que está de acuerdo con los supuestos del referente conceptual asumido.

"...nuestro futuro depende del grado de comprensión
que tengamos del cosmos en el cual flotamos
como una mota de polvo en el cielo de la mañana".

Carl Sagan . Cosmos(1997)

PRIMERA PARTE

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE LA ETAPA EXPLORATORIA

Capítulo I.

DISEÑO Y ESTRUCTURACIÓN DE LA PROPUESTA

1. INTRODUCCIÓN.

Aceptar que los descubrimientos, teorías, inventos científicos y tecnológicos que caracterizaron el desarrollo de la ciencia y de la tecnología en el siglo XX han marcado el ritmo de vida del ciudadano del siglo XXI; que en la escala de valores de la sociedad actual lo más importante es el conocimiento que se tenga, se produzca, se apropie y se aplique; que éste otorga al ciudadano características distintivas en la sociedad del conocimiento y por lo tanto es requisito esencial para la supervivencia; que el reordenamiento de las economías mundiales en torno al valor de la tecnología precisa que el ciudadano del tercer milenio tenga algún conocimiento de los desarrollos científicos recientes y sus perspectivas, ha puesto en el ojo de la mira la formación que se ofrece a los ciudadanos, a tal punto que ya es un lugar común expresar que los grandes acontecimientos contemporáneos no han traspasado el umbral de las aulas de las instituciones educativas desde el nivel primario hasta la universidad y por lo mismo el educando ignora los problemas cruciales de la época y sus nexos con la realidad social, económica y cultural de su región y de su país.

Gil(1991), opina que parte del dominio conceptual de una disciplina es tener algún conocimiento de los desarrollos científicos recientes y sus perspectivas para poder adquirir una visión dinámica y no acabada de la ciencia y conocer las interacciones existentes entre la ciencia, técnica y sociedad, asociadas a los conocimientos científicos, ideas que además de mantener su vigencia posibilitan aseverar que la culturización científica es un imperativo categórico que coloca al individuo en la posibilidad no sólo de entender, comprender y manejar los resultados y aplicaciones de la ciencia y la tecnología sino también hacer apropiaciones de las mismas e innovar.

En el tratado de Batavia (Illinois) firmado en el marco de la Conferencia Internacional sobre la Enseñanza de la Física Moderna realizada en Fermilab en 1986, se solicitó a los países incorporar a los currículos de enseñanza de las Ciencias en secundaria y en las asignaturas de Física General de la Universidad, tópicos de investigación en Física de Partículas y Cosmología; era preciso, por lo tanto, que los gobiernos y expertos asesores de sus políticas e investigadores educativos plantearan y desarrollaran acciones tendientes a garantizar a niños, niñas, jóvenes y adultos una educación de calidad acorde con los avances científicos y tecnológicos recientes.

Respecto a esta situación, es válido preguntarse: ¿qué se ha hecho en Colombia en torno a este propósito?; ¿hacia dónde han dirigido sus acciones las políticas educativas de Colombia sabiéndose parte de la política de globalización que exige a la educación un proyecto mucho más coherente con sus exigencias socioeconómicas y culturales?

2. UNA MIRADA AL PANORAMA EDUCATIVO NACIONAL EN EL CAMPO DE LAS CIENCIAS NATURALES

En Colombia, en las dos últimas décadas, las políticas educativas apuntan al fomento de una educación científica desde los primeros años de escolaridad; acorde con esto, los currículos de ciencias han sido reestructurados al temple de las teorías científicas y pedagógicas que iluminan el saber y saber hacer en las aulas, pensadas y orientadas por los "expertos" que fueron convocados desde las universidades e instituciones educativas en el marco de lo que se planteó como "Plan Decenal de Educación", cuyo término fue el año 2.005.

Presentamos a continuación un análisis de dos documentos sobre los lineamientos curriculares en Ciencias Naturales emanados del **M**inisterio de **E**ducación **N**acional (MEN), con base en los cuales haremos algunas inferencias:

Los documentos están fundamentados en la Constitución Política Nacional de 1991 y en la Ley General de la Educación, Ley 115 de 1994. De la Constitución Colombiana asumen que el Estado debe garantizar a todos los niños, niñas y jóvenes el derecho de recibir una educación de calidad que les permita vivir e interactuar en la sociedad en igualdad de condiciones y continuar aprendiendo durante toda la vida.

De la Ley 115 de 1994 adoptan los fines de la educación y el conjunto de áreas obligatorias y fundamentales del conocimiento teniendo en cuenta que la Ley citada dejó la opción de introducir asignaturas optativas pertinentes y necesarias de acuerdo con las características locales donde se desarrolla la acción escolar y permitió a las instituciones educativas definir su propio **P**royecto **E**ducativo **I**nstitucional (PEI), en el marco de los lineamientos curriculares del MEN.

En el documento "Lineamientos Curriculares. Ciencias Naturales y Educación Ambiental. Áreas obligatorias y fundamentales", definen los conceptos "E*stándares Curriculares*" y "*Logros".*

Los E*stándares Curriculares* son concebidos como un marco referencial común para que desde éste las instituciones educativas formulen sus planes de estudio de acuerdo con las prioridades educativas establecidas y consignadas en el PEI; en este sentido, son un referente común que busca asegurar a todos el dominio de

conceptos y competencias básicas para vivir en sociedad y participar en ella en igualdad de condiciones; son una meta que expresa en forma observable:

- Lo que el estudiante debe saber; es decir, los conceptos básicos de cada área y

- Las competencias; es decir, el saber hacer utilizando estos conceptos.

Como pueden ser verificados se constituyen en referentes para la construcción de sistemas y procesos de evaluación interna y externa.

Los "*logros*" son entendidos como el nivel en el cual el estudiante alcanza una determinada meta o estándar.

En el área de Ciencias Naturales y Educación Ambiental, los estándares tienen tres niveles de aproximación a la ciencia; cada uno se caracteriza por incluir tanto las ideas básicas como los procesos y procedimientos inherentes a las Ciencias Naturales:

-*Nivel Exploratorio*. Sugerido para el preescolar y la básica primaria; en este nivel que va del grado cero hasta el quinto, los estudiantes deben aprender a construir explicaciones, realizar experimentos, expresar sus ideas sobre ellos mismos y su entorno, describir en forma gradual y cualitativa las características, relaciones, cambios, regularidades, jerarquías y estructuras en procesos físicos, químicos y biológicos de su entorno, involucrando categorías de las ciencias para hacer descripciones simples, agrupamientos de objetos, establecimiento de relaciones causa – efecto.

- *Nivel diferencial*. Sugerido para la básica secundaria; en este nivel que va desde el sexto hasta el noveno grado, los estudiantes deben aprender a construir explicaciones y predicciones para hacer distinciones más finas dentro de los procesos físicos, biológicos y químicos; se les exige mayor nivel de conceptualización y análisis de tipo cuantitativo que incluye el planteamiento de esquemas de proporcionalidad directa e inversa y el uso de un lenguaje más preciso y riguroso; relaciones funcionales y relaciones de multicausalidad entre las variables consideradas en una determinada situación.

Nivel Disciplinar. Reservado para la educación media. Los estudiantes de décimo y undécimo grado deben aprender a reconocer las disciplinas científicas como formas de conocer y aproximarse a diferentes problemas, entender los planteamientos centrales y axiomas de cada campo teórico y familiarizarse con los experimentos que ponen en práctica en diferentes situaciones.

Para su desarrollo, se plantean los llamados "*ejes articuladores*" concebidos como una estrategia de organización de las ideas, conceptos, principios y teorías centrales de las Ciencias Naturales. Se articulan en tres grandes líneas: procesos biológicos, procesos físicos y procesos químicos. Para el caso de los procesos físicos, en el nivel exploratorio se debe buscar respuesta a la pregunta, *¿cómo se mueven, cómo se ven, cómo se oyen los objetos del entorno?;* centrando la atención de los estudiantes en situaciones y fenómenos en el espacio y el tiempo; se desarrolla la idea de fuerza como interacción. En el nivel diferencial se propone buscar la identificación de relaciones y transformaciones en los sistemas físicos; *relaciones fuerza –movimiento; tiempo – espacio; interacción – conservación* y en el nivel disciplinar se propone trabajar la mecánica clásica de partículas, termodinámica, fenómenos ondulatorios y

electromagnetismo. Cada referente se debe organizar en torno a problemas e ideas centrales.

Para centrar el recorrido realizado en cuanto al objeto de nuestra investigación, se hace un análisis del plan de estudios propuesto desde los ejes articuladores de las ideas científicas, con base en el documento citado. Se observa que para el nivel exploratorio, en el grado cuarto se abordan la fuerza y el movimiento a nivel macroscópico; se desarrollan temas como el movimiento de la luna alrededor de la tierra y de los planetas alrededor del sol. En el nivel medio, en el grado décimo, dentro de la mecánica clásica se propone abordar la Ley de la Gravitación Universal de Newton y las leyes de Kepler.

En el año 2.004, el MEN publica una serie de folletos denominados "Serie Guías" que buscan darle un marco teórico y metodológico al proceso de desarrollo de las competencias básicas, en lo que el nuevo gobierno denomina "Revolución Educativa". Nos referiremos a la guía número 7 que contiene los estándares básicos de competencias en Ciencias Naturales y Ciencias Sociales, cuyo título es, "Formar en ciencias: ¡El Desafío!" Lo que necesitamos saber y saber hacer.

Los *estándares básicos* de competencias están definidos en el documento como "criterios claros y públicos que permiten conocer lo que deben aprender los niños, niñas y jóvenes y se constituyen en puntos de referencia de lo que están en capacidad de saber y saber hacer en cada una de las áreas y niveles" *. (*Op. Cit., pp. 5).

Con el propósito de lograr un desarrollo integrado y gradual a lo largo de los diferentes niveles de la educación, los estándares básicos se articulan en *una secuencia de complejidad creciente* y se

agrupan en conjuntos de grados, así: 1° - 3°; 4°-5°; 6°-7°; 8°-9°; 10° - 11°.

El contenido propuesto en lo que denominan "manejo de conocimientos propios de las Ciencias Naturales", específicamente en la columna "Entorno Físico", para los grados primero, segundo y tercero, encontramos en el último párrafo de los contenidos: *registro el movimiento del sol, la luna y las estrellas en el cielo, en un período de tiempo.* Para los grados cuarto y quinto se sugiere lo siguiente: *Describo los principales elementos del sistema solar y establezco relaciones de tamaño, movimiento y posición. Comparo el peso y la masa de un objeto en diferentes puntos del sistema solar. Describo las características físicas de la tierra y su atmósfera. Relaciono el movimiento de traslación con los cambios climáticos.* Para el sexto y séptimo grado se proponen las siguientes acciones: *Explico el modelo planetario desde las fuerzas gravitacionales. Describo el proceso de formación y extinción de estrellas. Relaciono masa, peso y densidad con la aceleración de gravedad en distintos puntos del sistema solar.* Para los siguientes grados, octavo, noveno, décimo y undécimo no aparece ningún elemento que, de acuerdo con los propósitos de los estándares básicos, permita a los alumnos del nivel diferencial y disciplinar decantar, clarificar y elaborar un modelo o representación mental del universo coherente con leyes y teorías cosmológicas modernas.

Podría decirse sobre las propuestas objeto de análisis que, están orientadas por una concepción curricular fundamentada en teorías constructivistas; de Piaget y Bruner toman el desarrollo del currículo en espiral, rescatando de este autor la idea de tomar los conceptos básicos en forma estructural en vez de enseñar las ideas científicas aisladas. Ausubel, Vygotski, Gil, Pozo, entre otros, hacen presencia en la orientación de los lineamientos cuando se asume por un lado,

la importancia de la pregunta en el proceso educativo y suponer éste como un proceso de comunicación humana dentro de un contexto cultural y, por el otro, la enseñanza problémica y la discusión en torno a situaciones y fenómenos de la vida cotidiana del alumno como estrategia que aporta sentido a la ciencia que aprende el discente. El documento más reciente introduce además el ingrediente investigativo cuando sugiere para los diferentes grados y niveles algunas actividades de investigación para ser realizadas por el estudiante con la dirección del docente.

En cuanto a los contenidos de la Ciencia, en particular los de Física que se sugiere desarrollar en uno y otro documento analizado, puede observarse que,

- La noción de universo no va más del sistema solar; aunque se toca el tópico formación de estrellas, no se plantea desarrollos en términos de una visión general del universo que le permita al estudiante dimensionar la tierra y el sistema planetario en el contexto de un universo ilimitado cuyos constituyentes (planetas, soles, galaxias, nebulosas…) se mueven obedeciendo leyes, de tal forma que los niños, niñas y jóvenes elaboren una representación mental de éste válida, funcional y coherente con los modelos científicamente aceptados, que además de posibilitarle entender fenómenos y eventos relacionados con el cosmos, aprenda a valorar nuestro planeta en el contexto universal y generar sentimientos de responsabilidad frente al futuro de la tierra; es decir, los temas se tocan aisladamente sin que ello deje en el estudiante una representación mental científicamente estructurada sobre el universo; por otro lado,

- No se han incluido temas específicos de la Física desarrollada a lo largo del siglo XX, lo cual impide a los estudiantes tener una

visión más actualizada del conocimiento, una aproximación a la Ciencia como sistema que se desarrolla permanentemente con el aporte del hombre cuyas verdades son relativas y limitadas; ello significa lamentablemente, que el estudiante egrese de la enseñanza media con una visión mecanicista del universo, negándole la posibilidad de conocer los desarrollos científicos recientes y adquirir a través de éstos una visión de ciencia más coherente, actual y fundamentada.

Es inquietante que a los educandos del siglo XXI se les proporcionen únicamente elementos de la ciencia del siglo XIX sin tocar ni referenciar la ciencia desarrollada a lo largo del siglo XX. ¿Con qué visión de ciencia, con qué visión de universo se enfrenta el niño, la niña y los jóvenes de hoy al caudal de información que les llega desde la TV, la internet y en general los medios de comunicación masiva sobre un universo y una ciencia no referenciados en su educación formal?. Pueden los niños, niñas, jóvenes que egresen formados al temple de estos planes de estudio pensar en la posibilidad de existencia de otros mundos como el nuestro o, seguirán pensando igual que hace 300 años, que la tierra, o en el mejor de los casos el sol, son el centro del universo en torno al cual todo lo demás se mueve, o que el universo no va más allá del sistema planetario o de nuestra Vía Láctea?.

Más inquietante aún es el hecho de constatar en las conversaciones informales con docentes en ejercicio que la parte de cosmología incluida no alcanza a desarrollarse pues si bien los estándares básicos son considerados por ellos como "camisa de fuerza" parece que los Exámenes de Estado son los que en últimas definen lo que debe ser desarrollado; es decir, los maestros y directivos priorizan lo que en los cuestionarios del **I**nstituto **C**olombiano para la **E**ducación **S**uperior ICFES, se evalúa y en ellos el peso específico de los temas

relativos a Cosmología y Ciencia Contemporánea es muy bajo; de ahí el poco interés e importancia dado a estos temas.

En cuanto a los currículos que sustentan la formación de los formadores en ciencias, la situación no cambia. Parece ser que del siglo XX apenas se alcanza a desarrollar los avances correspondientes a las primeras dos o tres décadas con el agravante que se enfatizan los desarrollos matemáticos más que la significación física del fenómeno o hecho estudiado; en algunas facultades formadoras de docentes para los niveles de la básica primaria y secundaria en el área de matemáticas ni siquiera consideran la física como parte fundamental de la formación científica que se les ofrece a los futuros docentes por lo que egresan con poco o ningún conocimiento sobre los eventos acaecidos a lo largo del siglo veinte.

Por otro lado, los propósitos consignados en los documentos del MEN en torno a la educación científica de los colombianos en el marco de la reestructuración y nuevos lineamientos curriculares hacen parte de los PEI de las instituciones, pero no logran permear las actividades de las aulas de clases. Ello quiere decir, que el aprendizaje de las ciencias y, en particular de la Ciencia Contemporánea lamentablemente sigue en suspenso; hecho desafortunado sobretodo si consideramos con Gonzalez(1977), que conjuntamente con la Física Clásica, la Física Contemporánea ayuda a la persona a comprender mejor el mundo que le rodea perdiendo temores y creencias supersticiosas, a interactuar con la naturaleza de modo de no poner innecesariamente en peligro el bienestar de las generaciones futuras; y a los profesionales no científicos que ocupan cargos importantes, les posibilita tomar decisiones racionales y bien fundamentadas en materias tan vitales como el desarrollo energético, la defensa y el empleo de los recursos naturales, el

control de la contaminación ambiental, la defensa de los intereses de la nación, etc.

A la situación anteriormente descrita tenemos que agregar factores que a pesar de haber sido señalados por investigadores de otros contextos no son ajenos al nuestro; ellos son: La poca familiaridad que tienen los docentes con teorías y fenómenos pertenecientes a la Física Moderna y Contemporánea, la forma como son abordados estos temas en los textos de Física (Alemáñ, 1987, Ostermann y Moreira, 2.000) y en las aulas de clases (Greca y Moreira, 1998; Gil, 1986, 1987) conjuntamente con la tendencia casi generalizada de los docentes de considerar los temas de la Física Moderna inabordables a nivel secundario por la complejidad del lenguaje y tratamiento matemático, factores que han viabilizado la permanencia de esquemas mentales mecanicistas que se constituyen en obstáculos epistemológicos para el entendimiento y aprehensión de temas de la Física Contemporánea (Ostermann, Alemáñ, op. Cit.).

Mucho más agravante es la situación si consideramos el interés demostrado por los estudiantes por los temas de Astronomía y Cosmología y especialmente los temas de actualidad que constituyen conocimiento de frontera, lo cual impone un requerimiento mayor para los docentes quienes han expresado su interés en el desarrollo de tópicos de Física Moderna en la secundaria y reconocido sus limitaciones al declararse poco preparados para ello (Ostermann y Moreira, 2000). Esto obliga a los educadores a realizar un esfuerzo permanente para acceder al conocimiento profundo de las teorías fundamentales de la Física Contemporánea y afrontar el reto que su enseñanza impone, aún más sabiendo que actualmente la Cosmología es considerada no sólo como una ciencia fundamental sino *como la ciencia ambiental que abarca la mayor de las escalas.*

3. A MANERA DE ANTECEDENTE

En la primera fase de la investigación, cuyos resultados constituyen un antecedente significativo de la presente, asumimos que el poco peso específico otorgado a los temas de Cosmología y Física Moderna en los currículos de enseñanza primaria y secundaria y en los que sustentan la formación de los docentes en ciencias debía incidir en las representaciones mentales que las personas tienen sobre el universo; la segunda fase de la investigación nos permitirá acopiar información pertinente con la que podremos elaborar un discurso fundamentado en torno a la cuestión planteada.

3.1. QUÉ SE HIZO?. ¿BAJO QUÉ PERSPECTIVA? ¿QUÉ SE ENCONTRÓ?. ¿CUÁLES FUERON LAS INFERENCIAS?

Se indagaron, analizaron y caracterizaron representaciones mentales de docentes de ciencias sobre el universo y los elementos que involucraron para su explicación, fundamentados en la premisa que las *Representaciones Internas* de los sujetos pueden explorarse indirectamente a través de lo que éstos son capaces de externalizar de manera verbal, simbólica o pictórica; esto es, a través de sus representaciones externas; se asumió además que una persona que comprende un evento, un suceso, una teoría, una ley, construye una representación mental de éste cuyo poder explicativo y predictivo le permite manejar situaciones, acontecimientos del mundo real relacionados con este suceso o evento.

La investigación tuvo como antecedente trabajos similares realizados en distintas latitudes y contextos y como referente conceptual los aportes tanto de la Psicología Cognitiva en materia de

Representaciones Mentales como de las teorías cosmológicas desarrolladas a lo largo de la Historia de la Ciencia.

Desde las teorías representacionales asumimos que la mente consiste en representaciones internas pues los sujetos no captan el mundo exterior directamente sino que construyen representaciones internas de éste; que el comportamiento de una persona es mejor explicado en términos del contenido de su mente; es decir, en términos de sus conocimientos y creencias independientemente de cualquier mecanismo mental. En específico, nos fundamentamos en la teoría de los modelos mentales de Johnson-Laird(1983), para quien la mente humana representa el mundo siguiendo un triple código: proposicional, imágenes y modelos mentales; estos últimos son análogos estructurales del mundo, son modelos que las personas construyen para representar estados físicos, son bloques de construcción cognitiva que pueden ser combinados y recombinados como sea necesario cuya única condición es su funcionalidad; es decir, permitir a los sujetos hacer explicaciones y previsiones sobre el sistema físico que el modelo análogamente representa.

Teniendo en cuenta que desde la investigación educativa la metodología para la exploración de los modelos mentales está basada en el uso de informaciones verbales del sujeto como fuente de datos, análisis de protocolos, los cuales se generan por medio de entrevistas y conversaciones libres, se le solicitó a los 29 docentes participantes (20 maestros en ejercicio y 9 en formación), plasmar en una hoja de papel su visión del universo, dándoles la libertad de hacerlo en frases, (proposiciones), con imágenes y|o combinando las dos, pidiéndoles que incluyeran alguna explicación de lo representado. Posteriormente se complementó la información en

conversaciones libres, espontáneas e informales que tuvieron como base la representación del universo que habían hecho.

La información recogida fue analizada desde el referente teórico constituido por aportes de la Psicología Cognitiva, las teorías cosmológicas recientes y los resultados de las investigaciones realizadas en torno al tema; haciendo énfasis en que en el desarrollo de la investigación se llevaron a cabo procesos de consulta e indagación de documentos, archivos y registros que nos proporcionaron información complementaria en torno a los currículos que direccionan la enseñanza – aprendizaje de la Física en los diferentes niveles de la educación y algunos planes de estudio de facultades de educación que ofrecen licenciatura en Ciencias Naturales, así como el registro de las ferias de ciencia y creatividad realizadas en el Planetario y el Centro Interactivo de la Ciencia y el Juego, donde se muestran las actividades que desde las escuelas y colegios de la región se llevan a cabo en torno al conocimiento del universo. Este proceso complementó la información obtenida del análisis cualitativo e interpretativo hecho a las representaciones externas de los universos, elementos que nos posibilitaron emitir juicios de valor sobre los resultados encontrados y sugerencias y recomendaciones

3.1.1. Análisis de las representaciones.

El grupo de representadores estuvo conformado por 20 profesores en ejercicio entre los cuales encontramos cuatro licenciados en Ciencias Sociales, dos licenciados en Humanidades y catorce profesores de formación en Ciencias, incluyendo una Química Farmacéutica que se desempeña como instructora del planetario, más nueve estudiantes de la licenciatura en Ciencias Naturales para la básica primaria. En las figuras 1a, 1b, 1c, 1d y 1e, se presentan

algunas de las representaciones externas de universos elaboradas por miembros de este grupo.

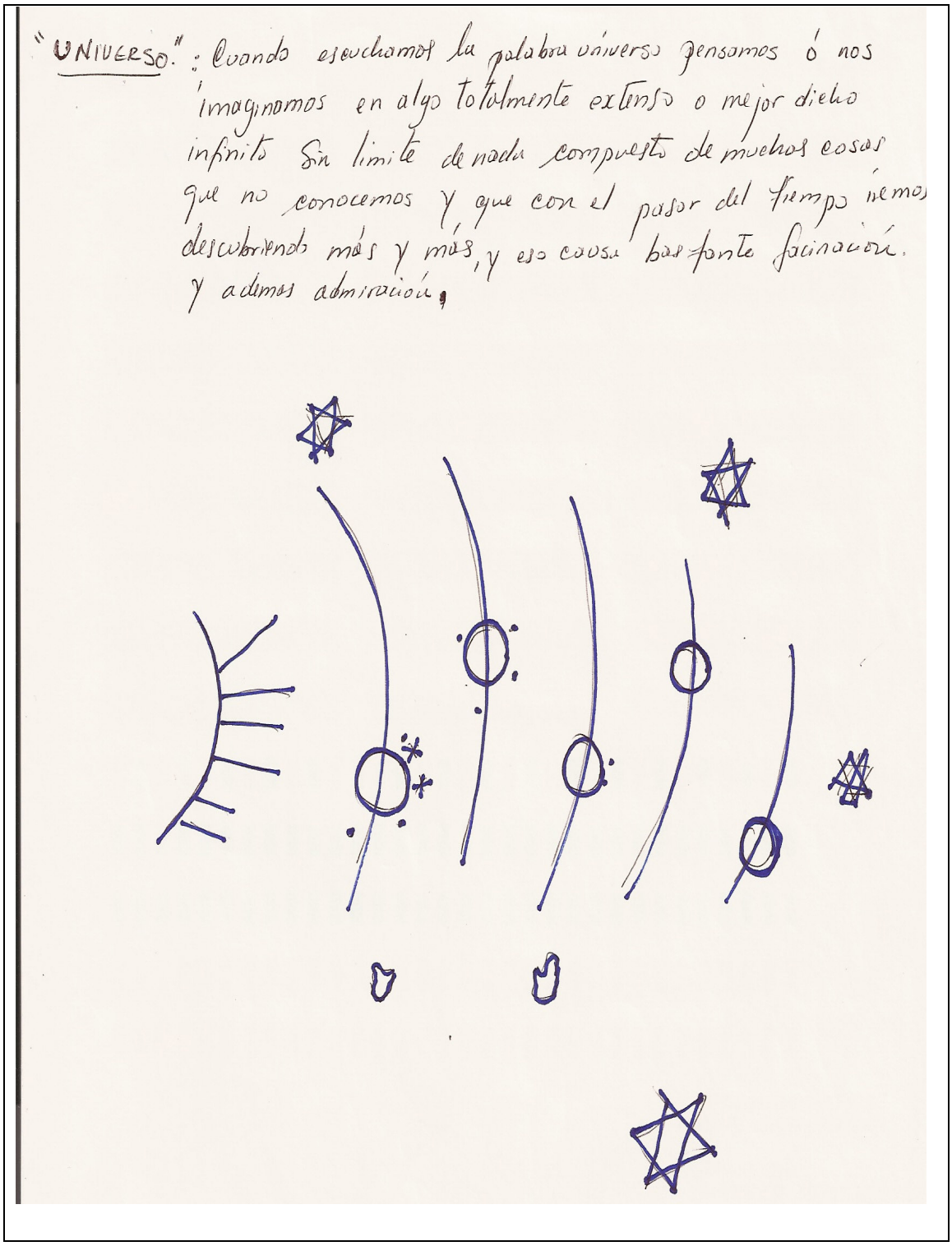


Figura 1a. Representación pictórica del universo complementada con explicaciones

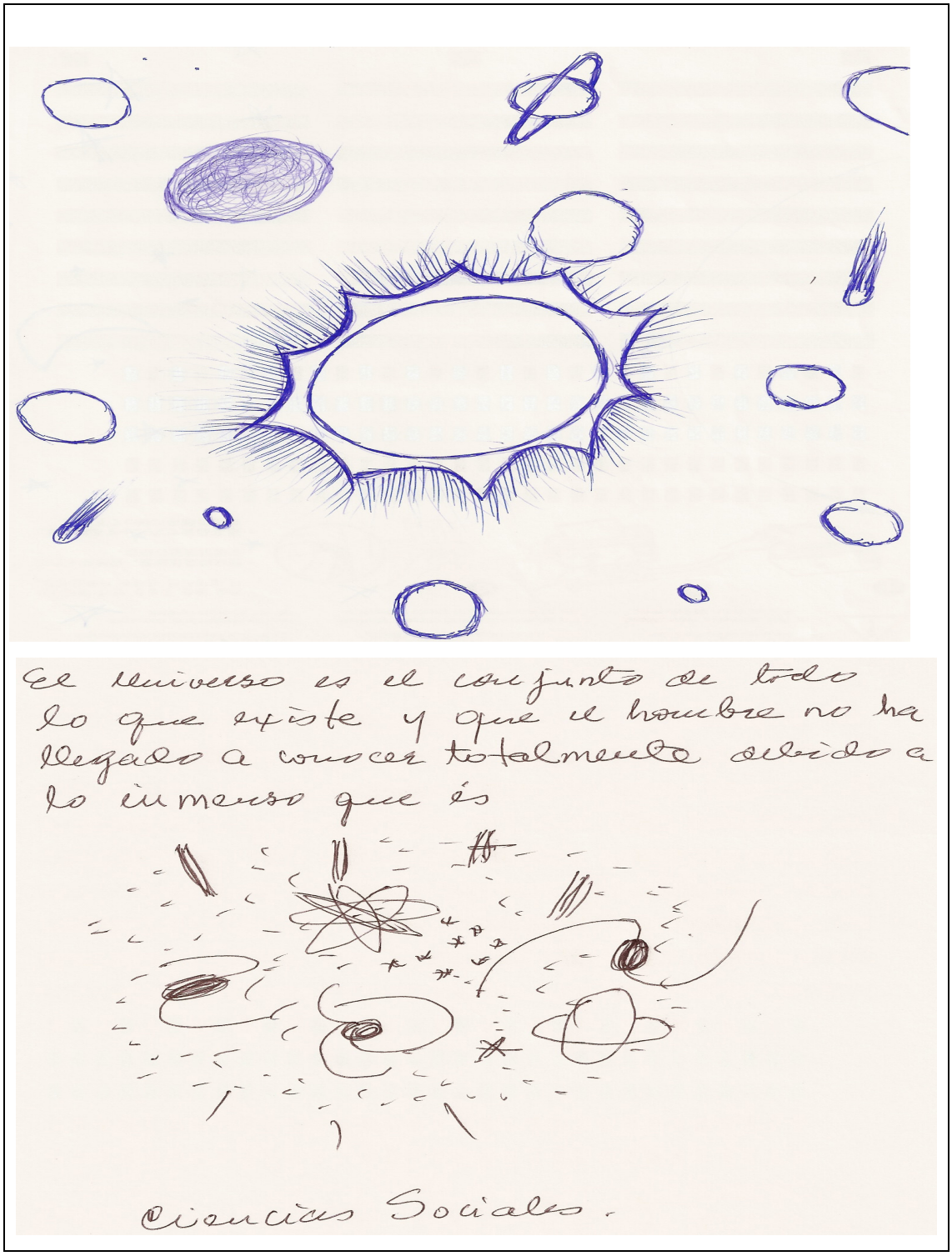


Figura 1b. Otras representaciones externas de universos, realizadas por miembros del grupo

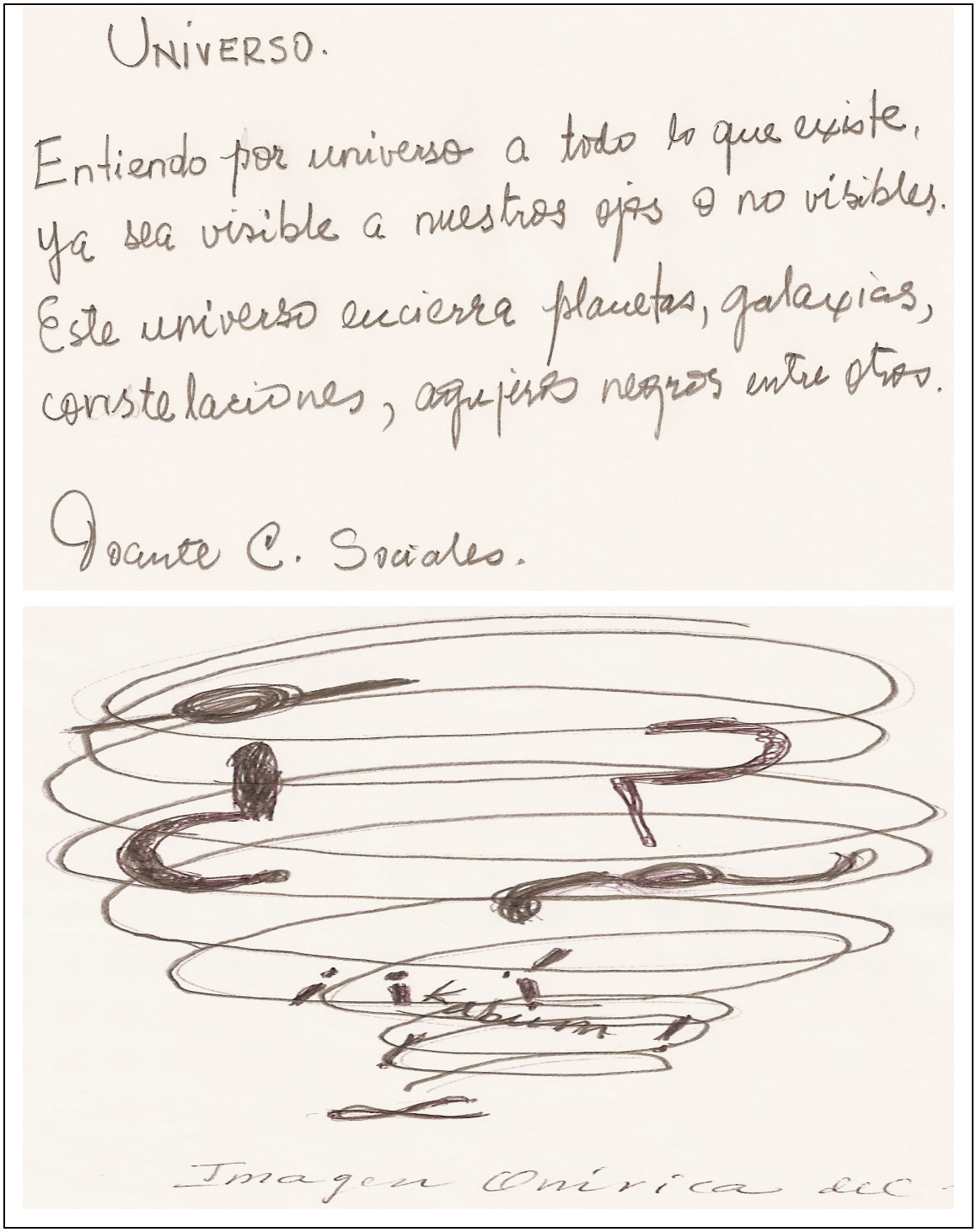


Figura 1c. Representación lingüística y pictórica del universo

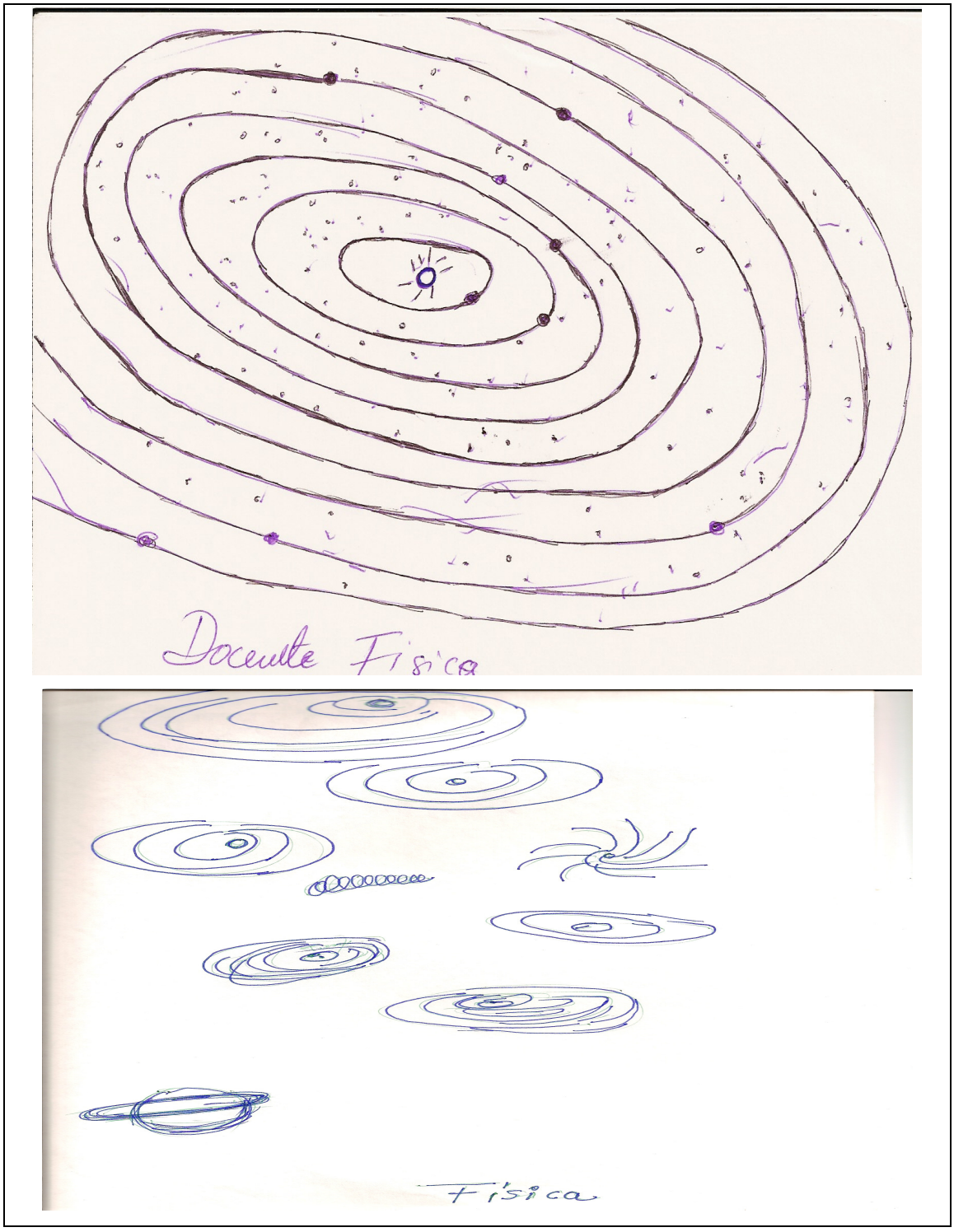


Figura 1d. Representaciones pictóricas de universos realizadas por miembros del grupo

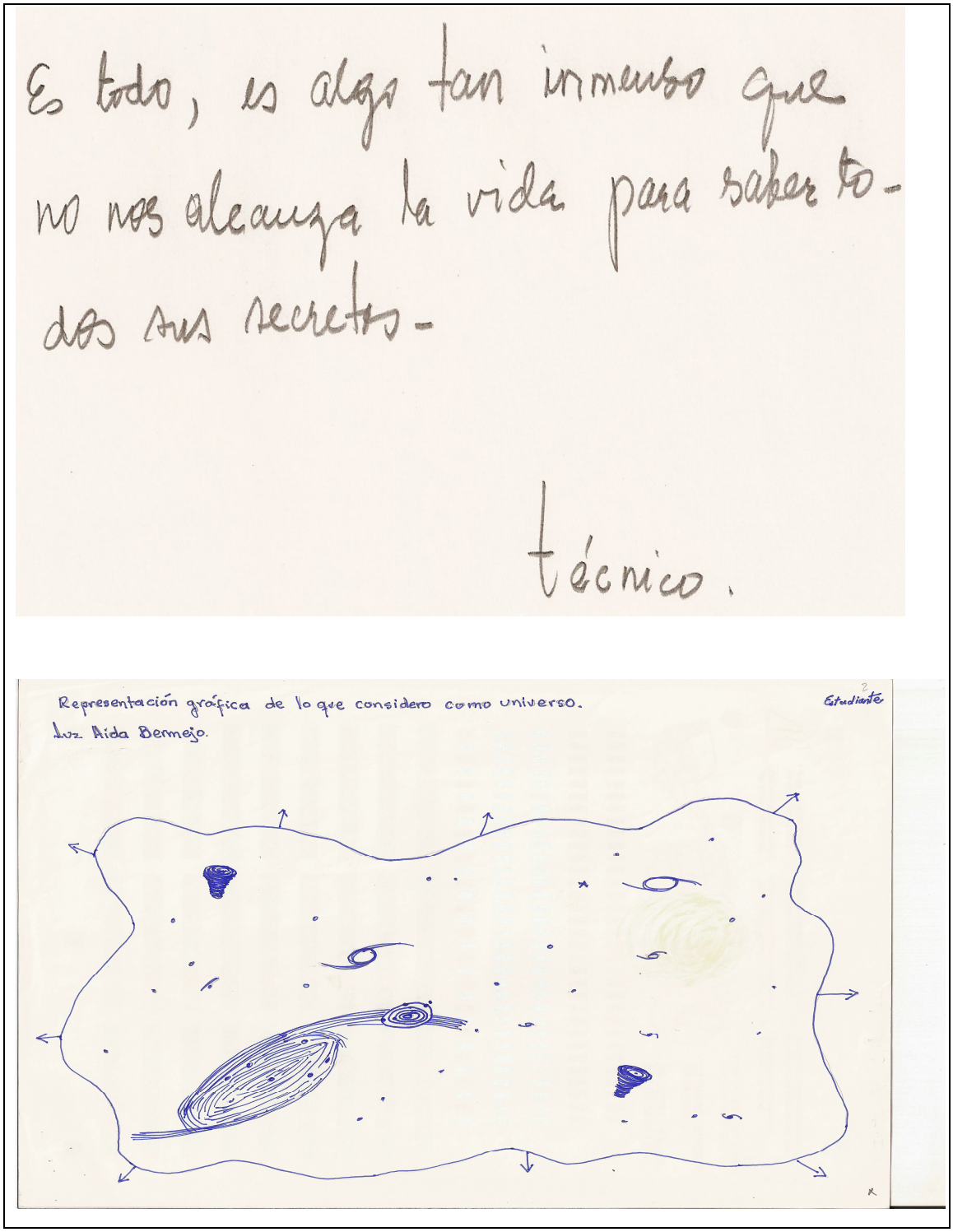


Figura 1e. Representaciones lingüística y pictórica de universos

Los "modelos de universos" elaborados por los 29 miembros de la muestra fueron caracterizados así:

a. UNIVERSO CONTEXTUAL

Se diferencian en esta categoría dos grupos: El primero, cuyas representaciones del universo están dadas en frases sueltas: "*el universo es todo lo que nos rodea", "lugar donde puedo hacer realidad mis sueños". "el universo para mí es todo donde estoy y más allá sin límite de espacio y tiempo"¨tan cerca pero tan lejos ¨..., "…capaz de proporcionar un mundo de posibilidades insospechables", c*omplementadas con palabras como "*vida", "relaciones", "luna, sol, tierra", enigmático¨, ¨apasionante*¨, entre otras, ver figuras 2a y 2b, lo cual nos permite inferir que estas personas asumen el universo en la acepción que el lenguaje común le da. Todo lo que de alguna manera tiene influencia en él. Es el contexto inmediato, lo que sus sentidos logran percibir. En las diversas expresiones encontradas, hallamos algunas que desvelan una concepción determinista, del cosmos, ´...*las estrellas, los planetas y la tierra y todo cuanto existe están hechos porque tienen su razón de ser"*.

En el segundo grupo encontramos representaciones que contienen imágenes complementadas con explicaciones, como puede verse en la figura 3. Sus representaciones denotan, como en el grupo anterior, una imagen del universo considerado éste como el contexto que ejerce más influencia en nuestro ser. En una de las representaciones podemos leer que el sujeto representador tiene información sobre elementos y sucesos que hacen parte de modelos conceptuales sobre el universo; sin embargo, en su representación pictórica expresa inclinarse más por su imagen particular del universo expresando entre otras cosas que éste

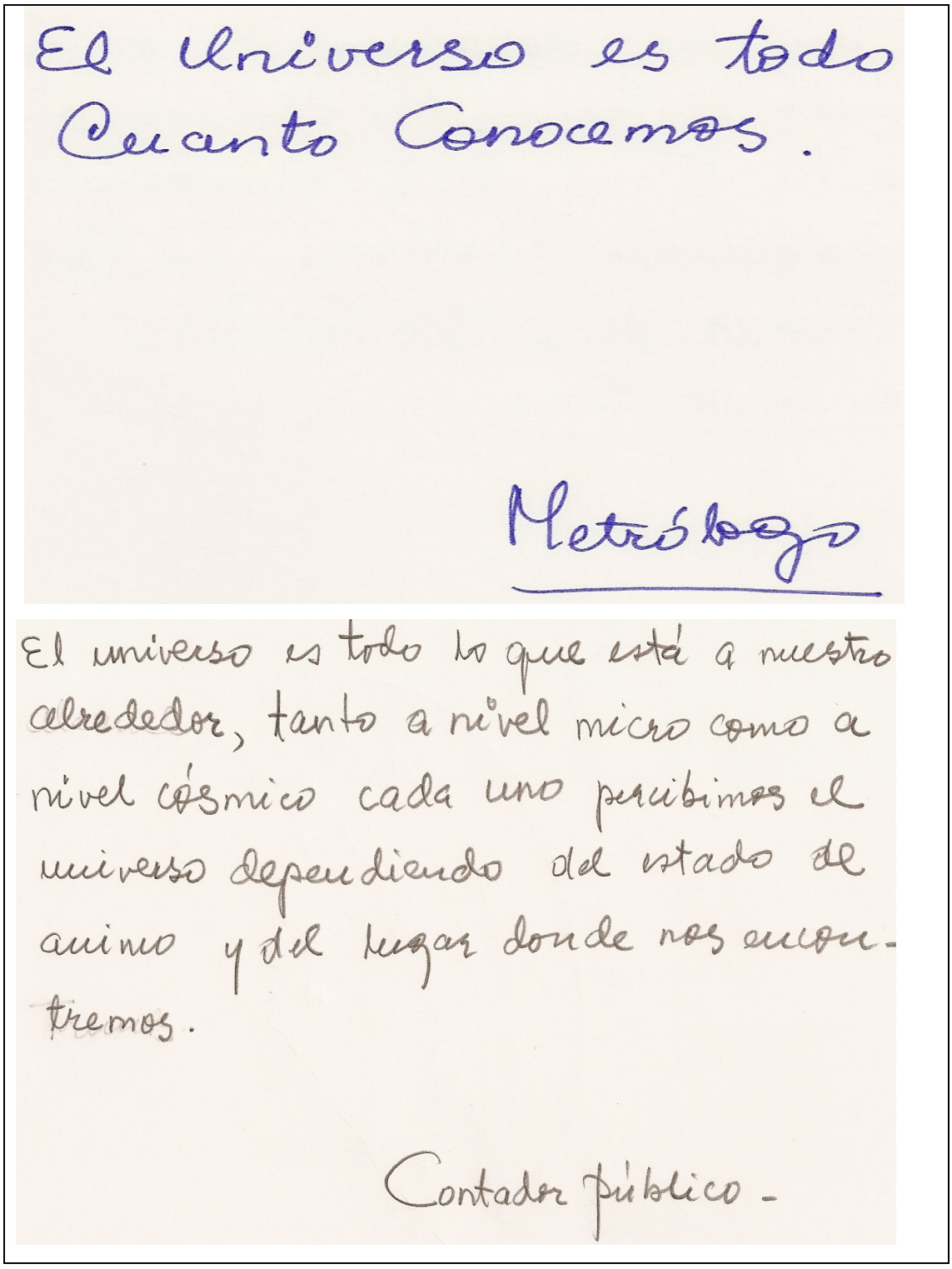


Figura 2a. Universo contextual. Grupo 1.

El Universo es todo lo que nos rodea y aún nosotros Hacemos parte del Universo, todo lo que existe, existe porque está Basado en un fundamento como lo es el Universo, las estrellas los planetas y la tierra y Todo cuanto existe están hechos porque tienen una razón de ser

Estudiante

Universo:

- Enigmático
- Inquietante
- Tan Cerca pero tan lejos
- Oscuro y claro
- Apasionante

Figura 2b. Universo contextual. Primer grupo.

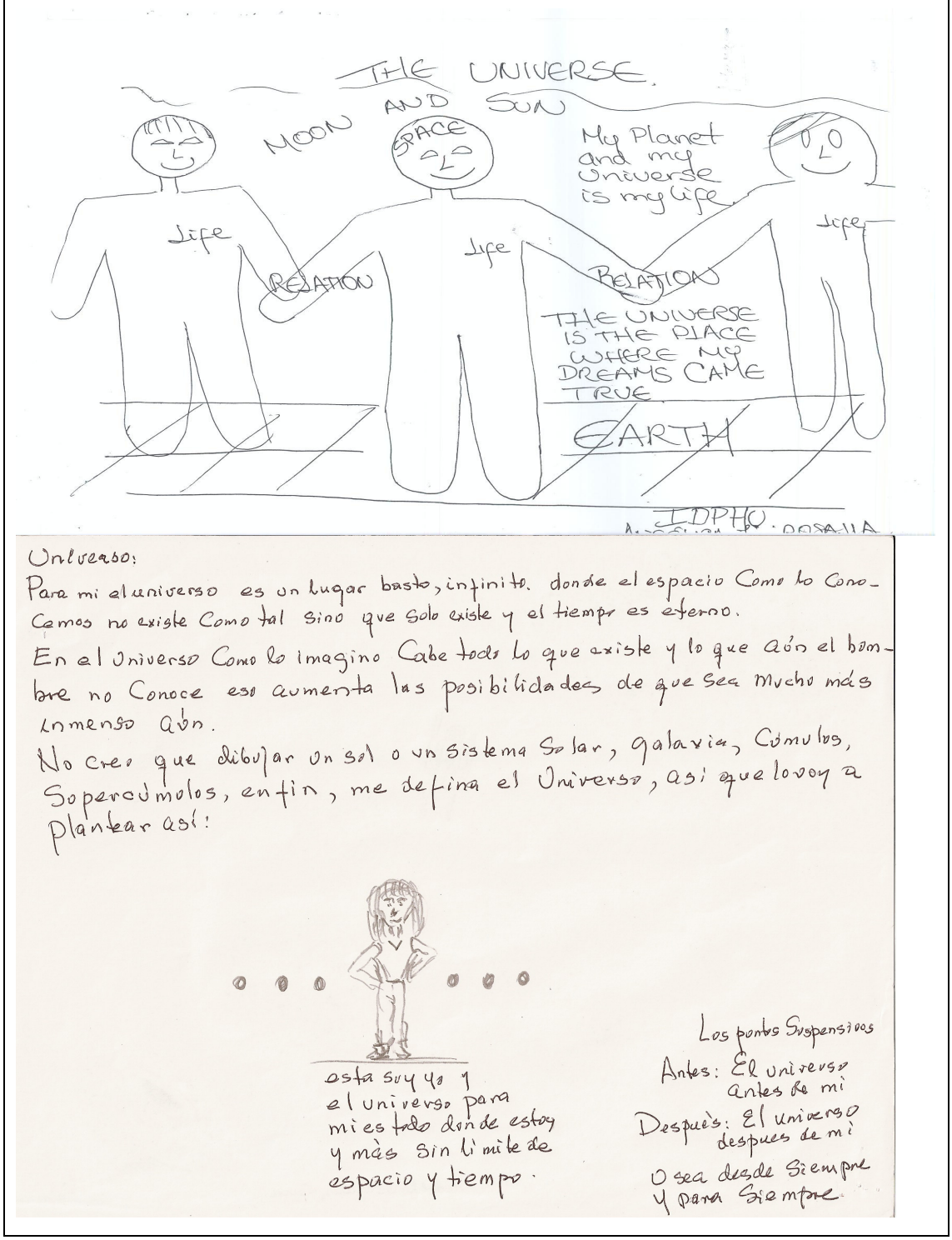


Figura 3. Universo contextual. Segundo grupo

expresar en palabras, ¨*el universo antes de mí y después de mi, o sea, desde siempre y para siempre"*. De acuerdo con las teorías representacionales, puede, coexistir en la cabeza de los individuos diferentes modelos que serán utilizados de acuerdo con la nueva situación a la que se enfrenta el sujeto. La representadora es instructora del planetario. Al indagar cuál rol desempeñaba, me informaron que la profesora hace parte del grupo que coordina y desarrolla actividades extracurriculares con los estudiantes en jornadas adicionales; la profesora ha demostrado que conoce y maneja los conceptos relacionados con el modelo estándar del universo, pues con base en éste trabaja el tema del universo con estudiantes que llegan al planetario a ampliar y/o profundizar sus conocimientos en torno a este tema.

b. UNIVERSO GEOCÉNTRICO

El tamaño de la tierra respecto al sol y de éstos respecto al mar de estrellas en que se encuentran embebidos, señalan la jerarquía de ésta, como se observa en la figura 4; puede leerse en sus explicaciones expresiones similares a las del grupo anterior ¨*el universo es todo lo que nos rodea* ¨, ¨ *es todo lo que existe, el agua, la gente, las plantas, los animales*¨, ¨*es todo lo creó Dios para complementar la vida humana.* Por un lado la jerarquía dada a la tierra y por el otro la presencia de un ser supremo que gobierna el universo, constituyen elementos que hacen parte de esa visión ptolemaica que perduró por más de 20 siglos y que posibilita expresar como muchos otros investigadores que aún en el siglo XXI Ptolomeo sigue vivo en las aulas de clases de colegios y universidades.

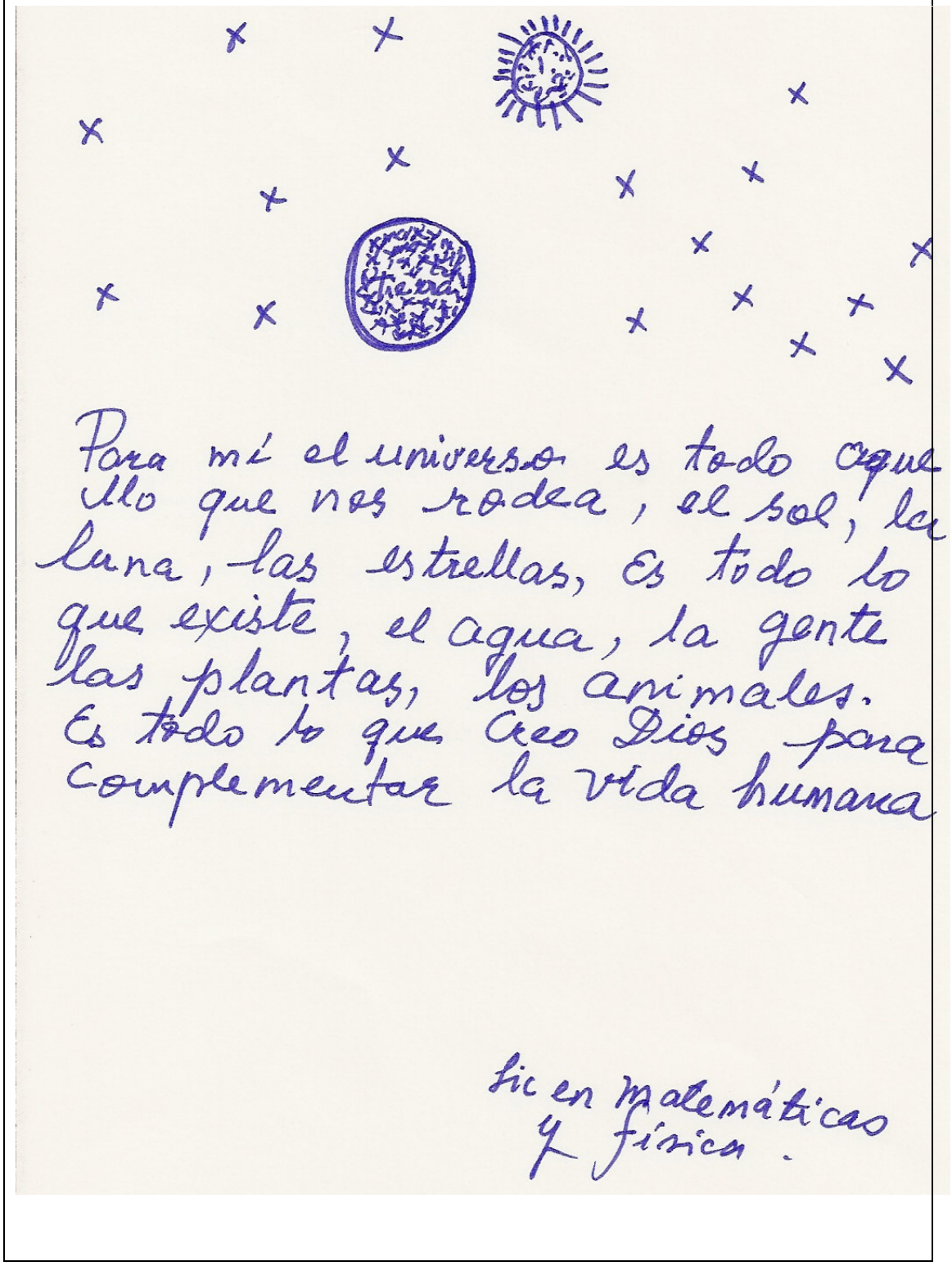


Figura 4. Universo geocéntrico

c. UNIVERSO HELIOCÉNTRICO

Estas representaciones externas del universo no van más allá del sistema planetario aunque cuatro de las cinco asumen la existencia de otras estrellas además de nuestro sol, el cual destacan por su tamaño, como se muestra en las figuras 5a, y 5b.

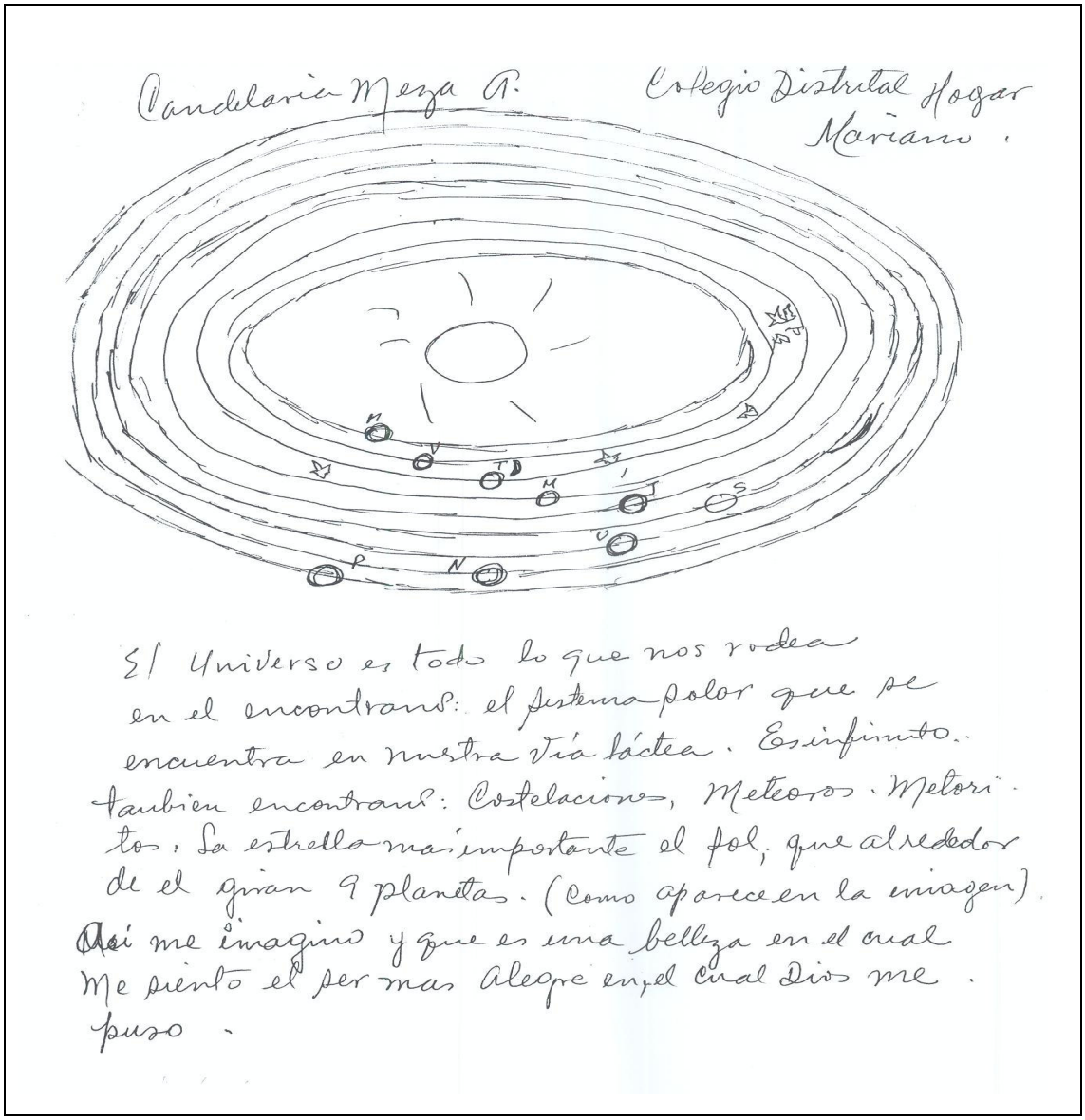


Figura 5a. Universo heliocéntrico. Representación pictórica complementada con algunas explicaciones.

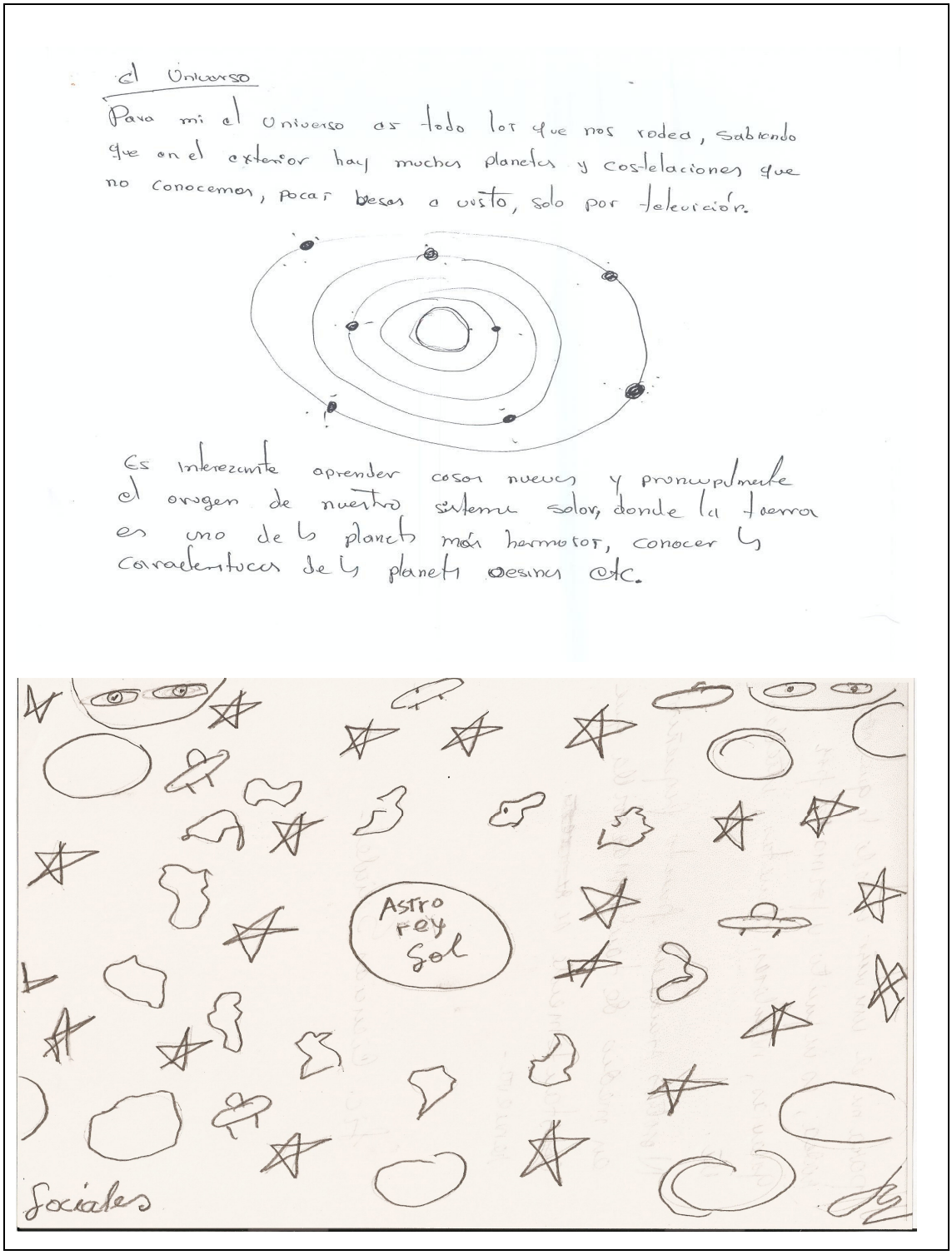


Figura 5b. Universo Heliocéntrico

De acuerdo con la revisión bibliográfica realizada y con la experiencia que se viene acumulando en las visitas diarias de estudiantes y docentes al planetario, parece que la tendencia de ubicar otras estrellas en el sistema

planetario no es exclusiva de estudiantes pues, tal como se ve en las imágenes que presentamos en las figuras 5a y 5b, algunos docentes suponen al sol acompañado, embebido en otras estrellas, creencia que les hace mostrarse escépticos y expresar admiración y extrañeza cuando en las visitas que realizan al planetario se les muestra el sistema planetario con una única estrella, nuestro sol.

d. UNIVERSO ACÉNTRICO

Los integrantes de este grupo no asignan al universo un centro preferencial; para algunos de los representadores el universo es un mar de estrellas en el que se encuentran embebidos los planetas y otros cuerpos, y para otros es una distribución homogénea de estrellas o de galaxias. Ello nos permite suponer que hay diferencias marcadas en estas representaciones. Para algunos el universo está repleto de planetas, estrellas, constelaciones dispuestos en forma desorganizada, como se muestra en las figuras 6a y 6b que hace pensar más en una imagen del cielo nocturno (universo saco) que en una clara concepción donde se expliciten las propiedades y relaciones fundamentales de sus constituyentes de acuerdo con las tendencias científicas recientes. En contextos distintos al nuestro, Afonso y otros (1995), encontraron resultados similares en la muestra que ellos indagaron; en la caracterización que hicieron le llamaron universo saco; representaciones que semejan el cielo en una noche obscura. En cuanto al dominio conceptual, no podríamos inferir de estas representaciones que se está frente a individuos que han comprendido y manejan las teorías cosmológicas recientes.



Figura 6a. Universo acéntrico. Grupo 1

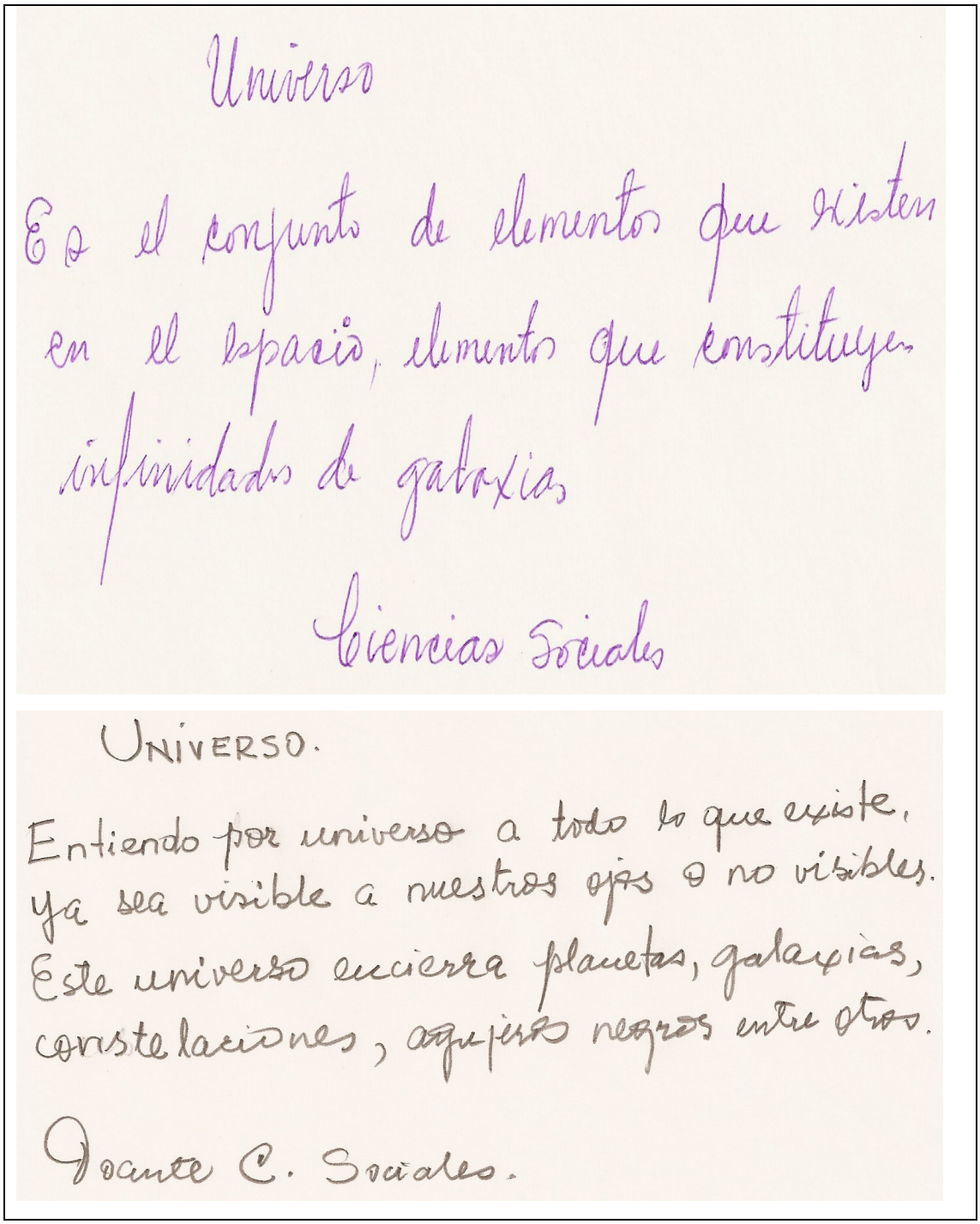


Figura 6b. Universo acéntrico. Grupo 1



Figura 6c. Universo Acéntrico. Primer grupo

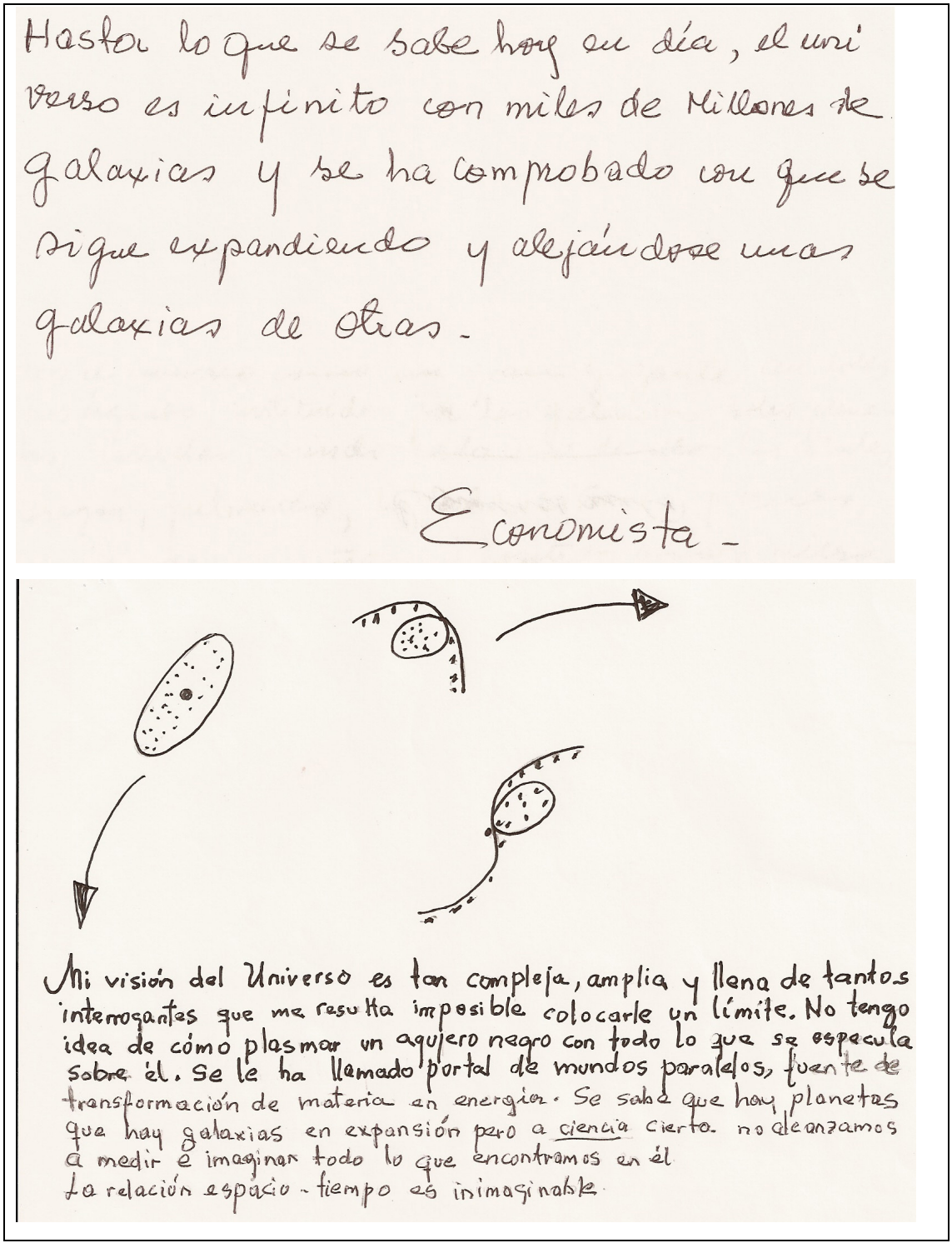


Figura 6d. Universo acéntrico. Segundo grupo

Para otros, el universo es acéntrico, homogéneo y constituido por bloques fundamentales como las galaxias, ver figura 6c. De las representaciones de este grupo, ¿podríamos inferir que sus autores entienden y manejan unos

conceptos aceptados científicamente que les ha permitido formar esquemas mentales e incluir en éstos elementos y relaciones básicas de los cuales pueden extraerse explicaciones válidas desde el punto de vista científico?.

Los integrantes del grupo dos tienen características comunes: Los ingenieros tienen vínculos estrechos con lecturas relacionadas con el cosmos; uno de los dos docentes de Ciencias Naturales ha venido participando con sus estudiantes en las ferias de ciencia y creatividad, tiene en el colegio club de Astronomía y participa en los viernes del educador algunas veces como ponente trayendo sus experiencias de aula, otros son instructores del planetario, uno es el director del mismo y otro un muchacho que desde niño se vinculó en los clubes de ciencia promovidos por la fundación, formando parte del club Eureka y colaborando en el centro interactivo; en su colegio tenía club de astronomía, del cual formaba parte trayendo a las ferias de ciencia sus trabajos. Ello rescata y valida lo que desde las teorías representacionales se viene esgrimiendo en el sentido de asumir el contexto como una de las variables más influyentes en la formación y evolución de las representaciones mentales; para Pozo(2.003), el hombre moderno, el habitante del siglo XXI, es desde la Ciencia Cognitiva un perceptor – representador cuyas representaciones del mundo real o imaginario están permeadas por el contexto cultural donde se mueven.

Con base en la consulta bibliográfica realizada, en el análisis de las representaciones externas del universo elaboradas por los integrantes de la muestra, el análisis de planes de estudio y consulta de los archivos de la Fundación referentes a las ferias de la ciencia y la creatividad, podemos hacer las siguientes

3.2. INFERENCIAS

- Frente a la temática que nos ocupa y como ya se expresó, los estándares curriculares nos permitieron desvelar que en los contenidos de Física que se sugiere desarrollar no se plantean temas que posibiliten al estudiante hacer representaciones internas coherentes y válidas respecto a los modelos del universo científicamente aceptados.

- Puesto que la Cosmología no hace parte de los currículos de ciencias en los diferentes niveles de la educación, lo que al respecto se estudia, no logra estructurar en la mente de los educandos una imagen clara y actualizada del universo; además, los avances científicos del siglo XX tampoco han cruzado el umbral de las aulas de clases de las instituciones educativas de los diferentes niveles de la educación, incluido el nivel profesional. Aunque de acuerdo con la revisión bibliográfica esta debilidad no es característica única de los currículos de ciencias naturales de la educación colombiana, es preocupante que en los albores del siglo XXI sigan egresando profesionales cuya preparación científica no les permite entender, comprender y manejar conceptualmente las teorías y fenómenos de la ciencia desarrollada a lo largo del siglo pasado y el presente, y mucho menos construir modelos, cuyos elementos y relaciones sean científicamente válidos.

- Las representaciones externas del universo dejaron claro el espectro conceptual de la muestra indagada; en cuanto a la fundamentación, algunas están direccionadas por creencias e ideas de sentido común que no van más allá de lo que la cultura griega aportó al desarrollo de la Cosmología; otras parecen estar sustentadas por un conocimiento más estructurado presentando

diversos estadios de desarrollo de acuerdo con el grupo en que fueron caracterizadas. Este espectro va desde proposiciones inconexas hasta modelos más estructurados, más coherentes y válidos científicamente, lo cual corrobora lo que investigadores como (Nussbaum y Novak, 1976; Toulmin, 1977; Gil(1993); Nardi y Pessoa, 1994 y otros) han señalado sobre la similitud que existe entre la evolución conceptual de los individuos y el desarrollo de la Ciencia a través de la Historia. Puede interpretarse el espectro referido anteriormente asumiendo, de acuerdo con Vega(2.001), que muchas de las ideas expuestas en las diferentes representaciones no alcanzan a conformar construcciones coherentes pues ellas provienen de un bloqueo conceptual que el profesorado arrastra desde su infancia.

- Interpretamos la presencia de estudiantes de licenciatura y profesores en ejercicio en las categorías menos estructuradas como un indicio de que la enseñanza recibida en las aulas en torno a temas de la Cosmología no posibilitaron una evolución racional de la idea del universo denominada de sentido común. La imagen del universo señalada por una profesora licenciada en Matemáticas y Física nos lleva a inferir que tampoco en las aulas universitarias se han tomado los temas de Cosmología como objetos de conocimiento, reflexión y formación profesional. Es de enfatizar que si no todos, la gran mayoría de los docentes de Ciencias Sociales y Humanidades caen en estas categorías, lo cual es verdaderamente preocupante pues ellos tienen la responsabilidad de introducir a los niños del quinto y sexto grado en el conocimiento del universo. Ello significa que en su ejercicio profesional en el aula de clases éstos docentes ponen en juego sus representaciones mentales del universo, lo que trae como consecuencia que sus estudiantes aprenden en función de estas representaciones y no las que científicamente deben aprender,

constituyéndose en un proceso de propagación de modelos no estructurados o erróneos; hecho que Camino(1995), señala como desafortunado por el efecto multiplicador propio de los maestros.

- La presencia de profesores y estudiantes en grupos de menor desarrollo desvela la poca influencia que sobre sus representaciones mentales del universo ha tenido la instrucción formal; en contraste, hemos de reconocer la incidencia de los medios de comunicación y la educación no formal en la transformación y/o evolución de las mismas pues los elementos incluidos en un gran porcentaje de las representaciones, que tienen que ver con términos de la Cosmología de frontera, acuñados y socializados por los medios de comunicación, indican claramente que los sujetos han involucrado en sus representaciones estos elementos, lo que implica reconocer que las representaciones son estructuras dinámicas; que *es posible rodar, recomponer recursivamente los modelos mentales o incluir en éstos alguna información; que ellos se recombinan de acuerdo con las situaciones con las que se enfrenta el sujeto, elemento que se tomó como fundamento de la propuesta metodológica que implementaremos, y que pueden evolucionar hacia representaciones más estables y científicamente aceptadas.*

- Las representaciones del universo que tenemos los sujetos no son requeridas por la cotidianidad. Ello supone que normalmente no somos conscientes de nuestra idea de universo; es por eso que algunos individuos permanecieron perplejos ante la solicitud de plasmar sus representaciones y algunos decidieron no entregarla mientras que otros expresaban la dificultad que tenían, pues era la primera vez que tenían la necesidad de pensar en esto. *¿Significa ello que algunas de las representaciones entregadas fueron modelos situacionales hechos ad hoc que quizá no*

corresponden a la realidad conceptual del sujeto?; o que, al tener en su cabeza unos primitivos conceptuales y/o tokens, las representaciones son producto de su combinación y correlación, lo cual valida asumirlas como producto del nivel conceptual del individuo?. En la presente investigación hemos retomado estos interrogantes.

- La concentración de docentes de Ciencias Naturales e instructores del planetario en el grupo más estructurado cuyas representaciones estuvieron más cerca de los modelos cosmológicos científicamente aceptados, indica la influencia del contexto cultural en su formación y evolución.

Y a las siguientes

3.3- SUGERENCIAS

Si la culturización científica es un imperativo categórico para el ciudadano del tercer milenio; si entendemos que la ciencia es una empresa colectiva con crisis y errores sometida a los mismos condicionamientos sociales que las otras actividades humanas; si aceptamos que conocimiento científico es el conocimiento crítico, nunca acabado, dinámico, revisable y por tanto provisional e incierto; si cultura es lo que nos queda cuando olvidamos lo que aprendimos; si la alfabetización científica y tecnológica supone tanto la aprehensión y desarrollo de los conocimientos como el posicionamiento de una actitud realista que capacite a los ciudadanos para desarrollar nuevos esquemas, nuevas pautas de comportamiento, en vez de reproducir viejos esquemas sociales o supuestas verdades incuestionables (Moreira, 2.003), los cursos de ciencias, tal y como actualmente se imparten en las aulas de las

instituciones educativas, no están aportando mucho a la cultura de sus estudiantes; por lo tanto:

- Quienes tienen la responsabilidad de formular e impulsar políticas educativas deben tener en cuenta que la efectividad de las reformas curriculares depende de la formación, actualización de los docentes en ejercicio y de la calidad de los procesos implementados en las carreras de formación del profesorado. Por ello es imprescindible adelantar procesos de formación – actualización – perfeccionamiento docente pues son ellos quienes en últimas deciden lo que se enseña y cómo se enseña.

- Es urgente promover un cambio en los procesos de formación inicial y continuada de los profesores que conlleve a la actualización y perfeccionamiento de éstos en los desarrollos científicos contemporáneos, su enseñanza, su aprendizaje, elaboración de materiales educativos apropiados, entre otros.

- Tanto en la formación inicial de los docentes como en la continuada deben implementarse estrategias metodológicas que busquen la formación de esquemas mentales científicamente válidos sobre los conceptos, teorías y fenómenos de la Física desarrollada a lo largo del siglo XX.

3.4. EN CONCLUSIÓN

- No podemos hablar de diferencias significativas y determinantes entre los integrantes de la muestra, pues en todos los grupos hubo docentes y estudiantes; tampoco puede decirse que la formación universitaria incide en el pensamiento del sujeto respecto al universo pues las representaciones de los integrantes de la muestra de diferente formación profesional, incluyendo los

docentes de las diversas áreas del conocimiento, no permiten afirmarlo; si podría inferirse en cambio, que el desarrollo de representaciones mentales del universo, válidas científicamente, no son producto de la educación formal, como se dijo antes. Al respecto, teniendo en cuenta la similitud de las representaciones de estudiantes y profesores, con Schoon(1995), podríamos señalar que muchas de las ideas alternativas del alumnado se originan en las aulas porque esas ideas son las que tienen los profesores. *Por otro lado, si no se encontró una diferencia marcada entre las representaciones de los miembros de la muestra a pesar de sus diversas profesiones y distintos niveles de formación podemos preguntarnos, ¿incide realmente la formación y el desempeño de los sujetos en las representaciones que tienen sobre el universo?. O, ¿será que el conocimiento científico que posee el sujeto no ha logrado ser funcional en el sentido de ser usado para hacer predicciones, inferencias y juicios de valor?;* es decir, para conformar en la estructura mental del sujeto representaciones válidas científicamente. Nos propusimos hallar respuesta a estos interrogantes en la presente investigación.

- En términos de la investigación educativa es preciso señalar con Johnson–Laird(1983), Goodman(1978), Bruner(1999), Moreira(2003), Greca(1998), Pozo(1998), (…), que en realidad la mente opera con el triple código representacional (proposiciones, imágenes y modelos mentales); que es posible desvelar e inferir las representaciones internas a partir de las expresiones de los sujetos y que el investigador puede aventurarse a formular hipótesis desde éstas sobre el desarrollo conceptual de los individuos.

- Los docentes son conscientes de la importancia e interés que los estudiantes muestran sobre la temática que nos ocupa pero se

muestran bastante tímidos frente a la posibilidad de desarrollarla dado que ellos no fueron preparados en su formación inicial ni se les ha dado la oportunidad de aprehenderlos en la formación continuada que han recibido, lo que nos permite señalar que el "aprender a aprender" forma parte de los discursos de los currículos y de los docentes pero no de la acción educativa.

Desde el referente conceptual de Johnson-Laird(1983), nos preguntamos;

- Las representaciones proposicionales caracterizadas en el primer grupo, ¿constituyen acaso objetos conscientes del pensamiento expresados en el lenguaje natural? O, ¿son éstas indicios de procesos conceptuales menos desarrollados?;

- Las representaciones pictóricas muestran características de un universo perceptible en el cielo estrellado de las noches oscuras, ¿implica ello suponer que éstas no se derivan de modelos mentales explicativos y predictivos?.

- ¿Son las representaciones más elaboradas modelos estructurados a través de los cuales quizá pueda inferirse que el individuo posee un "*esquema de acción"* del universo?. El objetivo de la presente investigación fué hallar respuesta a los anteriores interrogantes, a partir de los cuales asumimos tanto la hipótesis como las etapas de la investigación cuyas connotaciones explicitaremos más adelante.

En síntesis, la primera fase o fase exploratoria de la investigación nos permitió conocer:

- Representaciones sobre el universo de profesores en ejercicio y en formación.

- Sus características

- Los elementos que incluyen en la explicación de sus representaciones.

Si existen o no diferencias marcadas entre las representaciones de los profesores en ejercicio, estudiantes de licenciatura, profesionales no docentes y personas del común; es decir, si el grado y características de la educación formal recibida marca diferencia entre los modelos mentales de universo de los sujetos involucrados en la investigación.

¿Qué hacer con estos resultados?. ¿Para qué sirven?. ¿Qué sigue?. La investigación que nos proponemos adelantar constituye la segunda etapa de un proyecto macro que pretende incorporar en el discurso y la práctica profesional de los docentes una visión cosmológica más coherente con los avances científicos y tecnológicos de la época, que les posibilite implementar su enseñanza y promover su aprendizaje en los niños, niñas y jóvenes de los diferentes niveles de la educación, para lo cual desarrollaremos un proceso más exigente, que partiendo del análisis profundo de sus representaciones mentales sobre el universo, busca desvelar desde ellas, si lo que ha sido identificado como modelos mentales lo es en realidad, si tienen esos modelos mentales alguna estabilidad cognitiva y si las representaciones de los universos o modelos cosmológicos de los maestros indican el estado real de su

desarrollo conceptual; elementos que validaremos a través de una estrategia metodológica basada en la teoría de los Modelos Mentales de Johnson – Laird(1983) y de los Campos Conceptuales de Gérard Vergnaud(1993), que no sólo aspira lograr alguna evolución, transformación de esas representaciones internas de los sujetos, sino que busca incluir en los currículos de ciencias de los colegios donde trabajan los docentes temas propios de la Astronomía , Cosmología y ciencias afines.

4. JUSTIFICACIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Muchos son los trabajos de investigación que se han ocupado de explorar el pensamiento de docentes en formación y en ejercicio al igual que de estudiantes de primaria y secundaria en torno a temas relacionados con Astronomía, Cosmología y Física Moderna en general; Krauss(2.003); Vega(2.001); Lopez, y otros(1995); De Manuel(1995).

Es pertinente traer a colación algunas de las sugerencias y resultados de investigaciones realizadas en otros lugares y circunstancias, en aras de resaltar la importancia que en nuestro contexto tiene el trabajo de investigación que proponemos:

- *Ideas previas y cambio conceptual en Astronomía*. *Un estudio con maestros de primaria sobre el día y la noche, las estaciones y las fases de la luna*. Camino(1995), desarrolla un taller con profesores pertenecientes al grupo Esquel de Educación en Ciencias en el que trabajaron temas relativos al día y la noche, las estaciones y las fases de la luna. Aplicó pre y post test para conocer sobre el conocimiento inicial de los maestros, aplicar una estrategia metodológica basada en el cambio conceptual y luego conocer qué tanto habían avanzado los maestros en sus

conocimientos. La experiencia se desarrolló durante tres años; los talleres estuvieron direccionados por tres ejes conceptuales que fueron dinamizados en las reflexiones y las prácticas realizadas durante la experiencia. El análisis comparativo de los resultados obtenidos en el pretest y postest les permitió afirmar que hubo una verdadera evolución de las ideas previas existentes hacia una estructura conceptual mucho más coherente con los conceptos científicamente válidos.

- *Una aproximación a las representaciones de los alumnos sobre el universo*. Afonso López; Bazo González; y otros(1995), trabajaron con 68 estudiantes del primer grado de la primaria y 101 estudiantes de Geología de la secundaria en tres centros diferentes de la isla de Tenerife. Indagaron las ideas del universo que manejaban estos alumnos con la finalidad de diseñar una estrategia didáctica. Encontraron que la concepción mayoritaria de los alumnos es heliocéntrica aunque un elevado porcentaje (incluso mayor el número de estudiantes en secundaria que en primaria), mantiene la concepción geocéntrica; que los modelos de los estudiantes van desde el más simple, al que le llaman universo saco, el modelo geocéntrico, el modelo heliocéntrico , hasta modelos más elaborados y abstractos como los acéntricos, coincidiendo con el desarrollo histórico de las explicaciones del universo que la ciencia ha ido dando a lo largo de la historia y sugieren la necesidad de plantear nuevas investigaciones en esta línea ya que sólo podría modificarse las concepciones que tienen los estudiantes sobre el universo, conociéndolas con rigor pues ellas incluyen conceptos físicos que los docentes dan por aprendidos y que la práctica investigativa señalan no ajustados al conocimiento científicamente aceptado.

- *Análisis de las transiciones de la Física Clásica a la Relativística desde la perspectiva de cambio conceptual*; trabajo elaborado por Toledo y otros(1997), con 7 estudiantes; dos (hombres) de la licenciatura en

Ciencias Físicas y cinco (mujeres) de la carrera profesorado en Matemática y Física, en Buenos Aires. Los investigadores conscientes de la ruptura paradigmática entre la Física Clásica y la Relativística, buscaron encontrar aspectos relevantes que han impedido el aprendizaje significativo de los conceptos de la Física Relativística; encontraron que los estudiantes asumen la Física Relativística como una ampliación de la Física Clásica y no una teoría distinta; señalando que el aprendizaje superficial se da entre otros aspectos por la poca importancia asignada a los aportes epistemológicos en la instrucción sobre relatividad a pesar que estos pueden contribuir positivamente en el proceso de aprendizaje de estos conceptos.

- *Física Contemporánea en la escuela secundaria*. *Una experiencia en el aula involucrando formación de profesores(2.000)*; Ostermann y Moreira, desarrollaron una experiencia con estudiantes practicantes cuyo objetivo era promover la enseñanza de tópicos de investigación en Física de Partículas y Cosmología en la secundaria y en las asignaturas de Física General de la universidad asumiendo que las dificultades de los profesores en el dominio de los contenidos de la Física Moderna parece ser un obstáculo para su inclusión y desarrollo en los cursos de Física. Desde la perspectiva ausubeliana desarrollaron una experiencia de intervención directa con los futuros profesores y a través de éstos con estudiantes de secundaria, encontrando que, a pesar que los temas seleccionados (superconductividad y partículas elementales) pertenecen a la Física Contemporánea, que los sujetos no poseen los subsunsores adecuados para el entendimiento y aprehensión de estos temas y que por su naturaleza, los temas de superconductividad y partículas elementales son de difícil y escasa experimentación en clases, todos los futuros profesores reconocieron la necesidad de incluir en los currículos temas de la Física Contemporánea como estrategia de actualización y perfeccionamiento profesional pues ello les posibilita enfrentarlos sin temor en sus

respectivas clases pues unánimemente consideraron que ambos temas abordados habían despertado el interés en los estudiantes de secundaria. Los investigadores consideran que la actualización docente es imprescindible pues es inútil emprender reformas curriculares de avanzada sin profesores debidamente preparados y sin materiales adecuados.

- *Construyendo significado en Mecánica Cuántica;* Greca y Herscovitz en el año *2.000,* trabajaron principios fundamentales de la Mecánica Cuántica: Superposición de estado; principio de incertidumbre, distribución de probabilidades y el problema de la medida; asumiendo que la superficialidad del conocimiento adquirido por los estudiantes a través de la instrucción que reciben en la Universidad en las disciplinas cuyos currículos incluyen estos temas, sólo sirve para "pasar la materia"; es decir, no les dejan una estructura conceptual firme capaz de posibilitarles explicar los fenómenos del mundo en que viven. Para las investigadoras, puesto que la mayor parte de los estudiantes investigados intentaron explicar los nuevos fenómenos desde la perspectiva clásica es importante, para comprender los nuevos conceptos, ayudarles a construir modelos mentales que funcionen no sólo para darle sentido al mundo en que viven sino que sean capaces de proporcionarles explicaciones y predicciones coincidentes con las científicamente aceptadas. Los resultados encontrados con la aplicación de una estrategia metodológica basada en las teorías representacionales, específicamente en los modelos mentales de Jonson-Laird, reforzada con la dinámica del trabajo en grupo asistido por los profesores, les permitió concluir que es posible facilitar el proceso de formación de modelos mentales que incorporen los nuevos conceptos que propician la percepción de los fenómenos microscópicos sin necesidad de echar mano a los conceptos clásicos que los estudiantes ya poseen. Las autoras recalcan la importancia de que los docentes del nivel medio tengan una idea clara de los fenómenos y principios de la Física Moderna y una actitud diferente frente a su enseñanza.

- *Algunos problemas en la enseñanza de la Relatividad.* Perez y Solbes, (2.003); trabajaron con los estudiantes las ideas de espacio, tiempo, marco de referencia, masa, velocidad de la luz, principio de relatividad y energía, basados en la hipótesis que, en general, frente a la relatividad los alumnos se encuentran ante una nueva situación desde la cual no pueden acudir a experiencias cotidianas para aceptar la plausibilidad de la teoría o para corroborar la eficiencia de la misma. Hicieron análisis de textos y aplicaron a profesores un cuestionario para tener referentes y hacer correlaciones. Encontraron que, en general, ni los textos presentan adecuadamente los conceptos analizados ni los profesores los enseñan como debe ser pues éstos conceptos son presentados a los estudiantes en forma acrítica y poco reflexiva, lo cual propicia en los alumnos su aprendizaje superficial. Al cuestionar sobre la comprensión de los temas de la Física Moderna por parte de los estudiantes, asumen la importancia de emprender procesos que posibiliten su estudio y comprensión a este nivel de la educación entre otras razones porque el estudio de la relatividad, como tema esencial de la Física Moderna, proporciona en éstos una visión más real de cómo se desarrolla la ciencia, muestra cómo ha influido la Física Moderna en la tecnología y en el pensamiento y la cultura de la modernidad y proporciona explicaciones a fenómenos de interés para los estudiantes.

- *Enseñanza por cambio conceptual: de la Física Clásica a la Relatividad.* Alemáñ y Perez Selles(2.000), eligieron seis alumnos con dominio correcto de la Mecánica Clásica que voluntariamente aceptaron participar en un seminario de fin de año sobre temas de la relatividad: simultaneidad de dos sucesos, dilatación del tiempo, contracción de la longitud, el tiempo y la cuarta dimensión, geometría del espacio – tiempo curvo, la expansión del universo; asumiendo la estrategia metodológica del cambio conceptual desde la cual aceptan que los alumnos deben concebir el aprendizaje de

nuevas teorías científicas como el enriquecimiento de un abanico de opciones entre modelos alternativos cuyo poder explicativo resulta ser progresivamente creciente, sin desechar alguno por erróneo. Encontraron que aunque no es complicado plantearles a los estudiantes las ideas fundamentales de la Relatividad en contraste con las de la Física Clásica, el pensamiento mecanicista heredado desde la Física Clásica es un obstáculo para entender las nuevas ideas. Asumen los investigadores que las dificultades de los alumnos para entender las nuevas relaciones se debe al poco hábito de concebir el mundo físico como un entramado espacio temporal, aunque es posible acercarlos a éste, a través del cambio conceptual sucesivo en el que un marco intelectual es subsumido por la otra versión de mundo.

- *Modelos mentales y aprendizaje de la Física en Electricidad y Magnetismo.* Greca y Moreira(1995), se propusieron investigar a qué nivel de representación mental (proposiciones, imágenes o modelos mentales) operan los estudiantes de la Universidad cuando resuelven problemas o cuestiones teóricas referidas al concepto de campo electromagnético. La investigación se realizó en 1994, en dos semestres consecutivos, con alumnos de ingeniería que cursaban la asignatura Física General II, los cuales veían por primera vez este concepto. Hicieron un estudio piloto con 31 alumnos del primer curso y con el segundo curso intentaron cambiar los núcleos de los modelos mentales encontrados aplicando una estrategia metodológica basada en la interacción entre los miembros de los grupos conformados y entre grupos para la solución de trabajos prácticos, la reflexión y el debate en torno a las soluciones presentadas con la presencia del profesor a quien podían consultar libremente. Los investigadores encontraron que es posible ayudar a los alumnos a formar modelos mentales estructurados y coherentes propiciándoles el aprendizaje del marco conceptual de la teoría y enseñándoles la forma como operan los científicos para generar sus propias representaciones.

- *¿Por qué hay veranos e inviernos?. Representaciones de los estudiantes (12 – 18) y de futuros maestros sobre algunos aspectos del modelo Tierra – Sol. De* Manuel*(1995),* trabajó con 904 estudiantes pertenecientes a 11 centros de enseñanza primaria y secundaria de Cataluña y 50 estudiantes del magisterio de dos escuelas universitarias de formación del profesorado. Encontraron que pocos estudiantes dieron explicación satisfactoria al por qué de veranos e inviernos. La explicación más común fue en términos de la distancia entre la tierra y el sol (verano más cera, invierno más lejos) con dos categorías; aquellos estudiantes que explicaron el calor o el frío mínimamente por la distancia al sol y los que además mencionaron el eje de rotación terrestre. Sugiere abordar temas de Astronomía en los currículos de Ciencias de primaria y secundaria como estrategia que posibilita anclar en la mente de los estudiantes modelos que se aproximen más a los validados científicamente. Aunque no hacen referencia específica a los resultados encontrados en los estudiantes del magisterio, sugieren adelantar investigaciones similares en adultos con el fin de establecer si en éstos se dan las mismas carencias conceptuales que en los niños respecto a temas fundamentales de la astronomía.

- Gil, Senet y Solbes (1986) en un estudio acerca de la enseñanza de la Física Moderna en la secundaria, encontraron que la enseñanza de los aspectos más modernos de la Física estaba relegada en los planes de estudio y que cuando se enseñan, se hace en forma poco estructurada de forma que no deja en los estudiantes ideas claras sobre las dificultades no superadas por la Física Clásica que dieron origen a la Física Moderna. Igualmente, Hewson (1982), Villani y Pacca (1987), trabajando con la estrategia del cambio conceptual coinciden con los anteriores investigadores en sus conclusiones y asumen que la Relatividad supone una formulación nueva de los conceptos clásicos de espacio y tiempo. Así mismo, Fagundes(2.003), expresa que vale la pena que el hombre

moderno conozca si el universo se está acelerando o frenando en su expansión, pues en última instancia, considerándonos habitantes de éste, es interesante conocer detalles de nuestra casa.

Estos trabajos, realizados en lugares y circunstancias diferentes a las nuestras nos permiten afirmar con Peduzzi(1994), Moreira (2.000), Greca y Moreira(2.002), Gil (1993), Alemáñ(1997), Afonso y otros(1995), que después de 20 siglos Ptolomeo sigue reinando en las estructuras conceptuales de quienes consciente o inconscientemente están anclados en su cosmología y la física de Aristóteles, o quizá, agregamos los autores del presente trabajo, en el mejor de los casos, en el universo heliocéntrico de Copérnico y la Física Mecanicista de Newton.

Moreira(2.000), admite que son concepciones alternativas que han sido aprendidas significativamente y que son difíciles de erradicar; el movimiento absoluto, tiempo y espacio absoluto y, como consecuencia, direcciones preferenciales, son apenas algunos referentes que indican la coexistencia de concepciones insertas en las antiguas cosmologías que conviven en las estructuras mentales con cosmologías más recientes y renovadas que admiten la materialidad de los astros y su similitud con la tierra, que perciben como natural que el universo sea ilimitado pero no infinito aunque mantengan desconectados los mundos infinitamente pequeño e infinitamente grande.

Consideraciones que nos permiten inferir que el panorama complejo e interesante de las recientes cosmologías no ha traspasado el umbral de las aulas, que quizá son pocos los profesionales de hoy que han tenido la posibilidad de estudiar, analizar y comprender por ejemplo, que la materialidad del cosmos plantea la convergencia de los problemas de los universos infinitamente grande e infinitamente pequeño.

Si, como lo expresó Alemáñ(1997), detrás de los modelos cosmológicos actualmente aceptados por la comunidad científica hay un cuerpo de conocimientos complejo y profundo en el cual han vertido su producción científica las teorías desarrolladas a lo largo del siglo XX que en su conjunto han revolucionado nuestra concepción del mundo y nuestra visión cosmológica del universo, es necesario abordar en forma reflexiva, sistemática e independiente el estudio de las Cosmologías Modernas y de la Astronomía y no como se da actualmente en los currículos de ciencias de las Universidades, como parte del curso de Física Moderna que se desarrolla.

Greca y Moreira(2.000); Alemán(1997); Afonso y otros(1995); Larios y Caballero (2.003); opinan que el dominio de las teorías cosmológicas que fundamentan los modelos del universo actualmente aceptados proporcionan a los individuos perspectivas o mejor, representaciones mentales más coherentes y funcionales para la comprensión de los fenómenos y problemas a los que se enfrenta. Para Alemáñ(op.cit.), ignorarlos supondría un retraso intelectual imperdonable, sobre todo para quienes tienen la responsabilidad de educar las mentes de los estudiantes hacia un futuro preñado de desafíos.

Teniendo en cuenta que, actualmente se busca respuesta a los interrogantes sobre el universo desde una Física que trasciende los conceptos que manejamos cotidianamente para dar cabida a nuevas ideas acerca de la naturaleza de la materia, espacio y tiempo, que la alternativa frente a la situación descrita es propiciar mecanismos, vías de acceso a un conocimiento profundo, fundamentado de los modelos cosmológicos científicamente válidos y de las leyes y principios que los fundamentan, que se precisa adelantar acciones que busquen tender un puente que comunique lo que se hace en los

laboratorios científicos y lo que se dice y se hace en las facultades formadoras de formadores, en cuyo seno se implementa la preparación científica de los profesionales de la educación en el área de Ciencias Naturales y Matemáticas en específico y en otras áreas relacionadas con la Ciencia y, que la exploración y análisis de los modelos mentales de los individuos ha sido un campo potencialmente productivo en cuanto a los procesos que subyacen a la cognición, nos propusimos experimentar con los docentes un enfoque didáctico inspirado en las teorías de Johnson–Laird y Gérard Vergnaud que buscara tanto la actualización de los conocimientos científicos abriendo caminos hacia los horizontes que la ciencia y la investigación actual ofrecen, como el entendimiento, evolución y enriquecimiento de las representaciones mentales de los profesores sobre el universo y los modelos cosmológicos que lo explican, para lo cual nos planteamos las siguientes

5. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

5.1. Las representaciones internas de los profesores, que en la investigación exploratoria interpretamos como modelos mentales localizados en la memoria de trabajo, ¿son representaciones inestables, dinámicas, en el sentido de hacer posible su evolución, transformación, enriquecimiento, o debido a su funcionalidad y poder explicativo y predictivo están en la memoria de largo plazo, lo cual significa que son esquemas mentales aprendidos significativamente y por lo tanto, más difíciles de transformar?

5.2. *¿Cómo ocurre el cambio, evolución, enriquecimiento conceptual? ¿Es posible lograrlo a través de una estrategia metodológica?.*

6. HIPÓTESIS

Es posible generar cambio en el sentido de evolución, enriquecimiento conceptual si colocamos a los individuos en situaciones, problemas, experiencias, que les exijan explicitar, sustentar, poner a prueba sus representaciones mentales sobre el universo, los elementos que incluyen para explicarlo y los referentes teóricos que los fundamentan.

7. OBJETIVOS

7.1- GENERAL

Experimentar una estrategia metodológica que busca la evolución – transformación de las representaciones mentales que tienen los maestros de ciencias sobre el universo y los modelos cosmológicos que lo explican.

7.2- OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Identificar los argumentos que manejan los docentes para sustentar sus modelos cosmológicos.

- Generar un proceso de reflexión crítica frente a la funcionalidad de la representación mental elaborada colocando al docente en la necesidad de interaccionar con situaciones, problemas, eventos y dar explicación a la luz de su modelo del universo.

- Indagar sobre la estabilidad de las representaciones mentales de los docentes en términos de su permanencia en el tiempo y a través de las situaciones y problemas enfrentados.

- Indagar si existe coherencia entre los modelos mentales de los docentes y su desarrollo cognitivo evidenciado en las

argumentaciones que presentan para sustentar sus modelos y las relaciones que establece entre éstas.

- Generar un proceso de actualización mediante la aprehensión de las bases conceptuales que sustentan los modelos cosmológicos científicamente aceptados.

- Acopiar información sobre el proceso desarrollado y derivar inferencias en términos de los resultados.

8. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

8.1: DESDE LA CIENCIA

Con base en documentos consultados, hemos acopiado información científica en torno al desarrollo histórico de los modelos cosmológicos a partir del cual se ha elaborado una traza del proceso creativo de quienes se dedicaron a descubrir, explicar y desentrañar los secretos del cosmos desde la antigüedad hasta nuestros días; esto es, desde los mitos, leyendas e intentos de nuestros antepasados de construir un modelo explicativo, hasta los modelos conceptuales estructurados desde los cuales nuestros contemporáneos han dado explicación a muchos de los interrogantes planteados.

Desde el momento en que el "homo sapiens" tomó conciencia de su presencia en el universo, se formuló preguntas en torno a su inmensidad y se sobrecogió al contemplarlo. El origen, la evolución, la naturaleza del universo y la búsqueda de explicaciones para los fenómenos naturales ha generado, a lo largo de la historia de la humanidad, un sinnúmero de hipótesis y conjeturas que el hombre planteó y resolvió inicialmente desde lo místico, religioso y filosófico

y posteriormente a través de teorías científicas más coherentes y estructuradas, en la aventura por confirmarlas o negarlas.

¿De qué está formado el universo?, ¿cómo han evolucionado sus componentes?, ¿qué fuerzas lo dominan?, ¿existe un solo universo material o muchos de diferente naturaleza?, ¿el universo ha existido siempre o tiene un origen y tendrá un final?, ¿estamos solos en el universo?..., son preguntas que en la historia del desarrollo de la ciencia han generado controversias, despertado encarnizados debates, originado avances teóricos y tecnológicos que a la vez han permitido formular nuevas preguntas cuya solución ha sido un reto para el mundo científico de todos los tiempos.

Historiadores de la ciencia y científicos, entre los que mencionamos a Hull(1973), Arnau(1994), Peduzzi(1998), Peebles(2.001), Krauss(2.003), señalan que en el siglo VI los griegos comenzaron a sustituir los mitos por la razón y a percibir la existencia de principios generales que orientaron la formulación de sus hipótesis y la estructuración de sus teorías en sus tentativas por conocer el mundo en que vivían, la naturaleza de la materia y la existencia del cosmos; para los autores citados, este es el punto de partida del desarrollo de la ciencia. Debemos anotar que en el siglo VI antes de Cristo, los griegos no estaban unidos políticamente; vivían en estados – ciudades independientes, como Atenas, Corinto, Esparta, Mileto y Samos. La ciencia griega nació entre los Jonios del Asia Menor, cuando sus empresas mercantiles les pusieron en contacto con Egipto, Fenicia y Babilonia.

El pensamiento de los primeros filósofos jónicos estuvo direccionado por su curiosidad en torno a la naturaleza del mundo. ¿De qué esta hecho?, fue la pregunta que entonces se hicieron y

que ha permanecido vigente a lo largo de las cosmologías, influenciando no sólo la filosofía y la religión sino también las ciencias, en particular la Física y la Química. Para los antiguos griegos, las innumerables sustancias diferentes de que se compone el mundo no son tan diversas como parecen, sino que en realidad son distintas formas de un solo elemento fundamental (el apeirón), o combinaciones diferentes de los cuatro elementos (tierra, agua, aire y fuego) considerados por Empédocles y Aristóteles. Esta idea se convirtió en un principio general de la Física y la Química; sin embargo, la idea de la existencia de un solo mundo material enunciada en primera instancia por Anaxágoras y confirmada por Galileo cuando apuntó su telescopio hacia los astros ha venido siendo validada de tal forma que, hoy por hoy, cuando ya se tiene certeza sobre la materialidad de los astros, se buscan datos concluyentes sobre la materialidad del espacio interestelar.

Para tender un hilo conductor en el recorrido histórico, lo hemos dividido en períodos con características bien definidas, marcadas por la época en que se desarrollaron. El primero va desde el siglo VI antes de Cristo hasta la edad media. Demarcamos como un período, con connotaciones específicas, el que va desde el siglo XVI hasta principios del siglo XX y el último, el más fecundo, trata sobre las cosmologías del siglo XX y lo que se espera en el presente siglo.

8.1.1. COSMOLOGÍAS DE LA ANTIGÜEDAD.

Del Siglo VI antes de Cristo hasta la invención del telescopio.
TALES DE MILETO, es el primero de los filósofos de la naturaleza, el científico jonio más importante y también el primer científico griego de relevancia; matemático, astrónomo y filósofo, intentó construir una cosmología racional en la que el agua tenía el papel de sustancia fundamental. Sostenía que toda cosa material es, en

último término agua. Para él la tierra es un disco plano que fluctúa sobre el agua. La Bóveda Celeste, es el límite superior del mundo; de su límite inferior, es decir, sobre lo que se asentaba el océano nada se sabe por la poca información sobre la obra de este filósofo. Se infiere que, siendo el agua la sustancia primigenia no precisaba de nada que la soportase siendo posiblemente considerada como infinita en su extensión.

ANAXIMANDRO, alumno destacado de Tales quien también como su maestro es de la ciudad de Mileto, impugna la escogencia del agua como materia primordial pues la materia seca se diferencia de la húmeda por la ausencia del agua. ¿Cómo puede ser explicada la naturaleza de los cuerpos secos si carecen del elemento primordial?. Propuso como sustancia un algo misterioso, indefinido e ilimitado que no debe poseer las características de caliente – frío, húmedo – seco. El "Apeirón" no es ni el agua ni cualquier otro de los llamados elementos, sino algo diferente, de naturaleza ilimitada, del cual todos los cielos surgen y los mundos contenidos en ellos. *Esta idea mística de lo "indefinido", como sustancia misteriosa, que impregna el universo constituirá con el paso de los siglos uno de los paradigmas de la Filosofía e incluso de la propia Ciencia, que más ha perdurado en el tiempo*. (Arnau ,1994). En la actualidad los cosmólogos no dudan de la existencia de una sustancia que impregna el universo a la que han denominado "energía oscura", "materia oscura", la cual es responsable de buena parte de la materia necesaria que el modelo cosmológico estándar asume para dar respuesta a muchos de los interrogantes planteados en términos de su geometría.

Anaximandro concibe que el firmamento gira alrededor de la estrella polar, por lo que dibujó el cielo como una esfera completa y no como el arco semiesférico que cualquiera puede observar por las

noches; la esfera albergaría las estrellas y en el interior quedarían la luna y el sol. En el universo de Anaximandro las dimensiones de las esferas celestes guardan relaciones fijas, concepción retomada más tarde por el Pitagorismo. La tierra es en la cosmología de Anaximandro uno más de los innumerables mundos que proliferan en este medio; concebida como un cilindro aplastado habitado en su parte superior, que se mantiene por sí misma en el centro de esa esfera rotatoria en la que las estrellas estaban fijas. Con Anaximandro la noción de esfera invadió la Astronomía. La idea de las esferas celestes impregnó la obra de Ptolomeo (siglo II), un modelo celeste que constituyó el principal paradigma astronómico hasta la revolución copernicana en el siglo XV.

Después de Anaximandro los filósofos continuaron en la búsqueda de una sustancia primigenia, pero la buscaron entre las sustancias más familiares. Para ANAXÍMENES y DIÓGENES DE APOLONÍA, la fuente elemental de todas las cosas no era el agua; eligieron el aire (o pneuma[1]), aparentemente tan abundante como el agua y al que se creía poseedor del germen de toda creación y por tanto de la naturaleza divina. El alma del mundo es el aire, idea que no es sorprendente ya que el hombre muere cuando deja de respirar. Anaxímenes supone que la tierra es una gran hoja que flota en el aire.

JENÓFANES eligió la tierra y HERÁCLITO DE EFESO escogió el fuego como elemento primordial del mundo. Atento al papel estratégico

[1]En el artículo de Arnau(1994, pp 952) leemos: "Anaxímenes eligió el aire (0 pneuma).
Peduzzi (2.002), asume que el pneuma para los estoicos es una especie de fluido con propiedades análogas a una mezcla de aire y fuego.
Hull (1973), afirma que los estoicos validaron la vieja idea jónica del elemento único del universo y expresa que ese elemento era más o menos el fuego de Heráclito pero concebido como un ser racional e identificado con Dios.

de este elemento en la fundición de los metales y en la fabricación de un sinnúmero de objetos. Este pensador concibe todo lo que existe bajo la óptica de la transformación. Todo cambia, todo se altera, nada es permanente. El fuego es más representativo del dinamismo del mundo y los cambios que en él se operan, que los otros constituyentes de la materia imaginados por los milesianos.

ANAXÁGORAS, originario de Clazomenas, Jonia, defendió la existencia de un solo mundo material; es decir, admitió la similitud entre el cielo y la tierra. Siendo muy joven viajó a Atenas donde enseñó durante 30 años y llegó a ser maestro del propio Pericles, gobernante de la democracia ateniense y de Eurípides. Cid(1977), lo destaca como un cosmólogo algo matemático y un tanto físico, víctima por seguir los dictados de su razón y de su conciencia. En las concepciones de Anaxágoras, nada nace ni muere; para él, el universo originariamente fue un inconmensurable caos de semillas ordenado por la mente (nus), que les proporcionó orden y forma por medio de un movimiento de rotación. Arnau(1994), Hull(1973) y Cid(1977), registran el evento del meteorito que cayó en Egos Pótamo en el año 467, como punto referencial a las interpretaciones que hizo Anaxágoras; por su aspecto flamante interpretó que procedía del sol por lo que éste debía ser una gigantesca masa incandescente. Para él las estrellas y los planetas también eran cuerpos físicos sólidos, rocas incandescentes, constituidas por el elemento fuego que se hacían visibles durante la noche. Pensaba que todos los astros del firmamento se habían generado mediante los mismos tipos de procesos que rigen en la tierra, a partir de un universo caótico. Afirmaba que la luna tenía montañas y valles igual que la tierra y notó que la parte iluminada de la luna es siempre la que está enfrentada al sol por lo que dedujo que la luna es fría y brilla con luz reflejada; explicó adecuadamente sus fases y eclipses. La corporeidad de los astros

era una idea que iba en contra de las creencias religiosas de los atenienses, por lo que fue juzgado por sus ideas; fue necesaria la intervención del mismo Pericles para que Anaxágoras sobreviviera al juicio: pasó en el exilio el resto de su vida. Sabemos que 20 siglos después vinieron otros juicios por ideas semejantes. Bruno, condenado a la hoguera y Galileo condenado a vivir el resto de sus días encerrado en la torre de Arcetri.

En la Grecia Continental, EMPÉDOCLES asumió la tarea de fundir en una sola la teoría de los cuatro elementos. Aire, tierra, agua y fuego fueron considerados como las sustancias fundamentales de la creación. Los elementos de Empédocles daban "movimiento" a un universo que se mantiene en un "ciclo cósmico" en el que es dominado alternativamente por los principios de amor y odio. Un universo dinámico y eterno, dos propiedades del mismo que han sido retomadas en muchas teorías cosmológicas desde entonces.

Hacia el año 530, PITÁGORAS dejó Samos y se dirigió a Crotona, una ciudad griega de la bahía de Tarento en la que enseñó y fundó una sociedad científica. Las bases filosóficas de su escuela son diferentes a la escuela materialista de Mileto. Como los milesianos, creían en la existencia de una sustancia material, pero para ellos "*los números constituyen el verdadero elemento de que está hecho el mundo. Llamaban uno al punto, dos a la línea, tres a la superficie y cuatro al sólido; los puntos se unen para formar líneas, las líneas se unen para formar superficies y éstas para formar volúmenes. A partir de uno, dos, tres y cuatro, se podía construir el mundo*". (Farrington 1961, citado por Peduzzi, 1994). Para los pitagóricos, las diferencias entre las diversas especies deben ser buscadas en la forma, en las distintas estructuras geométricas de los cuerpos especificadas por los números; es decir, los pitagóricos cambian la materia por la forma, que al final de cuentas es común para todas

las cosas. Para ellos, "*la estructura es la realidad fundamental y esta estructura puede ser expresada en términos de cantidad"*. (Guthrie,1987, citado por Peduzzi, 1994).

La Astronomía pitagórica era especulativa, igual que la de los jonios. Para ellos, la regularidad de los fenómenos, tales como el día y la noche y el movimiento diurno de las estrellas, evidenciaba orden, simetría y belleza. La tierra, en analogía con el sol, era considerada esférica. Los 5 planetas incluidos bajo esta designación eran Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno, además del sol y la luna; los planetas eran considerados de naturaleza divina que ejecutaban el más simple y simétrico de los movimientos alrededor de la tierra, el movimiento circular uniforme; un movimiento que dominará todas las discusiones sobre sistemas astronómicos hasta los tiempos modernos. Pitágoras también concibió la existencia de una música celestial, imperceptible al oído humano, asociada al movimiento de los planetas. En la Cosmología Contemporánea, la teoría de las supercuerdas busca la nota fundamental de la sinfonía del universo.

El Pitagórico FILOLAO es el primero en retirar la tierra del centro del universo y colocar en su lugar un fuego en torno al cual orbitan la tierra y los demás planetas. En su movimiento diurno la tierra presenta siempre la misma faz al fuego central, igual que lo hace la luna con la tierra. El fuego u "hogar del universo" es invisible para los habitantes de la tierra ya que es su parte inhabitada la que mira hacia el fuego central. Asume la existencia de una antitierra colocada siempre en oposición a la tierra.

HERÁCLIDES DE PONTOS, concibió la tierra en el centro del universo, girando en torno a un eje que pasa por su centro; en su rotación completa una vez por día, explicaba el movimiento

periódico de las estrellas que mantenían sus posiciones relativas fijas. Con su ingenioso modelo, Heráclides ofreció una explicación para el variante brillo de Venus que evidenciaba movimientos alternos de acercamiento y alejamiento del planeta respecto a la tierra. Asumió que el sol giraba en torno a la tierra una vez por año y que Venus y Mercurio giraban en torno al sol.

ARISTARCO DE SAMOS, es considerado el mayor astrónomo de la antigüedad; sus puntos de vista cosmológicos fueron mucho más avanzados que los de muchos otros astrónomos antiguos y se basaron en una viva e imaginativa observación y no en prejuicios estéticos o morales. Coloca al sol inmóvil en el centro del universo; a su alrededor, en órbitas circulares giran la tierra con la luna revolucionando en torno a ella, y los demás planetas. Las estrellas son fijas. Además de su rotación en torno al sol, la tierra gira con velocidad angular constante en torno a un eje que pasa por su centro, completando una vuelta en 24 horas. Este modelo sólo tuvo repercusión en el siglo XV pues, como era de esperarse, en la época de Aristarco el lugar natural aceptado para la tierra es el centro del universo en torno a la cual giran todos los cuerpos celestes, idea sostenida por Aristóteles.

Los planteamientos cosmológicos de Tales y los milesianos igual que los de Pitágoras y los pitagóricos influenciaron el desarrollo de la Ciencia en general y de la Astronomía en particular. Muchas de las preguntas relevantes en la época antigua encontraron satisfactoria explicación desde los diferentes modelos concebidos; sin embargo subsistían problemas sin solución como el de los movimientos irregulares de Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno, cuya comprensión desafiaba el pensamiento y la creatividad de matemáticos, astrónomos y filósofos de la Atenas

floreciente de los siglos V y IV antes de nuestra era, entre quienes merecen destacarse Platón y Aristóteles.

Con la posible excepción de Aristóteles, PLATÓN es el griego más celebrado. Platón no fué matemático sino un filósofo que influenciado por Pitágoras concibió el orden en el universo en términos de las Matemáticas y la Geometría. Nació en el seno de una familia aristocrática de Atenas, discípulo y amigo de Sócrates a la muerte del cual (399), abandonó Atenas por algún tiempo. Influenciado por las ideas de simetría y belleza del universo pitagórico Platón fué partidario de la concepción de un mundo limitado por una gran esfera en la cual se hallan incrustadas las estrellas en posiciones fijas unas respecto a otras. Mas allá de esta esfera no hay materia ni espacio; no hay nada. Concibe la tierra inmóvil en el centro del universo, por ella pasa el eje de la esfera celeste que gira del este para el oeste originando los días y las noches. Igual que los pitagóricos, Platón considera los cuerpos celestes de naturaleza divina; postula que los movimientos irregulares de los planetas resultan de una combinación de movimientos circulares uniformes pues, solamente formas tan perfectas como el círculo o la esfera, pueden estar asociadas a las revoluciones de estos astros. En la cosmología platónica, es muy notable su opción por el flujo lineal indefinido del tiempo contra la estructura periódica de la duración. De acuerdo con Platón, los astros a intervalos regulares repiten las mismas configuraciones. La autoridad de Aristóteles adoptando la forma lineal del tiempo asegurará el triunfo de esta representación revisada solamente en el siglo XVII, aunque la Física Moderna siguió operando con el tiempo platónico y aristotélico hasta el advenimiento de la relatividad einsteniana.

La escuela platónica subsistió muchos años bajo el nombre de la Academia, fundada por Platón y en ella predominaron los estudios metafísicos. EUDOXO DE CNIDO, uno de los primeros y más destacados de sus discípulos es considerado fundador de la Cosmología Experimental. El gran mérito de Eudoxo consistió en la elaboración "con todo detalle" de un modelo del movimiento de los astros respetando los resultados de la observación. Este trabajo implicó una verdadera habilidad matemática así como una comprensión correcta del lugar de las Matemáticas en el edificio de la Ciencia. Abandonó el hábito de la especulación en Astronomía por la razón racionalizante. Según él, el movimiento de cada astro está asociado a la rotación simultánea de un conjunto de esferas concéntricas respecto a la tierra donde cada una gira uniformemente sobre un eje sujeto a la esfera siguiente. Combinando adecuadamente el número y tamaño de las esferas, así como, las direcciones de los ejes de rotación y las correspondientes velocidades angulares buscaba describir adecuadamente el movimiento de cualquier astro en el cielo. Fueron veintisiete las esferas móviles concebidas en el modelo de Eudoxo. Tres para el sol, tres para la luna, cuatro para cada uno de los otros planetas más la esfera de las estrellas fijas. Posteriormente Calipo, discípulo de Eudoxo incrementó en 34 ese número.

ARISTÓTELES, nació en Estagira. Fue discípulo de Platón en la Academia hasta la muerte de su maestro. En el año 335 fundó el Liceo como una nueva escuela y centro de investigación. En la filosofía de Aristóteles se rechaza la idea de vacío. Concibe un firmamento perfecto de formas esféricas y movimiento circular uniforme y, para evitar el concepto de vacío concibe el cielo constituido por una sustancia inmaterial, liviana y sutil que llenaría las esferas celestes; un quinto elemento o quintaesencia, como literalmente la denominaron en la edad media. El universo de

Aristóteles, es finito y esférico con la tierra inmóvil en su centro y la esfera de las estrellas fijas como límite, más allá de esas esferas se encuentra la última, el último cielo, con el primer motor, Dios, que pone y mantiene en movimiento la esfera de las estrellas y de los planetas, más allá no hay nada. Con Aristóteles llegan a 55 el número de esferas necesarias para describir el mundo físico. Basado en los períodos aparentes de revolución de la luna, el sol y de los planetas en torno a la tierra, los clasificó de acuerdo con la distancia de separación respecto a este planeta. Así pues, Luna, Mercurio, Venus, Sol, Marte, Júpiter y Saturno es el orden concebido por el estagirita; debido a su cercanía con la tierra, la Luna era el único cuerpo celeste en el cual se podían detectar imperfecciones conforme su apariencia manchada, lo cual no representaba anomalía pues en verdad la Luna era una especie de marco divisorio entre la región terrestre del cambio, decadencia y muerte, y la región celeste de la permanencia y la incorruptibilidad. Según Aristóteles, cualquier "cambio" en la región sublunar resulta de un propósito intrínseco o predeterminado que las cosas tienen para comportarse de la manera como se comportan.

Hemos expresado que la Grecia antigua no estaba preparada para asimilar las ideas de avanzada propuestas por Anaxágoras; sin embargo, tampoco la Europa medieval estaba preparada para asimilar las revolucionarias ideas de aquella pléyade de pensadores y filósofos que flirtearon con la materialidad de los cielos, lo cual explica el hecho que las filosofías griega y medieval, así como la propia ciencia hasta hace muy poco, se hundieran en la concepción errónea de un universo platónico, de un firmamento mágico heredado de la obra aristotélica, la cual abarcó prácticamente todas las regiones del conocimiento. Reconocido y honrado en Macedonia, Pella, Atenas, Estagira... Aristóteles constituye un hito en la historia de la Biología, la Astronomía, la Física, la Fisiología, la Lógica, la

Filosofía..., su autoridad filosófica impuso su concepción del firmamento. La fe en la teoría aristotélica gestó al empirista que construye un esquema intelectual según lo que ha observado en la naturaleza. La victoria del empirismo en las ciencias de la naturaleza se ha prolongado incluso hasta nuestros días.

En el año 338 antes de Jesucristo, Alejandro se convirtió en señor de Grecia, conquistó Egipto e India y fundó la ciudad de Alejandría, poblada por griegos, egipcios y judíos y destinada a ser el nuevo centro de la cultura griega, la ciudad más grandiosa del mundo. Se fundó el Museum en donde por 200 años la ciencia griega floreció con asombroso brillo y gran vigor. Los fundadores del Museum estaban bajo la inspiración de Aristóteles. Allí se le leía, se le admiraba y sus nuevos métodos fueron difundidos. La Astronomía liberada de los lazos filosóficos se convirtió en un nuevo campo de investigación; surgió entonces un tipo de astrónomo dispuesto a no seguir perdiendo el tiempo en la construcción de imaginarios universos. Al igual que Aristóteles había observado las plantas y los animales, los nuevos astrónomos se dedicaron a resolver problemas claramente planteados mediante la observación sistemática; usaron su imaginación para crear "métodos" en vez de utilizarla, como sus especulativos predecesores, para "inventar" hechos. De este esplendoroso periodo florecieron matemáticos y astrónomos como Aristarco de Samos, mayor astrónomo de la antigüedad a quien ya nos referimos, Euclides y sus Elementos, Eratóstenes autor del calendario conocido como juliano y quien calculó la circunferencia de la tierra, Arquímedes, Apolonio, Hiparco, Herón... La ulterior influencia de la obra de los alejandrinos en Matemáticas y Astronomía fue realmente importante. Hull(1973), afirma que " *fue tan moderno su espíritu que los científicos del siglo XVI y XVII pudieron seguir con toda naturalidad sus obras tomándolas en el estado en que ellos la dejaron; y continúa, ... Hiparco había sido*

*perfectamente capaz de trabajar con Tycho Brahe de igual a igual y Arquímedes habría hecho lo mismo con Newto*n".

Peduzzi(1998), opina que, la generación de nuevos datos observacionales conjugada a una Astronomía esencialmente matemática propiciaron condiciones para la elaboración de un sistema astronómico que dominó hasta el siglo XV la descripción de los cielos; "El SISTEMA PTOLEMAICO"

CLAUDIO PTOLOMEO, trabajó en la primera mitad del siglo II de nuestra era llegando a ser el astrónomo más considerado de Alejandría. Su obra puede compararse con la de Euclides en Geometría. Su contribución no consiste en la aportación de nuevas ideas sino en la organización de las ideas de sus predecesores en un tratado sistemático que reunía toda la Astronomía griega conocido con el nombre árabe de ALMAGESTO, un tratado matemático en que Ptolomeo presenta una teoría completa, coherente, con amplio poder predictivo sobre el movimiento de la luna el sol y los planetas. La Astronomía de Ptolomeo es compatible con la doctrina aristotélica de una tierra inmóvil y referencial para todos los movimientos. El cielo esférico, gira en el día del este al oeste para un observador situado en el ecuador, hecho confirmado por la regularidad con que día tras día aparecen y desaparecen las estrellas que no cambian de posición unas en relación a las otras. Las estrellas se encuentran distribuidas en una bóveda esférica concéntrica a la tierra. Con el fin de explicar las diferentes estaciones del año, las fases de la luna, el movimiento retrógrado de los planetas, sus variaciones de brillo y períodos diferentes, retoma y desarrolla la idea de Hiparco de un cuerpo que se mueve en un círculo cuyo centro se mueve en otro círculo, llamado epiciclo-deferente o excéntrico a través del cual se podía entender no sólo el movimiento retrógrado de los planetas sino también

describir las variaciones de velocidad del sol en su órbita. El ecuante fue otro importante artificio empleado por Ptolomeo para reconciliar la teoría de los epiciclos con los datos observados.

El sistema ptolemaico, progresivamente modificado satisfizo las necesidades de los astrónomos hasta la época de Copérnico. En el siglo XV ya este sistema se había complicado tanto que estaba haciéndose inmanejable. Hull (1973), opina que el mismo Ptolomeo aceptó, por ejemplo, que "*el movimiento diario de los planetas era más fácil de explicar si se suponía que la tierra gira alrededor de su eje como lo había indicado Heráclides*". Los puntos de vista de Aristarco, aún más avanzados, no fueron siquiera considerados por Ptolomeo.

El recorrido realizado desde el siglo VI antes de nuestra era hasta la edad media con el modelo Ptolemaico, nos señalan modelos que, como lo anota Peduzzi(1998), "*pretendieron representar los movimientos del sol y los planetas basados en observaciones dispersas e irregulares de estos astros*".

Sin embargo, si en las representaciones preptolemaicas que hemos referenciado se nota la ausencia de un modelo estructurado, coherente, con capacidad predictiva, en torno al cual se pudiera desarrollar un programa de investigación, desde el punto de vista lakatosiano, que a su vez constituyera una tradición investigativa con estructura interna, objetivos y métodos bien definidos, es porque no hubo un paradigma dominante; aunque muchas de las aportaciones de los antiguos siguen presente en los modelos cosmológicos recientes, ellas han sobrevivido gracias a la dinámica interna del desarrollo de la ciencia desde la cual ideas desechadas en alguna época puedan ser retomadas en otra. El modelo de Claudio Ptolomeo tuvo influencia hasta la edad media debido a la

coherencia y estructura interna del modelo, su capacidad explicativa y predictiva, elementos necesarios en un programa de investigación. El modelo ptolemaico respondía a la necesidad de la era cristiana de tener un sistema filosófico sobre el cual apoyar su fe. San Agustín fué el encargado de armonizar las ideas cristianas con la filosofía griega, concretamente con la obra de Platón y de Aristóteles. La idea de unos cielos perfectos encajaba claramente en la idea cristiana que también diferenciaba nítidamente dos mundos; el terrestre, el mundo material en el que el hombre vive su imperfección y el celeste, el mundo sutil y divino, en el que los astros se mueven elegantemente con movimientos circulares. El cristianismo agustinista se impuso en Europa como sistema religioso y cultural en los primeros siglos de nuestra era y mantuvo su predominio a lo largo de la edad media, lo que consolidó, por tanto tiempo, el modelo ptolemaico como descripción fiel del universo. Con Aristóteles y Ptolomeo podemos hablar de un paradigma dominante hasta el siglo XVI, una ciencia en estado normal cuya preocupación era proveer al modelo las herramientas suficientes para explicar los fenómenos o anomalías presentadas.

Los romanos, aunque preservaron por algún tiempo la cultura griega no añadieron nada intelectualmente nuevo. Aún hoy se admira la proeza de la ingeniería romana pero no se conoce una sola idea científica romana. En la Edad Tenebrosa (500 – 1000), la iglesia contribuyó a la construcción de una Europa en la que finalmente pudo renacer el pensamiento científico. La fuerza intelectual que se necesitaba estaba latente en las poblaciones de Occidente después de la caída de Roma, pero hacían falta siglos de gradual educación antes de que pudiera cosecharse algo. Estos siglos arrojan muy pocos éxitos científicos comparados con el período griego o con el renacimiento pero sirvieron para establecer un mínimo de derecho y orden.

No hubo un cambio general de concepciones durante los siglos XII, XIII y XIV, pero antiguas ideas griegas llegadas de tercera mano a Occidente iban haciendo silenciosamente su camino en una Europa cada vez más dispuesta a recibirlas. La conquista de Constantinopla por los turcos en 1453, posibilitó una amplia divulgación del conocimiento griego preservado por los árabes. La avasalladora fase del renacer de la cultura clásica coincidió con hechos trascendentales como los viajes de descubrimiento y la invención de la imprenta, con la cual se sustituyeron los manuscritos por libros impresos en una nueva dinámica de difusión del saber científico y literario. Peduzzi expresa que "*el culto a las letras y las artes reviste de nuevos colores un nuevo período de la historia de la humanidad (El Renacimiento), que deja tras de sí la Edad Media cuyas características esenciales son una nueva amplitud de puntos de vista y concepciones y el desarrollo de un conocimiento secular, un conocimiento y una enseñanza no practicados exclusivamente por sacerdotes ni limitados a temas aprobados por la iglesia*". Un período de tolerancia de la Iglesia para con las filosofías innovadoras a tal punto que un canónigo, NICOLÁS DE CUSA, elabora un sistema astronómico, señalado por Cid(1977), en la enciclopedia de la historia de la ciencia, "*como una cosmología filosóficamente subversiva*", que desencadenó un proceso lento y progresivo de ruptura irreversible con el conocimiento establecido.

Las motivaciones básicas que vertebran el pensamiento del cusano expuesto en su obra "De Docta Ignorantia" (1440), eran de orden místico.

El universo de Cusa es ilimitado, indefinidamente extenso, carece de centro, pues pueden serlo todos sus puntos con igual derecho; en consecuencia, las ideas de arriba, abajo, derecha, izquierda,

delante, detrás, básicas dentro de la Física aristotélica, pierden todo su significado en relación a su relatividad. Al no poder establecer distinción alguna entre las diferentes regiones del espacio, todos los cuerpos que lo ocupan deben desplazarse en él animados por un movimiento de idéntica naturaleza. La tierra no tiene por qué ser un lugar inferior en relación con los demás astros; todos los cuerpos que hay en el cosmos gozan de idéntica nobleza, por lo tanto, la disociación entre mundo celeste incorruptible y perfecto y mundo terrestre mutante y perecedero, desaparece.

El carácter tan tremendamente revolucionario en todos los órdenes de las tesis del cusano fue, sin lugar a dudas, el principal motivo de su rechazo o ignorancia. Entre sus contemporáneos sólo parece haberle tenido en cuenta Leonardo da Vinci y entre sus sucesores, Giordano Bruno y Kepler; este último desde un enfoque que puede considerarse científico.

La revolución copernicana, que a continuación abordaremos, señala una ruptura paradigmática (en términos de Kuhn,1963) en Astronomía y Ciencias Naturales. Sin embargo, podríamos preguntarnos: a inicios del siglo XXI, ¿qué imagen de mundo tiene el hombre de hoy?. Cuales son las cosmologías dominantes en las aulas de las instituciones educativas en cuyo seno se implementa la preparación científica de los profesionales de la educación, en específico, y otras profesiones relacionadas con la ciencia?. ¿Qué imagen de mundo deja en los estudiantes lo que se les enseña en los currículos de ciencias?. Para Peduzzi (1998), igual que para una pléyade de investigadores sobre concepciones alternativas, Ptolomeo sigue vivo, sigue reinando en las estructuras conceptuales de quienes consciente o inconscientemente están anclados en la cosmología y física de Aristóteles y la Astronomía Ptolemaica. Afirma el autor citado que "*las concepciones intuitivas forjadas por*

la experiencia asumen una relación directa entre fuerza y movimiento afirmando que no hay movimiento sin fuerza"; y Moreira(2.000), admite que son concepciones alternativas que han sido aprendidas significativamente y que son difíciles de erradicar; el movimiento absoluto, tiempo y espacio absoluto y expresiones tan naturales como, el sol sale y se pone, son apenas algunos referentes que indican la coexistencia de concepciones insertas en las antiguas cosmologías que quizá conviven en las estructuras mentales con cosmologías más recientes y renovadas que admiten la materialidad de los astros y su similitud con la tierra.

8.1.2. COSMOLOGÍAS HASTA PRINCIPIOS DEL SIGLO XX.

NICOLÁS COPÉRNICO, polaco de nacimiento, clérigo activo, sirvió a su país como economista y como diplomático. Su universal cultura era típica del Renacimiento. La elaboración de las líneas generales de su sistema astronómico parecen remontarse a la época en que publicó su "Commentariolus", entre 1506 y 1508 en el que consigna el principio fundamental del movimiento absoluto, es decir, el movimiento circular uniforme, y una crítica de los sistemas astronómicos imperantes en la época. Rechaza el sistema epicíclico y señala que quienes aceptan tal tipo de mecanismos necesitan introducir los ecuantes para poder explicar en forma satisfactoria los movimientos de los planetas. Copérnico aborda en el Commentariolus una descripción cualitativa de su sistema heliocéntrico; Propone siete postulados básicos que tienen como objetivo eliminar las dificultades que presenta el sistema Ptolemaico.

- No existe un centro único para todas las esferas o círculos celestes.

- El centro de la tierra no es el centro del universo, sino sólo el centro de la gravedad y de la órbita lunar.

- Todas las esferas giran alrededor del sol, que es su centro y, en consecuencia, el sol es el centro del universo.

- La razón entre la distancia de la tierra al sol y la que existe desde la tierra a los confines del universo es despreciable, lo que hace que la primera sea imperceptible frente a la altura del firmamento.

- Todo movimiento que parece realizar el firmamento no provienen de él mismo, sino del movimiento de la tierra. La tierra junto con los elementos que la rodean, gira sobre sí misma completando cada día una revolución, mientras que el firmamento y el cielo superior permanecen inmutables y en reposo.

- Los que se nos presenta como movimientos del sol son simples apariencias debidas a los movimientos de la tierra y de nuestra esfera, con la que giramos alrededor del sol como cualquier otro planeta. La tierra tiene, por lo tanto, más de un movimiento.

- Los movimientos directo y retrógrado de los planetas son aparentes, simples consecuencias del movimiento de traslación de la tierra. Por consiguiente, el movimiento de la tierra basta por sí mismo para explicar las desigualdades aparentes de los cielos. Una vez establecidos estos axiomas, intentaré demostrar brevemente cómo puede salvarse de modo sistemático la uniformidad de los movimientos. Sin

> embargo, y en aras de la brevedad, he creído mejor omitir en este resumen las demostraciones matemáticas que reservo para mi obra mayor.

Copérnico en esta última línea se refiere a su obra posterior "De Revolutionibus", texto matemático en su esencia en el que se propone revisar la solución, comúnmente aceptada, del problema del movimiento de los planetas.

De lo anterior se puede afirmar que la obra de Copérnico incluye dos etapas: la primera de corte cualitativo condensada en el "Commentariolus" en la que adopta elementos de la obra de Ptolomeo como la esfera de las estrellas fijas, pero la deja quieta y coloca al sol en su centro. Supone que los planetas se mueven en círculos concéntricos alrededor del sol a partir del cual coloca a Mercurio, Venus, Tierra, Marte, Júpiter y Saturno; la Luna gira a su vez alrededor de la tierra, los planetas más cercanos al sol giran más de prisa que los lejanos; así, Mercurio completa su órbita en tres meses, mientras que Júpiter necesita aproximadamente doce años. La aparente rotación diurna de los cielos en torno del Polo se explica suponiendo que es la Tierra la que cada día realiza una rotación completa alrededor de su propio eje. La Tierra tiene además un tercer movimiento, el pequeño cambio de dirección de su eje, llamado de precesión, descubierto por Hiparco.

Kuhn(1963) afirma, "*un científico normal debe concentrar sus esfuerzos en la detallada articulación del paradigma en que trabaja y efectuar el trabajo interpretativo necesario para explorar la naturaleza en profundidad*". (Chalmers, 1999, p.104). Este es el mérito de Copérnico. Su idea no fue original. Su verdadera contribución consiste en los años de paciente trabajo que dedicó a los detalles. Sabía que la teoría no convencería a nadie mientras no

explicara todos los detalles de los movimientos planetarios por insignificantes que fueran. Constituye la segunda parte de su gran obra. Copérnico aceptó sin discusión la idea griega de que la geometría celeste tenía que estar dominada por las figuras del círculo y la esfera. Ello se reflejó en la necesidad de seguir admitiendo los famosos epiciclos para reconciliar en detalle la teoría con los hechos. De todos modos, estaba bastante seguro de las virtudes de su idea central y perseveró en su trabajo. Su gran contribución fue el exponer en forma detallada las consecuencias astronómicas que se derivan del movimiento terrestre; la elaboración de un sistema matemático global y coherente que explicara los movimientos celestes partiendo del supuesto de que la tierra se mueve. El "De Revolutionibus", se publicó en 1543, el año de su muerte. Los principales defensores de las ideas de Copérnico fueron Giordano Bruno, Kepler y Galileo.

GIORDANO BRUNO, defensor del heliocentrismo de Copérnico, va mucho más allá al afirmar que existen infinitos sistemas solares semejantes al nuestro, esparcidos por el universo e innumerables mundos habitados como nuestra tierra. En el grandioso escenario bruniano, la vida, inteligente o no, no puede ser un privilegio único de nuestro planeta. Subrayó la tesis de las grandes distancias estelares y afirmó audazmente la infinitud del universo físico. En su libro "Acerca del infinito, del universo y de los mundos" defendió la materialidad de los astros enfrentándose valientemente a la teoría ptolemaica de los dos mundos, pero negó la materialidad del espacio interestelar al que calificó de "Vastísimo seno etéreo". Puede vislumbrarse en el pensamiento de Bruno trazas del pensamiento de Nicolás de Cusa, pero su cosmovisión tiene mucho de su marca personal. Sus extensiones de la tesis copernicana, aunque interesantes y fecundas, eran acientíficas y al asociarlas con

herejías que no tenía por qué seguirse necesariamente de la teoría copernicana, trajo innecesaria hostilidad contra ella.

TYCHO BRAHE (1546, 1601), danés de familia noble; su fama se debe a su habilidad y a su paciencia en la observación. Aunque estudió derecho en la Universidad de Copenhague, se dedicó a la Astronomía. Lo que le atrajo de esta ciencia fue su poder de predicción. Elaboró tablas mucho más precisas que las existentes hasta entonces; las medidas angulares de Tycho son las mejores que jamás haya hecho el hombre sin ayuda óptica y su confiabilidad llega casi al minuto de arco; fabricó instrumentos y fue muy reconocido como observador. No aceptó nunca la teoría copernicana. Imaginó su propio sistema donde la tierra estaba fija en el centro del universo, esto es, en el centro de la esfera de las estrellas fijas, mientras que el sol y la luna giraban en torno a ella. Las órbitas de los demás planetas tenían como centro no la tierra fija sino el sol móvil. Durante el tiempo que trabajó en el observatorio de Praga (cerca de dos años), tuvo como ayudante al joven Kepler quien completó las nuevas tablas planetarias tras la muerte de Tycho, con el nombre de Tablas Rudolfinas y con ello, *tuvo acceso a los resultados que hicieron posible su propia concepción astronómica* (Hull, 1974)

JOHANNES KEPLER, adoptó y defendió la noción central de que la tierra gira con los demás planetas alrededor del sol y decidió eliminar los procedimientos geométricos que afectaban al sistema copernicano. Intentando entender los movimientos de Marte, Kepler se vió obligado a considerar la posibilidad de un movimiento que no fuera ni uniforme ni circular. Marte es más fácil de observar que Mercurio o Venus, pues a diferencia de éstos, es visible durante largos períodos por la noche; además, por ese entonces, los movimientos de ese planeta estaban más detalladamente

estudiados que los de Júpiter o Saturno a causa de que Marte completa más rápidamente su órbita que los planetas aludidos. Marte, era pues, el tema indicado para su primera investigación asociada al problema de determinar órbitas y velocidades para este planeta y la Tierra, de modo que pudiera deducirse de ellas su movimiento aparente, tal y como había sido registrado por Tycho; elaboró hipótesis tras hipótesis sobre la disposición de las órbitas y las velocidades de los planetas, cada una de ellas sometida a laboriosa comprobación, lo cual le permitió conocer cada vez con más detalle el comportamiento de Marte según la hipótesis que estaba comprobando. Sus suposiciones iniciales fueron respetuosas de los movimientos circulares y uniformes de la idea tradicional, sin embargo, solamente cuando supuso en primera instancia movimientos no uniformes y posteriormente no circulares, consiguió la victoria. En 1609, luego de años de trabajo anunció dos leyes que regulan el movimiento de Marte:

1)- La órbita es una elipse con el sol en uno de sus focos.
2)- La línea que une los centros de Marte y del Sol, barre áreas iguales en tiempos iguales.

Para 1619, Kepler estaba convencido que sus dos leyes regían el movimiento de los demás planetas y había descubierto la tercera ley que afirma que el cuadrado del período de un planeta es proporcional al cubo de su distancia media al sol.

Para Hull(1976), aproximadamente en cien años, un sabio enciclopédico (Copérnico), un observador incomparable (Tycho Brahe) y un matemático ingenioso (Kepler), resolvieron uno de los problemas planteados más de veinte siglos atrás por los griegos. Sin embargo, el sistema ptolemaico con su tierra fija y con sus artificiales epiciclos no se desechó inmediatamente aunque estaba

claro que el elegante esquema heliocéntrico que enfrentaba se presentaba como mejor alternativa.

Puede decirse que el mundo culto no aceptó fácilmente el punto de vista heliocéntrico, pues sus posibilidades no fueron comprendidas al principio más que por un grupo de hombres de excepcional inteligencia; sin embargo, el nuevo paradigma poco a poco fue ganando adeptos en el renovado espíritu científico de la época a pesar de tener una serie de interrogantes y objeciones científicas que debía resolver; por ejemplo, si la tierra se mueve, ¿cómo es que no se percibe su movimiento?; ¿cómo es que el movimiento no le arrebata la atmósfera?; ¿cómo es que los cuerpos caen verticalmente en vez de ser desviados en su caída por el movimiento de la tierra?...y otras tantas preguntas cuyas respuestas no se podían encontrar a la luz de la mecánica existente. Todas esas dificultades fueron superadas por Galileo y Newton principalmente.

Mientras que Kepler trabajaba en su proyecto, el florentino GALILEO GALILEY LINCEO, matemático, físico y astrónomo, le dio el golpe definitivo a la idea de los cielos perfectos. Con su enorme capacidad de acción se lanzó a un ataque general contra la ciencia aristotélica en todos sus puntos vulnerables y se comprometió abierta y explícitamente con la teoría copernicana a la cual le abrió caminos al barrerle obstáculos por todos lados.

La posibilidad del telescopio fue mostrada a la humanidad por Hans Lippershey, un óptico de Middleburg, en 1608. Galileo recibió la noticia de que en los Países Bajos habían sido inventados unos tubos que con las lentes adecuadas, producen una imagen agrandada de los objetos. Con esas pocas referencias el ingenio de Galileo construyó el sorprendente aparato con el que revolucionó la

Astronomía por sus descubrimientos sensacionales en 1609 y 1610, es decir, coetáneamente con la publicación de las dos leyes de Kepler. Galileo abrió una nueva dimensión en el mundo del saber con sus observaciones radicalmente nuevas y precisas; además, abrió la era de la Astronomía Telescópica. Al mirar al cielo con un telescopio, Galileo disfrutó la emoción de ver, por primera vez, un universo más próximo y familiar; la Luna lo conmovió al descubrir en ella montañas, valles y cráteres similares a los que hay en la tierra como Anaxágoras intuyera 2.000 años antes; así, en contradicción con las enseñanzas escolásticas heredadas de Aristóteles, la Luna no era la esfera celestial perfecta en la que se había creído desde entonces, parecía marcada por la misma imperfección y materialidad que nuestro planeta; la tierra no era la única desordenada e irregular y no sólo la Luna, sino que el resto del universo parecía no ser tan diferente, pues su telescopio le permitió observar una gran mancha en Júpiter conocida hoy como La Gran Mancha Roja, y muchas manchas en el propio Sol que van cambiando de aspecto con el tiempo hasta que desaparecen y se crean otras nuevas. Dió a conocer en el "Mensajero Celeste" una parte de su aventura como explorador del firmamento en la cual observó que Júpiter, el mayor de los planetas, es cortejado por satélites que giran a su alrededor; las fases de Venus reveladas por el telescopio sugerían que este planeta gira en torno al Sol del cual recibe su luz, como Copérnico lo había postulado, desvaneciendo la idea de que todo el firmamento gira alrededor de la tierra. Estas ideas en franca oposición a las ideas ptolemaicas, aceptadas por la iglesia, le valieron a Galileo ser condenado a vivir en arresto lo que le faltaba por vivir.

Poco a poco, se fue aceptando que los planetas y el sol no eran tan perfectos como se había pensado, incluso sus movimientos parecían gobernados por las mismas leyes dinámicas que rigen en la tierra.

Galileo se vió igualmente sorprendido por el gran número de estrellas que se hacían visibles al telescopio; señaló la existencia de ochenta y nueve estrellas en la constelación de Orión y especificó unas treinta en la constelación de las Pléyades, invisibles a ojo desnudo. Pudo establecer con la ayuda del telescopio u óculo, como él le llamaba, que la Vía Láctea es un conglomerado de innumerables estrellas reunidas en grupo y las nebulosas dispersas por la galaxia son innumerables estrellas admirablemente esparcidas cuyos rayos escapan a nuestra vista por la gran distancia que las separa de nosotros.

Los avances del siglo XVII plantearon varias vías de desarrollo a la ciencia. La ciencia teórica y práctica tuvo avances importantes. En el campo de la tecnología, en el siglo XVIII se avanzó tanto en la perfección de los instrumentos de observación como en los métodos de observación de la Astronomía, mejoras asociadas con los nombres de James Bradley (1693, 1762) quien confirmó el descubrimiento de Roemer de la velocidad de la luz y Sir William Herschel (1738, 1822) quien construyó sus propios telescopios, los mejores de la época y los empleó en la exploración del hemisferio septentrional de los cielos; Herschel amplió el cocimiento cuantitativo del sistema solar con el descubrimiento de Urano en 1781; descubrió también varias nebulosas. En 1838, F. W. Bessel, director del observatorio prusiano de Königberg hizo la estimación de la distancia de la tierra a la estrella 61 Cigni, calculándola en unas 600.000 veces la distancia tierra sol, mostrando el firme fundamento del universo copernicano. El método de paralaje de Bessel reveló las distancias de muchas estrellas próximas. Todas las observaciones importantes practicadas desde el siglo XVII reforzaron la convicción de que el universo es de dimensiones fabulosas, imagen del mundo aportada por Bruno, condenado a morir en la hoguera, y adoptada hoy por los hombres de ciencia.

La revolución copernicana planteó el paradigma heliocéntrico el cual enfrentaba problemas teóricos que no pudieron ser resueltos por la Mecánica de Aristóteles que por tantos siglos sirvió de base al sistema geocéntrico de Claudio Ptolomeo; era necesario estructurar una teoría coherente que diera respuesta a los interrogantes surgidos. Galileo y Newton aportaron una nueva y adecuada mecánica científica; Galileo, en los últimos ocho años de su vida, en el retiro forzado de Arcetri, se ocupa de los problemas mecánicos que había abandonado cuando se lanzó a su cruzada copernicana; en los "Discursos y Demostraciones Matemáticas en torno de dos nuevas ciencias", publicado en 1638, lejos de Roma, nace la Física Moderna.

ISAAC NEWTON, se acercó a los problemas del movimiento planetario equipado con ideas precisas acerca de la velocidad, la aceleración, el momento y la fuerza; ideas derivadas de los conceptos más fundamentales de espacio, tiempo y masas mensurables. La teoría planetaria de Newton no se difundió hasta la publicación de "Los Principios Matemáticos de la Filosofía Natural" en 1687. Los problemas que se propuso resolver fueron los siguientes:

1. Una sola fuerza dirigida hacia el sol, ¿puede dar razón del movimiento según las leyes de Kepler?.

2. ¿Debe ser ésta, una fuerza constante o variable?.

3. ¿Es la hipótesis de una tal fuerza una hipótesis razonable?.

4. ¿Cual es la naturaleza de esa fuerza si efectivamente existe?.

Esta última cuestión fué la primera a que se dedicó Newton, desde 1665 y 1666, cuando aún no había terminado sus estudios.

La necesidad de contar con una fuerza dirigida hacia el sol resultó patente en cuanto intentó correlacionar la nueva astronomía con la nueva mecánica. En el universo copernicano la tierra es uno más entre los cuerpos celestes que le son similares y comparten su estatuto cosmológico; puesto que los objetos situados cerca de la tierra son atraídos por ésta, parecía razonable suponer que los objetos situados cerca de Júpiter, por ejemplo, son atraídos por este planeta y los que están cerca al sol son atraídos por el sol y así para los demás astros. La gravitación producida por la genialidad de Newton fue considerada no como un atributo único de la tierra, sino como una propiedad de cualquier cuerpo material. Por tanteo Newton llegó a dar forma matemática precisa a lo que más tarde fue la famosa Ley de la Gravitación Universal la cual suministra ciertamente la fuerza necesaria para mantener planetas y satélites en sus órbitas. Los Principia enuncian explícitamente las leyes del movimiento y la de la gravitación universal y muestran cómo puede predecirse el movimiento de los cuerpos regidos por esos principios. Los resultados se aplican entonces al sistema solar; así se demuestra que si se desprecian las ligeras perturbaciones ejercidas por unos planetas sobre otros, el sistema obedece exactamente las leyes de Kepler. El estudio de las perturbaciones dio lugar al descubrimiento de Neptuno; se halló que teniendo en cuenta todas las perturbaciones producidas por Júpiter y Saturno, las posiciones calculadas para Urano diferían de las observadas; aunque pequeñas, era una discrepancia que no debía ser ignorada. Adams y Leverrier independientemente calcularon la posición de un planeta desconocido a partir de los efectos observados en Urano, planeta que posteriormente sería descubierto por Galle.

Los inmediatos sucesores de Newton, los grandes mecanicistas del siglo XVIII atribuyeron a la ley de la gravitación universal una fecundidad casi inagotable.

Desde fines del siglo XVII y hasta fines del siglo XX se produjo además otro proceso de desarrollo en torno a las ideas sobre la naturaleza de la luz; Newton concibió la luz como fluido corpuscular; Cristian Huygens (1596, 1687) concibió la luz semejantemente al sonido, como una onda que se propaga en el espacio, cuestión que necesariamente conllevaba a proponer un medio iterestelar pues ninguna de las ondas conocidas por entonces era capaz de propagarse en el vacío. Huygens y sus seguidores supusieron que el espacio está ocupado por un material al que denominaron éter lumínico; Ampère(1775, 1836), asimiló el éter como el fluido que llena todo el espacio, prácticamente incompresible y que pasa a través de todos los cuerpos, representación que recuerda el apeirón de Anaximandro. El modelo del éter fue variando de acuerdo con la necesidad de explicación de los fenómenos eléctricos y magnéticos observados. A fines del siglo XIX el fluido cósmico de Huygens servía de vehículo para la propagación de las ondas electromagnéticas de Maxwell cuyo trabajo suministró una elegante teoría matemática que enlazaba todos los fenómenos de la luz, la electricidad y el magnetismo. Entre 1881 y 1887, Albert Abraham Michelson y Edward Morley, trabajaron en un proyecto experimental cuyo objetivo era la detección de esa misteriosa sustancia llamada éter; el experimento no dio los resultados esperados, lo cual echaba al suelo todas las teorías sobre la existencia de un éter lumínico que no daba señales de su existencia; posteriormente Einstein consideró el éter como una idea que lastraba la concepción del universo, que al amanecer del nuevo siglo, respondía a la Cosmología copernicana con la ventaja de estar sustentada por la Física Newtoniana con sus

concepciones de espacio y tiempo absolutos, masa no variable, fuerzas, tensiones, oscilaciones y por la ley universal de la gravitación; por partículas y ondas claramente definidas y diferenciadas; por órbitas elípticas y por la Física de Maxwell para quien la luz es una onda electromagnética, que viaja en el espacio a la velocidad de 300.000Km/seg.

A pesar de todo el desarrollo teórico y tecnológico de los siglos XVIII y XIX, el universo de principios del siglo XX, contenía trazas de las cosmologías de la antigüedad; por ejemplo, aún subsistía la concepción aristotélica del espacio lleno por un fluido cuyas características escapaban a los intentos de detección; para los científicos era preciso hallar justificación a los resultados experimentales negativos en cuanto a la existencia de ese sustrato invisible que llenaba el universo.

Si bien es cierto que el telescopio permitió espiar los aspectos y los movimientos de los astros luminosos, poco aportó sobre la naturaleza del espacio que queda entre ellos; éste suele aparecer oscuro e indevelable para el ocular. Ello significa que los enigmas del espacio interestelar sumado a las cuestiones surgidas como consecuencia de los avances teóricos en el mundo de las partículas elementales, cuya relación con el macrounvierso venía siendo evidenciada, constituyeron retos para el mundo científico del siglo XX. La imagen cosmológica de un universo totalmente impregnado de un fluido inmaterial atravesaba un momento crítico, en tanto el éter su existencia y propiedades, se presentaba a la ciencia como un problema anómalo que amenazaba la estabilidad de las teorías soportadas en ese misterioso fluido, tras el fracaso del experimento de Michelson y Morley. El mundo científico enfrentaba otra crisis paradigmática, al tenor de la obra de Kuhn; el paradigma mecánico no explicaba a satisfacción cuestiones surgidas desde diversas

vertientes: en el reino nunca visto del átomo y en las profundidades insondables del universo intergaláctico en el cual el viejo enigma del excéntrico comportamiento del planeta mercurio aún desvelaba a los astrónomos. Frente a la problemática que enfrentaba la Física de fines del siglo XIX, los científicos buscaban en el mundo mecánico de Newton, argumentos que dieran explicación satisfactoria a los resultados experimentales encontrados y a los eventos naturales observados, pero éste no explicaba a satisfacción las cuestiones planteadas. Como en la revolución científica de los siglos XVI y XVII, los generadores de la Física Moderna aportaron desde diversos ámbitos los fundamentos de ese edificio inacabado. Abordaremos en adelante el paradigma einsteniano, el cual implica un cambio de perspectiva en cuanto a la forma de abordar los fenómenos y percibir y representar el cosmos.

8.1.3. COSMOLOGÍAS DEL SIGLO XX.

Un hecho irrefutable planteaba el experimento de Michelson y Morley: "*La velocidad de la luz no es afectada por el movimiento terrestr*e". ALBERT EINSTEIN (1879, 1955), físico alemán de origen judío, autor de la teoría de la relatividad especial y general, quien también explicó con éxito el movimiento browniano y el efecto fotoeléctrico por cuya interpretación recibió el premio Nóbel de Física, pensó que si la velocidad de la luz era constante independientemente del movimiento de la tierra, también debería serlo independientemente del sol, luna, estrellas, meteoros o cualquier otro sistema que se mueva en cualquier otro lugar del universo; así que entendió esto como la revelación de una ley universal; afirmó que "*las leyes de la naturaleza son iguales para todos los sistemas que se mueven uniformemente*".

Para Einstein el universo es un lugar desasosegado; estrellas, nebulosas, galaxias y todos los sistemas gravitacionales del espacio están en incesante movimiento los cuales sólo pueden describirse relacionándolos unos con otros ya que en el espacio no hay direcciones ni fronteras; no hay ni espacio ni tiempo absolutos; la naturaleza no ofrece medidas absolutas de comparación. El mundo es un continuo espacio-tiempo; toda la realidad existe en el espacio y el tiempo, que son inseparables. Todas las mediciones del tiempo son realmente mediciones en el espacio y a la inversa. Segundos, minutos, horas, días, semanas, meses, estaciones y años son medida de la posición de la tierra en el espacio con relación al sol, la luna y las estrellas. Como firme creyente de la armonía de la naturaleza, se negaba a creer que cualquier sistema que se encuentre en estado de movimiento no uniforme fuese un sistema excepcional en el que las leyes de la naturaleza fueren distintas. Para Einstein el movimiento de los planetas y de las estrellas nace de su inherente inercia y los cursos que siguen están determinados por las propiedades métricas del continuo espacio-tiempo. Para cada concentración de materia en el universo, existe una correspondiente distorsión en el continuo espacio – tiempo. Cada cuerpo celeste, cada galaxia crea irregularidades a modo de reflujos alrededor de islas en el mar. A mayor concentración de materia, mayor es la curvatura en el espacio-tiempo; las distorsiones combinadas, producidas por las incomputables masas de materia, obligan al continuo a volverse sobre sí mismo, describiendo una gran curva cósmica cerrada. Así, el universo de Einstein es no euclidiano y finito; no existen líneas rectas sino geodésicas o grandes círculos. El espacio, a pesar de ser finito, no tiene fronteras. La curvatura del espacio está determinada por su contenido material.

Esta idea planteó un problema cosmológico resuelto por EDWIN HUBBLE, astrónomo del observatorio Monte Wilson, quien observó durante años áreas enteras del espacio calculando penosamente la cantidad media de materia. La conclusión a que llegó fue que en el universo hay 0,00000000000000000000000000001 gramos de materia por centímetro cúbico. Sustituido en las ecuaciones de campo de Einstein, este valor da para la curvatura del universo el valor de 35 mil millones de años luz, lo que en kilómetros da 340.000.000.000.000.000.000.000, lo que quiere decir que un rayo de luz lanzado al espacio describirá en este universo un gran círculo cósmico y volverá a su fuente de origen después de un poco más de 200 mil millones de años terrestres.

En la época en que Einstein desarrolló su cosmología no había sido observado un extraño fenómeno posteriormente visto e interpretado por Hubble a principios de la tercera década del siglo XX. Hubble observó que las galaxias parecen alejarse unas de otras y que las más alejadas se distancian con mayor velocidad. El hallazgo de Hubble implicaba que el universo está en expansión y se interpretó como prueba de que el universo tuvo un origen. En 1922 Alexander Friedmann, desafiando el universo estático de Einstein, demostró que éste había cometido un error en los cálculos y que las propias ecuaciones de Einstein permitían la descripción de un universo que evoluciona. En 1927, el sacerdote belga y físico teórico George Lemaitre, galvanizó a los cosmólogos con su propuesta de que "un átomo primigenio" denso y muy caliente estalló para crear el actual universo.

La versión moderna del gran estallido o Big Bang se debe a George Gamow y sus discípulos Ralph Alpher y Robert Herman quienes al calcular la síntesis de los elementos químicos de la explosión primordial trasladaron, en la década de los años cuarenta, la idea

del big bang del campo de las hipótesis al terreno de la ciencia observacional. En 1948, Alpher y Herman, publicaron en la revista científica Nature su hipótesis que el espacio debía estar bañado por un mar de energía electromagnética , hipótesis que fue confirmada dieciocho años después por Arno Penzia y Robert Wilson quienes lograron identificarla y calcularon además que ésta comportaba una temperatura en torno a los 2,7ºK, hecho que dio cabida para que, desde *la década* de los años cincuenta surgiera una aceptación mayoritariamente generalizada de la teoría cosmológica que supone que*, el universo tuvo su comienzo en la explosión del átomo primigenio (big bang), evolucionó desde condiciones iniciales de calor y densidad tan extremados que sólo podían existir en él la radiación y las partículas elementales; los núcleos mayores se formaron cuando los más pequeños, comenzando por el hidrógeno, fueron creciendo mediante la captura sucesiva de neutrones; el proceso continuó hasta que se agotó el suministro de neutrones libres; más tarde el universo se expandió y se enfrió formándose por condensación las estrellas y las galaxias.*

Fred Hoyle, profesor de la Universidad de Cambridge, para ridiculizar esta tesis que se oponía a la suya del universo estacionario, la llamó "teoría de la Gran Explosión", proporcionándole el nombre con que hoy se conoce.

La Teoría Cosmológica del Universo Estacionario, supone que el universo existió desde siempre y explica que la dispersión de materia resultante de la observada expansión del universo está compensada por la continua creación de materia.

La Teoría de la Gran Explosión, ha prevalecido debido en gran medida, a la predicción, observación e interpretación de la radiación cósmica de fondo descubierta en los años 1964-1965 por Penzia y

Wilson, que inunda el cielo en todas las direcciones en las frecuencias de microondas. El modelo estacionario no predijo la radiación ni pudo explicarla de manera plausible, hecho que marcó el abandono de dicha teoría por sus seguidores a finales de los años sesenta. Desde el descubrimiento del fondo todas las observaciones indicaron que éste era perfectamente isótropo y correspondía exactamente con la curva de un cuerpo negro. La radiación de fondo planteó a la teoría de la gran explosión el problema de su excesiva uniformidad; carecía de las ligeras variaciones de temperatura y densidad necesarias para sembrar posteriores agrupaciones gravitatorias sin la cual no habría tiempo para producir las galaxias y las estructuras supergalácticas; problema resuelto en Abril de 1992 por George Smoot y sus colegas quienes detectaron esas ligeras variaciones de temperatura en la radiación cósmica de fondo. (Ver figuras 7 y 8).

Era natural que en el seno de la comunidad científica surgieran nuevas preguntas o se retomaran cuestiones antiguas: ¿realmente el universo comenzó con una gran explosión o tuvo una fase previa de contracción, una "gran implosión" (big crunch) que condujo a las altas temperaturas y densidades?. ¿Seguirá en expansión perpetua el universo o finalmente se colapsará en un agujero negro?, problema fundamentalmente relacionado con la cantidad de materia del universo, pues ésta determina si el universo es cerrado o abierto. Un universo cerrado posee la densidad de materia suficiente para detener la expansión antes de que llegue al infinito.

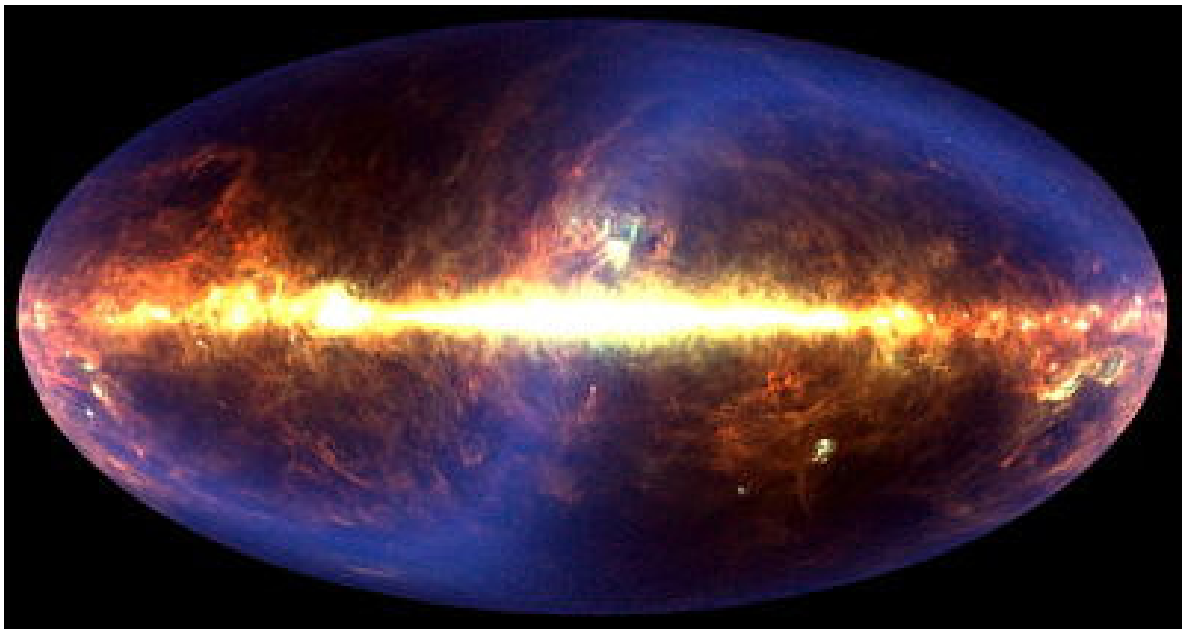


Figura 7. Fondo Cósmico de Microondas 1.[2]

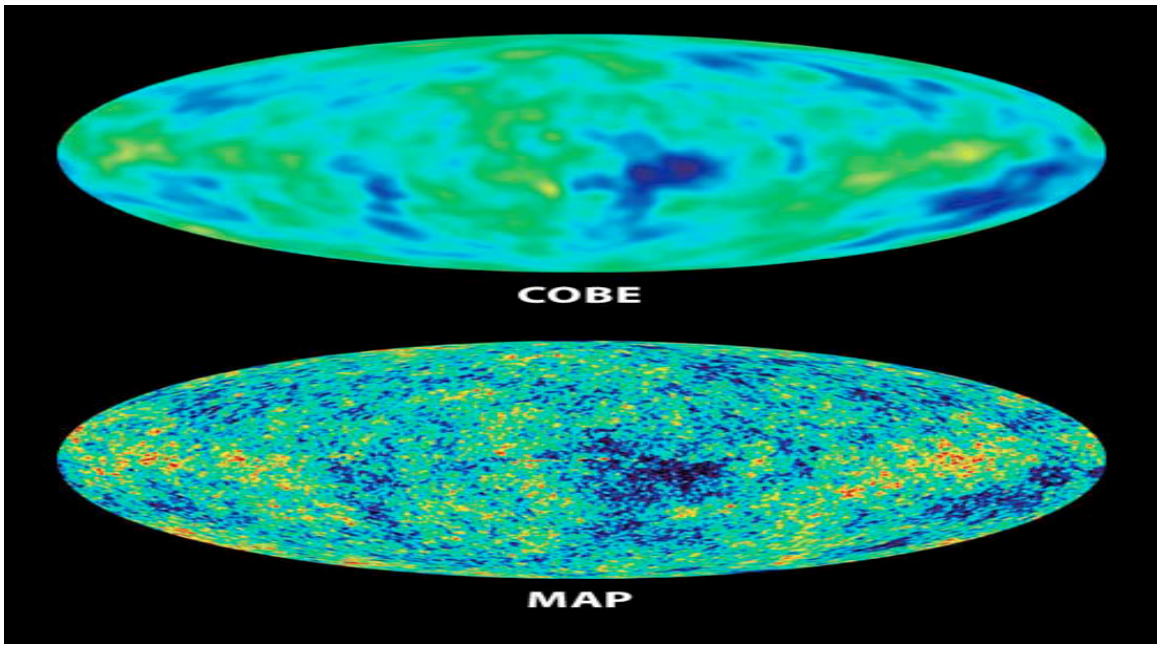


Figura 8. Fondo cósmico de microondas 2. [3]

[2] La desesperación de los cosmólogos duró casi treinta años, ya que la teoría predice que el fondo debe ser anisótropo y que estas anisotropías son las semillas de las primeras estructuras de materia que vemos ahora en el universo (galaxias, cúmulos, etc.). Fue el satélite COBE (Cosmic Background Explorer) el que descubrió estas anisotropías en 1992 . Figuras tomadas de: Puerta del Universo del círculo de Astronomía

Si la densidad de materia es superior, el universo dejará un día de expandirse y empezará a contraerse y si es inferior, el universo está destinado a expandirse para siempre. Ideas que dominan actualmente el pensamiento físico.

Actualmente ignoramos si vivimos en un universo abierto o cerrado. Sabemos que vivimos en un universo evolutivo pero su último destino permanece aún en el mundo de los problemas sin solución y plantea un panorama en el desarrollo de las ciencias sujeto a los resultados de programas de investigación en el mundo de lo infinitamente pequeño y en el macrouniverso. Se habla de materia oscura, materia oculta, antimateria, teoría de cuerdas, energía oscura,... Rees(2000), dice que en la actualidad, el acervo del saber avanza en tres frentes: Lo muy grande, lo muy pequeño y lo muy complejo y que, la Cosmología se mueve en los tres.

¿Cómo evolucionó una bola de fuego amorfa, muy caliente, a lo largo de diez o quince mil millones de años hasta convertirse en un cosmos complejo, lleno de galaxias, estrellas y planetas?. ¿Cómo se juntaron los átomos aquí en la tierra o quizá en otros mundos para constituir seres vivos lo bastante complicados como para pensar en su propio origen?. Estas preguntas son un desafío para el presente milenio. Con Arnau(1994), podemos afirmar que, al inicio del presente siglo la creencia es que, "*todo el universo observable es*

---

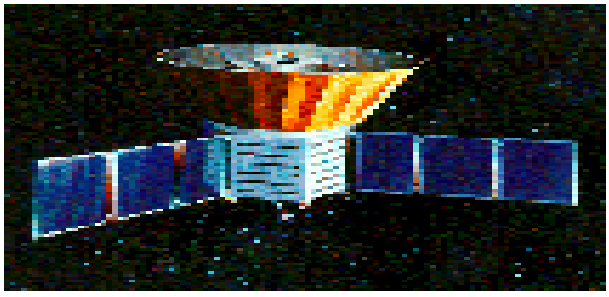
[3] (12/Feb./03 WMAP - CA) **M**ediante un avanzado telescopio espacial de microondas, en órbita alrededor del segundo Punto de Lagrange, o "L2", de nuestro planeta, a un millón y medio de kilómetros de la Tierra en la dirección contraria al Sol. Un equipo científico de la NASA, ha obtenido la mejor imagen del Fondo Cósmico de Microondas conseguida hasta el momento. Es el resultado de doce meses continuados de observaciones de todo el cielo y contiene detalles asombrosos, que podría llegar a ser el descubrimiento científico más importante de los últimos años. El retrato cósmico fue obtenido con la Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) de la NASA. Imagen: Un mapa oval de todo el cielo, de la primera luz del Universo, abarcando todo el cielo. El rojo indica zonas más "cálidas" y las azules más "frías".

un solo mundo material, una misma entidad corpórea tan sustancial como la tierra que nos alimenta , como el aire que respiramos o como nosotros mismos"

Hemos de señalar, como característica de los avances de la ciencia contemporánea que en las décadas más recientes, gracias a instrumentos como el telescopio espacial Hubble, los satélites, las sondas espaciales…, la Cosmología dejó de ser una ciencia teórica para convertirse en observacional, cuantitativa; por ejemplo, la precisión de las observaciones de las supernovas ha posibilitado llegar a la conclusión que la expansión cósmica se acelera. Como ya hemos comentado, desde los años veinte se sabe que el tamaño del universo aumenta y las galaxias se separan más y más, pero siempre se había supuesto que la expansión se moderaba frenada por la fuerza atractiva de la gravedad; desde fines de la década de los noventa se vislumbra un universo que se expande aceleradamente, lo que supone al universo lleno de alguna forma de materia o energía desconocida cuya gravedad en vez de atraer, repele; argumento que nació mucho antes (hace más de 15 años), cuando al hacer cuenta de la materia ordinaria que hay en el universo se encontró que no hay la cantidad que se precisa para frenar la expansión cósmica según el modelo inflacionario, hecho que al poner éste en crisis propició que los científicos apelaran a hipótesis alternas como la de la materia o energía obscura. Para su detección se han generado proyectos científicos y tecnológicos entre los cuales podemos mencionar la nave espacial Plank, cuyo lanzamiento está previsto para el año 2.007, la nave levantará un mapa mucho más preciso del Fondo Cósmico de Microondas (FCM), del que elaboró la Sonda de la Anisotropía del Fondo de Microondas (MAP), entrada la década de los años noventa, un mapa con una resolución mucho más fina que la realizada por el satélite COBE con el cual se detectaron, a principios de los noventa, ciertas

variaciones (una parte en 10.000) de la temperatura de la radiación, lo que puso en evidencia que en el plasma inicial se dieron pequeñas inhomoheneidades (pequeños grumos) en la distribución de la masa, que evolucionaron hasta convertirse en las macroestructuras del universo (galaxias y cúmulos de galaxias). (Ver figuras 9a y 9b)

Después de 26 siglos, podría decirse que aún se tienen los mismos problemas respecto al cosmos y que su solución es más compleja en la medida en que hay muchos más elementos para tener en cuenta, que han sido aportados desde los diferentes ámbitos científicos y tecnológicos.



SATÉLITE **COBE**. (**CO**smic **B**ackground **E**xplorer)



Julio 30, 1997
Foto No.: STScI-PRC97-25 Una imagen del Telescopio Espacial Hubble de la NASA, del cúmulo de galaxias CL1358+62, muestra una imagen aumentada por un lente gravitacional, de una galaxia más distante, situada mucho más allá del cúmulo. La imagen aumentada por el lente gravitacional, aparece como un creciente rojo, abajo y a la derecha del centro

Figura 9a. Satélite COBE e imagen tomadacon el HUbble



Figura. 9b. Imágen reciente del espacio profundo tomadas con el telescopio espacial Hubble[4]

Las cosmologías aceptadas recientemente aunque mantienen muchas de las hipótesis de los pensadores antiguos, sus enfoques hacen de éstas cuerpos teóricos más avanzados, coherentes y fundamentados cuyas características las colocan entre los programas de investigación progresivos de la modernidad.

Para concluir, vale la pena preguntarnos: ¿el panorama Científico complejo e interesante de las cosmologías recientes ha traspasado el umbral de las aulas de las instituciones educativas donde se enseña ciencias?; sería interesante indagar respecto al panorama de la educación científica de los educandos y conocer cuales son los elementos que los estudiantes incorporan a la estructura del universo en su conjunto o a los modelos globales que lo explican y

[4] Si un punto brillante lejano, por ejemplo un quasar, es observado cuando una gran masa seinterpone entre éste y el observador, la desviación de los rayos de luz generan un efecto lente. Este fenómeno se conoce con el nombre de "lente gravitacional". El resultado es que, justo como ocurre con una lente óptica, la luz se enfoca y el objeto se ve más brillante. También pueden aparecer imágenes múltiples del mismo objeto. Fotografías tomadas de “Galería de fotos”. Astromía.

relacionarlos con las características del universo desde la perspectiva de los docentes; ello nos permitiría complementar el dominio de saberes en torno al problema que nos ocupa. Creemos que son pocos los estudiantes de ciencias que tienen la oportunidad de estudiar, analizar y comprender que la materialidad del cosmos plantea la convergencia de los problemas de los universos infinitamente grande e infinitamente pequeño; que las investigaciones realizadas en el micro y macrouniverso están encaminadas a develar los misterios que han obsesionado al homosapiens a través de la historia: ¿ de qué está formado el universo?, ¿qué clase de materia es la más abundante?, ¿cómo evolucionan las componentes del universo?, ¿qué fuerzas lo dominan?, ¿existe un solo universo material o muchos de diferente naturaleza?, ¿el universo ha existido siempre o tiene un origen y tendrá un final?, ¿estamos solos en el universo?...; que la epistemología e historia de las ciencia registra en sus anales el hecho que la búsqueda de respuestas a estas y otras preguntas, ha desencadenado un desarrollo vertiginoso de la ciencia que en el pasado siglo tuvo su máxima expresión, hecho que desgraciadamente no ha logrado permear las aulas de clases.

¿QUÉ HACER FRENTE A ESTE PANORAMA?.

Nuevas orientaciones en investigación educativa han planteado el estudio de los modelos mentales de estudiantes y profesores sobre tópicos de ciencias, en particular de la ciencia moderna y contemporánea, asumiendo que es posible propiciar evolución en los modelos mentales que los individuos tienen sobre eventos y fenómenos de la ciencia a través de procesos cuya duración en el tiempo y variedad de situaciones y problemas desencadenen desequilibrio conceptual en la mente de los individuos y les posibiliten rodar, recombinar y reestructurar los primitivos

conceptuales y/o tokens para estructurar modelos científicamente válidos sobre el tema objeto de estudio. Con este propósito, abordaremos en adelante las teorías psicológicas que servirán de soporte teórico a la estrategia metodológica que busca desencadenar evolución en los modelos que sobre el universo tienen los docentes de ciencias, los elementos que incluyen en su estructura y propiciar enriquecimiento conceptual en torno a las teorías que fundamentan los modelos cosmológicos recientes.

8.2. SOBRE EL CAMBIO CONCEPTUAL.

La década de los años ochenta marcó en el seno de la educación en ciencias la época de las investigaciones que buscaron promover "cambio conceptual" en los estudiantes, corriente generada con base en los resultados de la investigación didáctica de los años 70, cuyo foco principal lo constituyó el estudio de las concepciones alternativas o preconcepciones. Se trabajó entonces en la búsqueda de nuevos modelos de enseñanza – aprendizaje asumiendo el cambio conceptual como el abandono, la eliminación de una concepción supuestamente errada y su reemplazo por una concepción científica más predictiva y explicativa a través de la aplicación de estrategias instruccionales basadas algunas, en los cambios de paradigmas de Kuhn y la idea piagetana de conflicto cognitivo desde la cual debía colocarse al alumno en una situación o experiencia que provocase un estado de desequilibrio o disonancia a partir del cual la acomodación cognitiva aparecía como un inmediato cambio conceptual. Posteriores investigaciones relevaron el hecho que el conflicto cognitivo, por más crucial que se presente, es insuficiente para rechazar definitivamente una concepción alternativa pues los alumnos disponen de hipótesis auxiliares para salvar sus teorías implícitas. (Pozo,1992; Moreira, 1994)

Por otro lado se implementaron estrategias para promover cambio conceptual basados en la propuesta de Posner et al (1982), la cual inspirada en las orientaciones filosóficas de Thomas Kuhn y Karl Popper, se constituyó en lugar común en los procesos experimentales llevados a cabo en las aulas de clase, cuyo objetivo era lograr desplazar – eliminar las concepciones alternativas de los estudiantes reemplazándolas por conceptos científicamente válidos aplicando los cuatro elementos de la propuesta:

- Insatisfacción con las convicciones existentes;
- Existencia de una nueva concepción;
- Ésta debería ser inteligible y plausible; y,
- Debería sugerir un programa de investigación.

Como en el caso anterior, posteriores investigaciones han señalado algunas críticas al modelo y han mostrado que, en general, los estudiantes continúan usando sus concepciones previas en contextos cotidianos (Duit, 1996); esto es, no hay evidencias efectivas de ocurrencia de cambio conceptual en los alumnos. (Mortimer, 1996).

Otras corrientes de investigación didáctica para el cambio conceptual Nusbaum y Novick(1982), Driver y Oldam(1986), Pozo(1989), (…) surgieron en la misma década cuyos aportes, conjuntamente con los de las estrategias ya referenciadas, dejaron como enseñanza que el cambio conceptual es un proceso de largo aliento, por lo tanto no puede darse de la noche a la mañana, que es preciso tener en cuenta muchos factores que están involucrados que no pueden aislarse ni ignorarse, como los factores emocionales y el contexto; que no se puede dar cambio en el sentido de ruptura, sustitución, reemplazo de una cosa por otra en la mente del alumno, (…). (Greca y Moreira, 2.003).

Para Moreira y Greca(1994), este tipo de cambio conceptual no puede darse pues se está hablando de cambiar concepciones alternativas aprendidas significativamente en el sentido de Ausubel y Novak(1983), lo cual equivale a decir que se está hablando de concepciones alternativas "resistentes al cambio" como las ideas de "proporcionalidad entre fuerza y velocidad", calor concebido como "calórico", o estaciones como "resultado de la variación de la distancia tierra-sol".

Al respecto, Solomon (1984), opina que significados que subyacen en las concepciones alternativas no pueden ser obliterados, incluso cuando están en contra de la ciencia, porque son continuamente reforzados por el lenguaje cotidiano y Greca y Moreira (2.003), afirman que es ilusorio pensar que un conflicto cognitivo y/o una nueva concepción plausible, inteligible y fructífera conducirá al reemplazo de una concepción alternativa significativa.

8.3. TEORÍAS REPRESENTACIONALES.

Puede decirse que frente a los pobres resultados hallados en torno al cambio conceptual y|o al cambio conceptual, metodológico y actitudinal del que posteriormente hablaron Gil y Carrascosa(1985); Gil y otros(1991), surge en la década de los años 90 lo que podría señalarse como un consenso emergente en torno a un nuevo constructo en el que se asume que la mente es representacional, que el conocimiento consiste de representaciones mentales pues los sujetos no captan el mundo exterior directamente sino que construyen representaciones internas de éste. Desde este referente el funcionamiento de la mente es mejor entendido en términos de *representaciones mentales y los procedimientos que las utilizan;* su estudio nos permite entender mejor los procesos de construcción,

evolución y cambio de esas representaciones. Desde este referente, las nuevas orientaciones en investigación educativa han planteado desde la Psicología Cognitiva y más recientemente desde la Ciencia Cognitiva el estudio de las representaciones mentales (proposiciones, imágenes o modelos mentales) de estudiantes y profesores, asumiendo que éstas le proporcionan una forma de indagación sobre los procesos de construcción que se dan en la mente de los individuos. La búsqueda de respuestas a las preguntas: ¿Cómo representamos el mundo en nuestras cabezas?; ¿Cómo construyen los seres humanos sus mundos?. ¿Qué mecanismos básicos están por detrás del funcionamiento de las imágenes?; ¿podemos decir algo interesante sobre las propiedades generales de los modelos que almacenamos en nuestras cabezas que guían nuestra percepción, nuestros pensamientos y nuestras palabras?... partió del presupuesto que construimos mundos con la ayuda de sistemas simbólicos y puso en evidencia la necesidad de estructurar un cuerpo de conocimientos en torno a nuestras *representaciones mentales*, consideradas éstas como la manera de representar internamente el mundo externo, de pensar la realidad cotidiana, por lo tanto, consideradas como un proceso mental elaborado por las personas dentro de los grupos a fin de fijar posición en relación con situaciones, acontecimientos, objetos y comunicaciones que les conciernen.

Gardner (1984), en su texto ”Frames of Mind” afirma: “*las mentes se especializan para dedicarse a las formas verbal, matemática o espaciales de elaboración de mundos , basándose en los medios simbólicos proporcionados por las culturas que se especializan en sus preferencias por diferentes clases de mundos*”. Desde este marco referencial, se precisa tener en cuenta que para comprender las representaciones de un sujeto es necesario tanto adentrarse en su epistemología personal, en sus creencias, en sus teorías

implícitas como en las representaciones sociales del contexto en el cual las ha construido; es decir, hacer explícitas las representaciones implica un cuestionamiento al sujeto y al contexto del cual hace parte.

De Vega(1984), reconoce que una de las cuestiones generales más polémicas difíciles e interesantes de la Psicología Cognitiva es la relativa a las representaciones mentales. Expresa el autor citado que la comprensión del sistema cognitivo humano pasa necesariamente por el entendimiento de las propiedades funcionales y estructurales del formato de nuestros pensamientos. En esa línea de pensamiento, Craik (1963), asume que los seres humanos traducen eventos externos en modelos internos y razonan por la manipulación de esas representaciones simbólicas, traduciendo los símbolos resultantes en acciones o en evaluaciones de hechos externos.

Eisenk y Keane (1984), desarrollan el tema sobre representaciones tanto externas como mentales, las clasifican y caracterizan relevando las diferencias y similitudes entre ellas y presentan el debate surgido al interior de la psicología cognitiva entre analogistas - imagistas y proposicionistas quienes buscan sustentar unos, que las imágenes difieren considerablemente de las proposiciones y otros que las imágenes son una manera superficialmente diferente de elaborar las informaciones proposicionales, considerando las imágenes como un epifenómeno; es decir, si la representación es proposicional, lo que imagino no necesariamente debe estar acompañado de una imagen, lo que lleva a un solo tipo de representación, la proposicional. Phylyshyn(1973), es el principal exponente de la corriente de científicos cognitivos que proponen que la cognición debería ser analizada sólo en términos de proposiciones. Eisenk y

Keane(op.cit.), desarrollan los argumentos y evidencias experimentales que investigadores de ambos bandos han acumulado a favor o en contra de las imágenes y proposiciones.

Según los autores citados, la teoría de los modelos mentales es una tercera forma de constructo representacional que surge en la literatura psicológica propuesta entre otros por Jonhson-Laird(1983), quien supone que las *proposiciones* son representaciones de significados expresables verbalmente, las *imágenes* son representaciones bastante específicas que retienen mucho de los aspectos perceptivos de determinados objetos o eventos y los *modelos mentales* son representaciones analógicas un tanto abstraídas de conceptos, objetos o eventos que son espacial y temporalmente analógicas a las impresiones sensoriales.

Para Moreira(2.001), las imágenes y los modelos mentales son representaciones analógicas; son no discretas, concretas, organizadas por reglas blandas de combinación y específicas a la modalidad a través de la cual la información fue originalmente encontrada; en cambio, las representaciones proposicionales son discretas (individuales), abstractas, organizadas según reglas rígidas y captan el contenido ideacional de la mente independiente de la modalidad original en la que la información fue encontrada. Estas representaciones son "tipo lenguaje" pero un lenguaje que no tiene que ver con la lengua ni con la modalidad de percepción; es un lenguaje de la mente llamado "mentalés". En concreto, para el autor citado, las representaciones proposicionales no son frases en una cierta lengua, son entidades individuales y abstractas formadas en el lenguaje propio de la mente.

Pozo (2.002), opina que los modelos mentales no están almacenados de manera estable en la memoria de largo plazo sino

que son representaciones que se construyen "ad hoc" como respuesta a las demandas situacionales de un contexto concreto. Son construidos aquí y ahora en la memoria de trabajo, construcciones en respuesta a la demanda concreta de una situación, actualizaciones situacionales de las teorías implícitas mediante las que representamos buena parte de nuestros conocimientos intuitivos e informales. (Rodrigo, 1997).

En este nuevo referente conceptual surgido en el seno de la Ciencia Cognitiva, desde el cual el conocimiento de la mente consiste en representaciones mentales (Johnson-Laird como ya se dijo, las asume en términos de un triple código: proposiciones, imágenes y modelos mentales), fue posible interpretar la conducta y las acciones de los individuos en términos de un sistema de representaciones y procesos que variaban de acuerdo con el modelo teórico asumido; ello implicó una variedad de contribuciones y aportes de los científicos cognitivos sobre modelos mentales, cuyos presupuestos básicos convergían al suponer que el cambio conceptual no es la sustitución de una concepción por otra, sino el encuentro de limitaciones o campo de validez de la vieja concepción y la aceptación de plausibilidad y eficiencia de la nueva.

Pozo(1999), asume que las personas adquieren representaciones sobre el mundo que les permite detectar sus regularidades haciéndolo más predecible y calculable; para el autor, aprender ciencia es cambiar el tipo de representaciones y procesos desde los cuales se abordan los problemas y situaciones a los que nos enfrentamos; asume el *cambio conceptual en términos de la explicitación creciente de las representaciones y procesos de los que el individuo no es consciente*; esto es, de las representaciones implícitas; para él, el conocimiento y los supuestos en que se basa, se puede reestructurar o reinterpretar a partir de otras formas de

conocimiento más complejas, pero rara vez se abandonan o se eliminan de la mente del individuo ya que resultan de una gran eficacia cognitiva adaptativa.

Vosniadou(1994) opina que entre las teorías científicas y las teorías específicas de los estudiantes acerca del mundo real existe una incompatibilidad provenientes de los presupuestos epistemológicos y ontológicos que forman la base de su sistema de creencias que han sido establecidas en la infancia y conforman una especie de "teoría de base" que dirige los modos como los sujetos interpretan sus observaciones y las informaciones que recibe de la cultura con las cuales construye su "teoría específica" sobre el mundo físico, constituida por creencias y modelos mentales. Las teorías específicas son continuamente enriquecidas y modificadas con las interacciones del individuo con el contexto sociocultural donde se desenvuelve, mientras que las "teorías de base" son más resistentes al cambio. Para la autora, el proceso de cambio conceptual *es el resultado de la revisión gradual de los presupuestos y creencias tanto en las teorías específicas como en las teorías básicas(Aguiar Jr, 2001);* podríamos decir también que, *el cambio conceptual es la modificación progresiva de los modelos mentales*[5] *que la persona tiene sobre el mundo físico conseguido por medio de enriquecimiento,* el cual implica la adición de informaciones a las estructuras conceptuales existentes y *revisión,* desde la cual supone cambios en las creencias o presupuestos individuales o en la estructura relacional de una teoría. (Moreira, 1999).

Para Vergnaud(1994), la construcción de conocimientos es la construcción progresiva de representaciones mentales implícitas o

[5] Podemos decir con base en la descripción realizada que los modelos mentales de Vosniadou exiben características distintas que los modelos mentales de Johnson-Laird concebidos como estructuras funcionales pero desechables construidas en la memoria de trabajo. (Moreira, 2.003), mientras que los modelos mentales de Vosniadou son modificados gradualmente con la interacción con el contexto sociocultural donde el sujeto se desenvuelve.

explícitas homomorfas a la realidad en algunos, no en todos los aspectos y el *desarrollo cognitivo consiste en el desarrollo de un vasto repertorio de esquemas que permite a los sujetos enfrentar y dominar la gama de situaciones que se les presente*; para el autor, los conceptos adquieren carta de naturaleza como integrantes de los esquemas; ellos forman parte del conocimiento del sujeto y le van a permitir la acción.

Gutiérrez (2.000), basa el *cambio conceptual en la necesidad del individuo de construir modelos mentales coherentes, robustos y consistentes que posibiliten una concordancia entre su pensamiento y los datos del mundo externo*; en este proceso, opina la autora citada, los cambios ontológicos podrían ocurrir con mayor facilidad.

Greca y Moreira(2.003), aventuran una hipótesis (la cual suponen que requiere mayor apoyo experimental) sobre el aprendizaje significativo en términos de modelos mentales al asumir que el aprendizaje sería tanto más significativo desde las ciencias cuanto más el sujeto fuera capaz de construir (y quisiera construir) modelos mentales abarcadores, articuladores y consistentes con los modelos conceptuales, que evolucionasen hacia esquemas de asimilación que dotarían de un alto grado de significatividad.

8.4. MODELOS MENTALES DE JOHNSON–LAIRD

Retomando a Johnson–Laird (1983), uno de los fundamentos de la presente investigación, no aprehendemos el mundo directamente sino que lo hacemos a partir de las representaciones que de éste construimos en nuestras mentes; entonces, *entender un sistema físico o un fenómeno natural implica tener un modelo mental del sistema que le permita a la persona que lo construye explicarlo y hacer predicciones respecto a él*; *la construcción-elaboración de*

modelos mentales está restringida a las relaciones que gobiernan la ontología de lo real y a la necesidad de mantener el sistema libre de contradicciones (Johnson – Laird, 1983, pp 430).

Según el autor citado, los modelos mentales son análogos estructurales de estados de cosas del mundo, son instrumentos de comprensión e inferencia y tienen estructura interna; esto es, están compuestos de *elementos y relaciones*; se construyen a partir de algunos elementos básicos que el autor denomina "*primitivos conceptuales*", los cuales son innatos y están organizados en una cierta estructura; pueden ser básicamente proposicionales o básicamente imagísticos o contener proposiciones e imágenes; concibe además la existencia de "*primitivos procedimentales*" innatos.

Para Johnson-Laird las personas razonan con modelos mentales los cuales asume como bloques de construcción cognitivos que pueden ser combinados y recombinados de acuerdo con la necesidad; ellos representan el objeto o situación en sí. Una de sus características más importantes es que su estructura capta la esencia (se parece analógicamente) a la situación u objeto.

(Hampson y Morris, 1996, p 243), citado por Moreira(1999), asume los siguientes nueve principios que imponen vínculos a la naturaleza de los modelos mentales y los limitan:

Principio de la Compatibilidad. Alude a la metáfora del computador, la mente como un sistema de cómputo que invalida cualquiera decisión basada en la intuición o cualquier ingrediente "misterioso" o mágico; esto es, los modelos mentales son representaciones que en principio podrían ser ejecutados por un ordenador.

Principio de lo finito. Los modelos mentales son finitos, se dan en el cerebro que es un órgano finito.

Principio del Constructivismo. Los modelos mentales se construyen a partir de elementos básicos "tokens" organizados en una cierta estructura para mostrar un determinado estado de cosas.

Principio de la Economía. Una descripción de un único estado de cosas, es representado por un único modelo mental; incluso, si la descripción es incompleta o indeterminada. Pero un único modelo mental, puede representar un número infinito de posibles estados de cosas, porque ese modelo puede revisarse recursivamente.

Principio de la no – indeterminación. Los modelos mentales pueden representar indeterminaciones directamente, sí y sólo sí, su uso no fuera computacionalmente, intratable. Al ser computacional es ejecutable, es determinado.

Principio de la predicabilidad. Un predicado puede ser aplicado a todos los términos a los que otro predicado es aplicable, pero no pueden tener ámbitos de aplicación que no se intersecten... un concepto que se definiese por predicados que no tuvieran nada en común violaría el principio de la predicabilidad y no estaría normalmente representado en modelos mentales.

Principio del innatismo. Todos los primitivos conceptuales, son innatos. Los primitivos conceptuales, subyacen a nuestras experiencias perceptivas, habilidades motoras, estrategias, en fin, nuestra capacidad de representar el mundo.

Principio del número finito de primitivos conceptuales. Existe un conjunto finito de primitivos conceptuales, que originan un conjunto

correspondiente de campos semánticos y otro conjunto finito de conceptos, u "operadores semánticos", que se da en cada campo semántico y sirve para construir conceptos más complejos, a partir de los primitivos subyacentes.

Principio de la identidad estructural. Las estructuras de los modelos mentales son idénticas a las estructuras de los estados de las cosas, percibidos o concebidos, que los modelos representan.

Para el autor, la fuente primaria de los modelos mentales es la percepción pero también pueden ser fruto de la imaginación; ello implica una correspondencia biunívoca en el sentido *que los modelos mentales que construyamos dependen del discurso y de su interpretación y los estímulos externos que percibamos y a su vez, la interpretación del discurso y los estímulos externos percibidos dependen de los modelos mentales que seamos capaces de construir.* Esta es una característica interesante para la estrategia metodológica que se implementará en la presente investigación.

Distingue entre modelos conceptuales y modelos mentales; al referirse a los primeros, asume que éstos son inventados por maestros, ingenieros, arquitectos, investigadores, etc, para facilitar la comprensión o la enseñanza de sistemas físicos por lo cual son representaciones externas bien delimitadas y definidas, consistentes y completas de sistemas físicos mientras que los modelos mentales son representaciones internas que las personas construyen para representar estados físicos; ellos no son técnicamente precisos pero deben ser funcionales y evolucionan interactuando con el sistema. Esta interacción le permite a la persona modificar su modelo mental con el fin de llegar a una funcionalidad que le satisfaga. *La funcionalidad* es pues, una condición inherente a los modelos mentales que le permite al sujeto detectar si existe o no

correspondencia entre las predicciones generadas por el modelo y los eventos externos a los que se enfrenta; permite incluso que los modelos mentales sean generados en el momento de ser requeridos y posteriormente sean descartados cuando no sean necesarios cognitivamente; esto es, serían modelos de trabajo descartables; (Moreira, 2.003). Sin embargo, cuando los modelos mentales construidos le resultan útiles al sujeto en diversas situaciones, es posible que todo o parte del modelo sea guardado en la memoria de largo plazo acrecentando así el bagaje de conocimientos del sujeto convirtiéndose entonces en esquemas de asimilación o invariantes operatorios desde la visión de Vergnaud.(Greca y Moreira, 2.003)

Acabamos de expresar que para Johnson–Laird los modelos mentales pueden ser tanto estructuras dinámicas, inestables e incompletas generadas frente a una situación concreta y situadas en la memoria de trabajo, como pueden ser estructuras estables localizadas quizá en la memoria de largo plazo, lo que los semejaría a los esquemas conceptuales de Vergnaud(1998). Que sean dinámicos significa que pueden ser modificados, actualizados, enriquecidos, que evolucionan en la medida en que el sujeto interacciona con el sistema físico o la situación que debe resolver en un proceso sistemático que Johnson- Laird denomina *recursividad*, elemento que Vergnaud(1998), citado por Moreira(2.003), resalta en su *teoría de los campos conceptuales* al expresar que a través de las situaciones y de los problemas un concepto va adquiriendo paulatinamente sentido para el sujeto pues a partir de esas situaciones y problemas es que éste va abstrayendo las propiedades que formarán sus *conceptos en acción y sus teoremas en acción.* La recursividad como estrategia que posibilita el enriquecimiento, evolución, *transformación* a través de la interacción permanente con situaciones y|o problemas, forma parte del proceso experimental que llevamos a cabo en la presente investigación.

Para Johnson–Laird(1983), los modelos mentales se componen de *elementos y relaciones* y las estructuras de los modelos mentales son idénticas a las estructuras de los estados de cosas percibidas o concebidas que ellos representan; para el autor, no debe haber en los modelos mentales elementos sin función ni significado(op.cit.p419); en este sentido, frente a una determinada situación, los elementos que son elegidos para interpretarla, así como las relaciones percibidas o concebidas entre ellos, determinan una representación interna que actúa como sustituto de esa situación. Al manipular internamente esos sustitutos, ciertas propiedades del sistema, así como las relaciones no explícitas entre sus componentes, pueden ser leídas, inferidas directamente. (Moreira y Greca, 2.004). Ello permite resaltar la potencialidad de la teoría de los modelos mentales en el estudio de los procesos de construcción, elaboración conceptual de los individuos. *Así, al conocer qué elementos involucran en la representación mental que tienen sobre un determinado evento (en nuestro caso los modelos cosmológicos) y qué relaciones establecen entre esos elementos, es posible inferir el estado de desarrollo conceptual de los individuos*.

8.5. LOS CAMPOS CONCEPTUALES DE GÉRARD VERGNAUD

La Teoría de los Campos Conceptuales de Gérard Vergnaud(1990), es una teoría psicológica que permite localizar y estudiar continuidades y rupturas entre conocimientos desde el punto de vista del contenido conceptual. Su premisa principal es que *el conocimiento está organizado en campos conceptuales, cuyo dominio por parte del sujeto ocurre en un extenso período de tiempo a través de la experiencia, madurez y aprendizaje(*Moreira,2.003).

En su teoría, Vergnaud(1982), como Johnson–Laird(1983), acepta que el conocimiento se elabora de forma pragmática y que por lo tanto es imprescindible darle importancia a lo que la persona hace y cómo organiza su comportamiento ante determinadas situaciones; en consecuencia, para el autor citado, es posible dar cuenta de la evolución de las concepciones y prácticas de los individuos y de los grupos en esas situaciones por lo que da mucha importancia a la variedad de situaciones en las que hay que utilizar los conceptos o reclaman su uso, elemento que destacamos y asumiremos en la presente investigación; asume también que la estructura cognitiva del sujeto se modifica constantemente por la experiencia, destacando como Ausubel(1993), el papel del conocimiento previo en los procesos de construcción del conocimiento, lo cual articula su teoría al paradigma constructivista.

Al referirse a *los campos conceptuales,* el autor asume que éstos son un conjunto informal y heterogéneo de problemas, situaciones, conceptos, relaciones, estructuras, contenidos y operaciones del pensamiento conectadas unos a otros y, probablemente enlazadas durante el proceso de adquisición; son unidades de estudio fructíferas para dar sentido a los problemas de adquisición y a las observaciones hechas en relación a la conceptualización; para el autor el conocimiento se encuentra organizado en campos conceptuales de los cuales el sujeto se apropia a través de largos períodos de tiempo, de tal manera que nuevos problemas y nuevas propiedades relacionadas con éste deben ser entendidas a lo largo de varios años si queremos que los individuos las dominen progresivamente.

La conceptualización es para Vergnaud la piedra angular de la cognición; es decir, el conocimiento se articula en torno a los conceptos, lo que exige prestar mucha atención a los aspectos

conceptuales de los esquemas y al análisis conceptual de las situaciones para las cuales los estudiantes desarrollan sus esquemas en la escuela o fuera de ella. En la óptica de Vergnaud(1998), esto quiere decir que :

- Un concepto no se forma dentro de un solo tipo de situaciones
- Una situación no se analiza con un solo concepto
- La construcción y apropiación de todas las propiedades de un concepto o de todos los aspectos de una situación es un proceso de largo aliento que se extiende a lo largo de los años, a veces una decena de años, con analogías y mal entendidos entre situaciones, conceptos y procedimientos significantes.

Hay que resaltar que lo que Vergnaud releva y analiza es la *evolución de concepciones y prácticas* de los individuos y de los grupos en esas situaciones para lo cual, como ya se dijo, da mucha importancia a la variedad de situaciones en las que hay que utilizar los conceptos o reclaman su uso. Esto es pieza clave en nuestra estrategia metodológica pues aspiramos lograr alguna evolución en las representaciones mentales de los maestros, analizadas y caracterizadas en nuestra investigación anterior. (Larios de Rodríguez, Caballero, Moreira, 2.004).

En la gama de elementos que Vergnaud introduce en su teoría de los campos conceptuales, es interesante conocer cómo el autor concibe la noción de *concepto.* Para él, un concepto es un triplete de conjuntos mutuamente influenciados, los cuales define y representa así:

S : {Conjunto de situaciones que dan sentido al concepto}. Es el referente del concepto.

I : {Conjunto de invariantes; objetos, propiedades y relaciones sobre las cuales reposa la operacionalidad del concepto}. Es el significado del concepto.

R : {Conjunto de representaciones simbólicas; lenguaje natural, gráficos, diagramas, situaciones formales,.., que pueden ser usadas para indicar y representar esos invariantes}. Es el significante del concepto. Su función es identificar, seleccionar y articular la información.

Conjuntamente, introduce elementos clave en el desarrollo de su teoría, con los cuales va dando forma al cuerpo de conocimientos generados desde la dimensión de los campos conceptuales. Además del constructo *campo conceptual* y de la noción de *concepto* anteriormente expuesta, asume el concepto de *situación* el cual correlaciona con la noción de *tarea* suponiendo que toda situación compleja puede ser analizada como una *combinación de tareas* para las cuales es importante conocer su naturaleza y grado de dificultad. Asume que en un cierto campo conceptual debe haber una variedad de situaciones y que los conocimientos de los alumnos son moldeados por las situaciones que encuentran y progresivamente dominan; el autor agrega que muchas de nuestras concepciones vienen de las primeras situaciones que fuimos capaces de dominar o de la experiencia adquirida al intentar modificarlas (Vergnaud 1996).

En el conjunto de invariantes sitúa los llamados *invariantes operatorios* encargados de hacer la articulación entre la teoría y la práctica; ellos son los *teoremas en acción y los conceptos en acción* entre los cuales establece una relación dialéctica pues los conceptos son ingredientes de los teoremas y los teoremas son propiedades que dan a los conceptos sus contenidos*;* los teoremas en acción son proposiciones consideradas como verdaderas sobre lo real y los

conceptos en acción son categorías del pensamiento consideradas como pertinentes; un concepto en acción no es un verdadero concepto científico ni un teorema en acción es un verdadero teorema a menos que se tornen explícitos y sean compartidos científicamente. Un concepto en acción es un concepto clave para resolver una cuestión o un problema o para poder interpretarlo; los conceptos en acción llevan al sujeto a buscar la información necesaria para resolver la situación pero no le permiten razonar; para ello es preciso disponer de teoremas en acción, los cuales se construyen con conceptos en acción. Un concepto no es verdadero o falso sino pertinente o no pertinente, mientras que un teorema en acción puede ser verdadero o falso (Rodríguez Palmero y Moreira, 2.003).

Un elemento importante que toma de la teoría de Piaget es el concepto de *esquema* el cual coloca como vértebra de su teoría y asume como la *organización invariante del pensamiento para una determinada clase de situaciones*; como un universal eficiente para toda una gama de situaciones que puede generar diferentes secuencias de acción, de recolección de informaciones y de control, dependiendo de las características de cada situación a las que se enfrenta el sujeto; ello quiere decir que no es el comportamiento frente a determinadas situaciones el que es invariante sino la organización de ese comportamiento. Según el autor, es en los esquemas donde deben investigarse los conocimientos en acción del sujeto; es decir, los elementos cognitivos que hacen que su acción sea operatoria Moreira(2.003). En palabras de Gérard Vergnaud: "*… Un esquema también implica invariantes operatorios: categorías para recoger información relevante (conceptos en acción) y proposiciones de las que se hacen las inferencias (teoremas en acción).Este análisis deja claro que no es posible la acción sin invariantes operatorios que capacitan al sujeto para recoger*

*información y computar que hacer y suponer". (*Vergnaud, 1994, p.53), citado por Moreira (2.003).

Aquí surge la pregunta: *¿Son las representaciones mentales de los docentes sobre el universo modelos mentales inestables, incompletos, descartables y localizados en la memoria de trabajo desde la óptica de Johnson – Laird o estamos frente a los esquemas de Vergnaud, situados en la memoria de largo plazo a través de los cuales sería preciso determinar los invariantes operatorios con los cuales el sujeto emite sus predicciones y fundamenta sus acciones?,* o como proponen Greca y Moreira(2.003),serían las dos cosas; es decir, frente a una situación nueva serían modelos mentales y para situaciones conocidas serían esquemas; los invariantes operatorios podrían estar tanto en modelos mentales como en esquemas. Nos proponemos hallar respuesta a estos interrogantes.

Vergnaud(1998) especifica aún más el concepto *esquema* cuando supone para éstos los siguientes ingredientes: *metas y anticipaciones;* es decir un esquema se dirige siempre a una clase de situaciones en las cuales el sujeto puede descubrir una posible finalidad de su actividad; *reglas de acción del tipo si….entonces,* ellas constituyen la parte verdaderamente generadora de los esquemas porque permiten la generación y continuidad de secuencias de acciones del sujeto; *invariantes operatorios,* teoremas en acción y conceptos en acción que dirigen el reconocimiento de los elementos pertinentes de la situación; son los conocimientos contenidos en los esquemas. *Posibilidades de inferencia o razonamiento,* que permiten calcular aquí y ahora las reglas y anticipaciones a partir de las informaciones y del sistema de invariantes operatorios de que dispone el sujeto.

La vasta gama de elementos considerados por Gérard Vergnaud en su teoría de los *campos conceptuales* nos coloca frente a una teoría compleja, amplia y fértil que adopta como perspectiva más fructífera la aproximación al desarrollo cognitivo del sujeto considerando *los contenidos del conocimiento en sí mismos y su análisis conceptual*, enfatizando en que la adquisición del conocimiento es posible a través de *situaciones y problemas dominados previamente,* relevando como ya se dijo, la evolución de los conceptos y prácticas de los individuos y de los grupos en esas situaciones.

8.6. PUNTOS DE ENCUENTRO ENTRE LAS DOS TEORÍAS.

Hemos mencionado algunos puntos de tangencia entre las teorías de los Modelos Mentales de Johnson–Laird(1983) y de los Campos Conceptuales de Vergnaud(1993); a continuación señalaremos otros, basados en el trabajo de Greca y Moreira(2.003), proceso que nos permitirá avanzar en el conocimiento del referente teórico asumido y a la vez concretar los elementos que constituirán parte esencial de la propuesta metodológica.

- Existe en ambos una concepción biológica del proceso cognitivo: Johnson – Laird asume que nuestra experiencia del mundo es un triunfo de la *selección natural* y Vergnaud utiliza el concepto piagetano de *adaptación* como forma de generar el conocimiento. Selección natural y adaptación son conceptos biológicos aplicados en ambos casos a los procesos mentales y guardan relación con la *evolución,* concepto que tomaremos como referente al cambio – enriquecimiento que aspiramos lograr en los modelos mentales de los docentes.

- Uno y otro autor hacen explícitas sus críticas a Piaget en cuanto a la reducción que hace este autor del funcionamiento cognitivo a las reglas de la lógica; en contraste, ambos autores dan a los contenidos del conocimiento en sí mismo un papel preponderante en el desarrollo conceptual de los individuos.

- Si Vergnaud hereda de Piaget el germen kantiano de su propuesta, Johnson – Laird hace gala de esta posición filosófica en cuanto asume el papel activo que el sujeto tiene en el proceso de elaboración conceptual al aceptar que además de la acción éste aporta sus sentimientos

- Para Vergnaud, la variedad de situaciones ejercen un papel decisivo en la elaboración, evolución, enriquecimiento conceptual del individuo y para Johnson – Laird el conocimiento es el resultado de lo que tenemos instalado en nuestro sistema nervioso y producto también de la experiencia.

- Ambos autores destacan el papel de las representaciones como mediadoras entre el sujeto y la realidad. En páginas anteriores hemos expresado que para Johnson – Laird(1993, 1996), la mente humana representa el mundo dada su imposibilidad de aprehenderlo directamente y lo hace mediante un triple código: proposiciones, imágenes y modelos mentales, estos últimos considerados análogos estructurales del mundo. Gérard Vergnaud(1990, p. 22), expresa que la construcción del conocimiento consiste en una construcción progresiva de representaciones mentales explícitas o implícitas que son homomorfas a la realidad para algunos aspectos y no para otros.

- Ambos relevan el papel de los conceptos y su construcción. Para Johnson–Laird, existe una organización jerárquica en la

estructura conceptual del individuo desde la cual es posible llegar a los primitivos conceptuales y para Vergnaud los conceptos son de gran importancia para la comprensión al usarlos en situaciones diversas.

Pero, ¿qué relación existe entre los modelos mentales y los esquemas de acción?. Ya hemos visto que los modelos mentales son representaciones inestables, incompletas, dinámicas, descartables y localizadas en la memoria de trabajo mientras que los esquemas de acción son concebidos por Vergnaud como la organización invariante del pensamiento para una determinada clase de situaciones; son estables, completos y localizados en la memoria de largo plazo y están relacionadas con algo conocido; sin embargo, también se ha expresado en páginas precedentes que frente a una situación nueva, frente a un mundo desconocido el individuo se ve en la necesidad de elaborar modelos mentales que le funcionen para la comprensión de la situación; también se dijo que si el modelo mental elaborado funciona en una variedad de situaciones, todo o parte de éste es almacenado en la memoria de largo plazo constituyendo esquemas mentales con las características que Vergnaud les asigna; podríamos afirmar con Greca y Moreira(2.003), que en este caso los modelos mentales de Johnson-Laird se constituirían en antesala – precedentes de los esquemas conceptuales de Vergnaud; es decir, ellos serían los que darían el paso a los esquemas como organizadores tanto de la propia representación como de la actividad, acción o comportamiento; sin embargo, los mismos autores recalcan que lo anterior no significa que todos los modelos mentales se convertirán en esquemas conceptuales de Vergnaud.

Por otro lado, hemos expresado también que los modelos mentales de Johnson – Laird contienen *elementos y relaciones*; que los modelos mentales se construyen a partir de elementos a los que el

autor denomina *tokens* y de los *primitivos conceptuales innatos*, que es posible rodar esos modelos y recomponerlos con base en la experiencia del sujeto a medida que se enfrenta al mundo pues lo que se conoce nace de lo que se vivencia; Vergnaud(1996), por su parte asume que *es en los esquemas de acción donde deben investigarse los conocimientos en acción del sujeto, (…) que un esquema implica invariantes operatorios (teoremas en acción y conceptos en acción), los cuales capacitan al sujeto para recoger información y computar qué hacer y suponer frente a las situaciones y|o problemas*. Así mismo, Johnson-Laird ha expresado que los modelos mentales pueden estar constituidos por proposiciones, imágenes o por combinación de ambas; que las proposiciones pueden ser falsas o verdaderas de acuerdo con el modelo asumido y Vergnaud considera lo mismo para los teoremas en acción en la medida en que éstos funcionen como sustitutos computables de la realidad. ¿Sería plausible equiparar las proposiciones con los teoremas en acción posibilitando la inferencia de que los modelos mentales y los esquemas tienen rasgos comunes tanto en su constitución y construcción como en su funcionamiento y, que ambos estarían compuestos de invariantes operatorios?. Creemos que la pregunta anteriormente formulada en el artículo de Greca y Moreira(2.003), hace parte de las preguntas sin resolver que aún yacen en el seno de la investigación didáctica.

Teniendo en cuenta los rasgos comunes de las dos teorías que hemos asumido como base de nuestra investigación, en lo que sigue formularemos los elementos que contienen la propuesta metodológica que experimentaremos con el propósito de lograr alguna evolución en los modelos mentales que sobre el universo tienen los docentes en formación y en ejercicio del área de ciencias.

9. VECTORES DIRECCIONALES DE LA DINÁMICA DE INTERVENCIÓN.

- **EVOLUCIÓN:** Al asumir para los modelos mentales naturaleza biológica, tanto Johnson–Laird(1983), como Vergnaud(1996) reconocen su carácter evolutivo; esto es, *los modelos mentales evolucionan, se enriquecen interactuando con el sistema;* mediante esta interacción, la persona modifica su modelo mental con el fin de lograr para éste una funcionalidad que le satisfaga.

- **FUNCIONALIDAD**: Desde la teoría de Johnson–Laird, los modelos mentales son estructuras dinámicas inexactas, inestables, situados en la memoria de trabajo, cuyo único requerimiento es su funcionalidad. S*u evolución, enriquecimiento, transformación es posible si colocamos a los sujetos en la necesidad de rodar sus modelos para resolver diferentes situaciones y problemas, conocer sus limitaciones en cuanto a su poder explicativo y predictivo y enriquecerlos con los aportes de sus vivencias experienciales* en una dinámica posibilitadora de evolución conceptual.

- **RECURSIVIDAD**: Para Johnson – Laird los modelos mentales son construidos por las personas para representar estados de cosas del mundo real; el aspecto esencial del razonamiento a través de modelos mentales no está sólo en la construcción de modelos adecuados para captar distintos estados de cosas sino en *la capacidad de verificar cualquier conclusión a la que se llegue usando tales modelos y en la 0recursividad como estrategia que posibilita el cambio, transformación, evolución*. Entonces, las situaciones y problemas a los que se someterán las representaciones que sobre el universo tienen los docentes habrán de posibilitarles a sus autores comprobar su funcionalidad

y poder de predicción e inferencia y su coherencia con los hechos y fenómenos del mundo real.

- **CONTRASTACIÓN**: Para Johnson – Laird y Gérard Vergnaud, *el contenido de los conocimientos en sí mismos, la construcción y evolución conceptual del individuo a lo largo de las diferentes situaciones a las que se enfrenta es un elemento relevante;* entonces, es preciso colocar a los individuos en la posibilidad de *reconocer* los argumentos que han incluido en sus representaciones del universo para explicarlo y contrastarlos con los argumentos científicamente válidos que explican los modelos cosmológicos actuales.

10. SINTAXIS DE LA ESTRATEGIA METODOLÓGICA

Aunque en el aparte anterior se definieron los vectores direccionales de la propuesta, es preciso resaltar que conjuntamente con éstos, la estrategia metodológica asume:

- Las representaciones mentales como mediadoras entre el sujeto y la realidad;

- La *conceptualización como piedra angular de la cognición;*

- La *variedad de situaciones* en que debe colocarse el individuo como elemento determinante en la *evolución* de las concepciones y prácticas de los individuos, hechos que desde la perspectiva de Johnson–Laird, nos aportan elementos para conocer la transformación de las representaciones.

Por otro lado, en un proceso en espiral que se inicia desde la consideración de situaciones sencillas y cotidianas hasta situaciones

que requieren mayor abstracción, se busca generar en los docentes la capacidad de analizar críticamente su modelo teniendo como referente el contenido conceptual de los mismos.

10.1: Primera Etapa

Consta de dos momentos: Análisis crítico y enriquecimiento conceptual, con las siguientes características:

- 10.1.1: ANÁLISIS CRÍTICO *sobre los elementos conceptuales y las relaciones incluidas en las representaciones externas de los docentes sobre el universo*, a través de un análisis individual y colectivo de las mismas.

ACCIÓN: Sustentar el modelo explicitando sus referentes conceptuales. Fué un proceso centrado en el contenido conceptual en el que están inmersos los modelos cosmológicos de los docentes con el fin de identificar el tipo de conocimiento que manejan sus autores. Esto es, los representadores debían preguntarse:
¿Cómo me represento el universo?.
¿Qué elementos incluyo en la representación?.
¿Qué relaciones establezco entre esos elementos?.
¿Qué validez científica tienen?.

Esta parte nos permitió aproximarnos un poco más a las perspectivas conceptuales que manejan los integrantes de la muestra; a ese referente conceptual que hay detrás de cada una de las representaciones externas de los universos; la socialización les exigiría poner de manifiesto la coherencia argumentativa y validez científica de sus representaciones, además de los sentimientos y afectos que el sujeto tiene con éstas, lo que nos proporcionó indicios para conocer si los sujetos construyeron modelos ad hoc o eran

éstos modelos más estables fruto de la combinación y recombinación de los primitivos conceptuales de Johnson-Laird.

La acción se asume teniendo en cuenta que, para Johnson-Laird (1983, p. 430), entender un sistema físico o un fenómeno natural es tener un modelo mental del sistema que le permita a la persona que lo construye explicarlo y hacer predicciones respecto a él; para este autor, la construcción-elaboración de modelos mentales está restringida a las relaciones que gobiernan la ontología de lo real y a la necesidad de mantener el sistema libre de contradicciones; y, para Vergnaud, los razonamientos e inferencias realizadas están relacionadas con los invariantes operatorios que tiene el sujeto.

- 10.1.2: ENRIQUECIMIENTO CONCEPTUAL: Se precisan ideas claras sobre los principios, leyes y teorías que subyacen detrás de los modelos cosmológicos validados a lo largo de la historia de la ciencia.

ACCIÓN:
Lectura crítica y debates en torno a documentos, proyección de videos, asistencia a conferencias y talleres, observaciones de campo.

- Se entregó a los docentes documentos elaborados previamente por la conductora del proceso, escritos en un lenguaje sencillo, obviando ecuaciones y fórmulas, y artículos relacionados con el tema del universo, seleccionados de revistas especializadas o textos, los cuales serían leídos en primera instancia en forma individual; posteriormente serían socializadas las anotaciones y/o preguntas que surgieran en la lectura.

10.2: Segunda Etapa:

Consta también de dos momentos:

- 10.2.1: FUNCIONALIDAD Y VALIDEZ DE LOS MODELOS. En esta etapa se colocó al docente en la posibilidad de validar la capacidad explicativa y predictiva del modelo implícito en su representación.

Ya hemos expresado que para Johnson-Laird el aspecto esencial del razonamiento a través de modelos mentales no está sólo en la construcción de modelos adecuados para captar distintos estados de cosas sino en *la capacidad de verificar cualquier conclusión a la que se llegue usando tales modelos y en la recursividad como estrategia que posibilita el cambio, transformación, evolución.*

Greca y Moreira(2.003), opinan que el sujeto al abordar una situación lo hace a través de sus modelos mentales los cuales evolucionan hasta alcanzar su funcionalidad; y Johnson-Laird opina que la funcionalidad es una condición inherente a los modelos mentales que le permite al sujeto detectar si existe o no correspondencia entre las predicciones generadas por el modelo y los eventos externos que enfrenta.

Ello significa que *evolución, enriquecimiento, transformación es posible si colocamos a los sujetos en la necesidad de rodar sus modelos para resolver diferentes situaciones y problemas, permitiéndoles conocer sus limitaciones en cuanto a su poder explicativo.*

ACCIÓN:

A través de situaciones propias de la cosmología moderna, se colocó al docente en la necesidad de explicarlas trayendo a colación su representación o esquema cosmológico y los elementos conceptuales incluidos, lo que exige la puesta en escena de modelos mentales y la validez científica de sus inferencias en torno a la situación que enfrentan.

10.2.2: RECURSIVIDAD, EXPLICITACIÓN. Es la etapa que le posibilitará al docente volver a su modelo revisarlo, CONTRASTARLO y verificar su funcionalidad.

Esta última fase buscó poner en tela de juicio la recursividad del modelo. Recordemos que para Johnson–Laird(1983), la aprehensión de un modelo del universo científicamente válido es un proceso lento que a la luz de Vergnaud requiere de tiempo suficiente y de un sin número de situaciones cuya variedad y riqueza posibilite a los sujetos construir representaciones y/o transformar las que tienen de acuerdo con su funcionalidad frente a las explicaciones e inferencias que haya que hacer en una determinada situación.

ACCIÓN:

1. Se solicitó a los docentes elaborar una nueva representación del universo incluyendo argumentos que la sustentaran y compararla con la representación anteriormente elaborada.

Individualmente cada docente debía hacer un análisis comparativo de las dos representaciones y los argumentos utilizados, relevando los nuevos elementos incluidos.

2. Colocar a los docentes en nuevas situaciones que recreen los modelos cosmológicos actualmente válidos.

¿Puede desde su representación del universo hacer predicciones sobre la existencia de otros sistemas planetarios análogos al nuestro?; es decir, si tuviese que explicar a sus alumnos la existencia de agujeros negros o la existencia de otros sistemas planetarios, ¿cómo lo haría desde su representación?. ¿Cómo lo haría utilizando el Modelo Estándar del Universo?. Elaborar un documento cuyos argumentos científicos se analizaron a la luz de los modelos cosmológicos recientes.

3. Individualmente, elaborar un mapa conceptual sobre el Modelo Cosmológico Estándar y otros modelos recientes; hacer lo mismo en grupo. Identificar los nuevos elementos incluidos en el modelo

***10.3: Tercera Etapa*:**

- ANÁLISIS, CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES: Hacer una evaluación comparativa del proceso de transformación de las representaciones externas de universos elaboradas por los docentes, sacar conclusiones y hacer recomendaciones a la luz de las teorías asumidas como referente.

- Formular juicios valorativos en términos de los niveles de conceptualización alcanzado por los docentes.

11. CARACTERIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

De acuerdo con el objetivo de la investigación, podría caracterizarse del tipo experimental pues se trata de transformar el estado inicial

de las representaciones mentales que los docentes tienen sobre el universo con la aplicación de una estrategia metodológica cuyos vectores direccionales hemos detallado anteriormente; esto es, aunque la investigación parte de un estado inicial en cuanto a las representaciones internas de los sujetos sobre el universo, aplica una estrategia metodológica y define unos parámetros para el análisis de la transformación – evolución de las representaciones a lo largo del proceso, la caracterizamos como un estudio de casos, pues los resultados de nuestra investigación no pueden ser generalizados ya que corresponden a muestra y contexto específicos; por ello, consideramos que está inserta en el paradigma cualitativo del tipo descriptivo e interpretativo y por lo mismo los resultados encontrados sólo nos permitirán hacer inferencias válidas para el contexto trabajado.

12. REGISTROS

Se elaboraron a través de la interacción permanente con el grupo:

- Representaciones externas de los universos, lingüísticas o pictóricas
- Mapas conceptuales,
- Conversaciones informales, plenarias
- Notas particulares de la profesora sobre cada encuentro (diario de a bordo).
- Entrevistas en profundidad

Fueron los registros base para el análisis en torno al desarrollo conceptual de los docentes y el proceso de evolución de las representaciones que sobre el universo tienen los profesores de ciencias.

13. *PARÁMETROS PARA EL ANÁLISIS DE LOS REGISTROS*

La traza del proceso de evolución conceptual de los individuos se construyó con base en los siguientes parámetros validados desde la teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird, la teoría de los Campos Conceptuales de Gérard Vergnaud y las teorías Cosmológicas recientes, en particular las Teorías Cosmológicas Expansionistas

- ***Conceptos y relaciones entre éstos****:* ¿Qué conceptos involucran en la explicación de los modelos y qué relaciones establecen entre ellos?

- ***Categorías:*** ¿Qué argumentos teóricos manejan los docentes en la explicación que hacen de los fenómenos y situaciones que enfrentan?.

- ***Estabilidad:*** ¿Sobrevivieron las representaciones inicialmente catalogadas como modelos mentales a pesar de la diversidad de situaciones y de la cantidad e intensidad de encuentros*?.* ¿Podríamos pensar entonces que estamos frente a los esquemas mentales de Vergnaud con todas las características definidas para ellos, lo cual corroboraría la hipótesis de Greca y Moreira(2.003) en el sentido de ser los modelos mentales antesala de los esquemas de Vergnaud?.

14. LA MUESTRA Y EL CONTEXTO.

Diez docentes en ejercicio del área de Ciencias Naturales, Ciencias Sociales y Humanidades que tienen en promedio 6 – 10 años de ejercicio de la docencia en el nivel de enseñanza primaria y

secundaria, una estudiante de licenciatura en Educación Básica en el área de Ciencias Naturales y un estudiante de periodismo.

Todos los docentes de este grupo han venido trabajando temas relacionados con Astronomía y|o Cosmología en los grupos denominados semilleros de ciencias de sus respectivas instituciones educativas.

La heterogeneidad de la muestra fué una ventaja en la emisión de los juicios de valor en torno al peso específico que la preparación científica tiene en la construcción, transformación, evolución de las representaciones mentales.

El contexto es el Planetario Barranquilla, institución desde la cual la Fundación Amigos de la Astronomía en convenio con Combarranquilla, promueve la culturización científica y popularización de la ciencia a través de la educación no formal e informal abriendo espacios de encuentro en torno a la Cosmología, la Astronomía y ciencias relacionadas.

Es importante señalar que el interés profesional de la investigadora en torno a la Astronomía y la Cosmología potenciado y desarrollado en el ámbito del Planetario Barranquilla, le ha asomado al complejo mundo de una academia no escolarizada desde donde ha sido posible desvelar múltiples elementos que forman parte de la problemática que gravita en torno a la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias naturales en general y de la Cosmología y ciencias afines en particular.

El que el escenario de investigación haya sido este espacio de academia no formal e informal fué un elemento muy importante pues, docentes y estudiantes expresaron sin temor y con mayor

libertad sus opiniones sobre sus carencias y dificultades en cuanto al saber y conocer en Astronomía (dominio conceptual de la materia), igual que los obstáculos y expectativas que tienen en torno a su enseñanza y aprendizaje y, en términos específicos, sobre la relativa valoración de esta ciencia comparada con otros temas de física.

15. CRONOGRAMA DE ENCUENTROS Y ACTIVIDADES.

Las actividades se desarrollaron en encuentros de tres–cuatro horas de duración con un intervalo de tres semanas entre ellos, con el fin de darle tiempo a los docentes para que realizaran el estudio, la observación y/o la actividad que hubiese quedado pendiente para desarrollar.

La ejecución de la estrategia metodológica se inició en Agosto del año 2.004 y se culminó en Abril de 2.006. Se aprovecharon las efemérides y eventos de la naturaleza para la realización de encuentros especiales. En total tuvimos 17 encuentros de tres horas promedio lo cual arrojó una intensidad de 76 horas presenciales más 76 horas de trabajo no presencial para un total de 152 horas mínimas sin contar los encuentros extraordinarios por eclipse total de sol en el mes de Abril de 2.005 y el Año Internacional de la Física celebrado en el seno del planetario con conferencias especiales sobre Einstein, sus trabajos y sus repercusiones en la cosmología moderna.

Además de las actividades descritas, se realizaron charlas sobre temas relacionados con el día a día del docente, los cuales se definieron con base en las inquietudes de éstos; con ello quisimos involucrar sus inquietudes y necesidades en el proceso de reflexión fundamentada que formó parte de la intervención.

La Cosmología se encuentra en un estado de caos saludable alrededor de un marco teórico que crece poco a poco.

James y Puebles (2.001), en "El sentido de la Cosmología Moderna"

SEGUNDA PARTE

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

0. PRESENTACIÓN

Muchos interrogantes y conjeturas planteados en la primera fase o fase exploratoria, realizada como etapa preliminar a la presente indagación quedaron sin resolver.

Con base en las teorías representacionales y en específico, la teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird nos preguntamos:

- ¿Son las representaciones proposicionales objetos conscientes del pensamiento expresados en el lenguaje natural o son éstas indicios de procesos conceptuales menos desarrollados?;
- ¿Es válido suponer que las representaciones pictóricas del universo semejante al cielo estrellado de las noches oscuras no se derivan de modelos mentales explicativos y predictivos?
- ¿Son las representaciones más elaboradas modelos estructurados a través de los cuales quizá pueda inferirse que el individuo posee un "esquema de trabajo" del universo?.

El objetivo de la presente investigación fué hallar respuesta a los anteriores interrogantes, algunos de los cuales buscamos resolver con la aplicación de la estrategia metodológica ya explicitada en el capítulo anterior mientras que otros exigieron ahondar y ampliar nuestro conocimiento en busca de elementos que fundamentaran los juicios de valor realizados en torno a las representaciones internas de los sujetos; esto es, creemos que antes de la aplicación de la estrategia metodológica se precisaba conocer si,

- Las representaciones del universo que cada uno de los sujetos implicados en la investigación nos entregó, responden o no *a*

modelos situacionales[6] *hechos ad hoc.* Este elemento era imprescindible determinarlo pues desde la teoría de Johnson–Laird sabemos que los modelos ad hoc no reflejan la realidad conceptual del indagado, se forman en la memoria de corto plazo y son descartados inmediatamente, lo cual no nos posibilitaría adelantar un proceso de transformación a dichas representaciones.

- Al disponer los individuos de unos *primitivos conceptuales*, los cuales originan un conjunto correspondientes de campos semánticos y otro conjunto finito de conceptos[7], ¿son las representaciones producto de su combinación y correlación en torno al tema que el individuo maneja?; ello significaría que éstas podrían ser asumidas en términos del nivel conceptual de los indagados, elemento que fundamenta tanto la búsqueda de diferencias entre las distintas representaciones, dada la diversidad en el nivel de formación de la muestra, como la aplicación de estrategias para su transformación y/o evolución.

De los resultados encontrados en la investigación referenciada resaltamos la poca o ninguna diferencia encontrada en las representaciones de los sujetos a pesar de la diversidad de profesiones, saberes y oficios. Es un resultado que pone en tela de juicio conceptos teóricos que pertenecen al núcleo de las teorías representacionales, como es la relación entre la ecología conceptual[8] de los individuos y los modelos mentales que, en términos de ésta, son capaces de construir, con base en lo cual esperábamos encontrar diferencias marcadas entre los universos de quienes

[6] Son modelos que el individuo construye para dar explicación a una determinada situación a la que se enfrenta por primera vez y que posteriormente descarta

[7] Es uno de los nueve principios desde los cuales Johnson-Laird impone vínculos a la naturaleza de los modelos mentales

[8] Para Posner y Strike(1992), citado por Moreira y Greca(1993), la "ecología conceptual" está constituida por *artefactos cognitivos* como anomalías, analogías, metáforas, creencias epistemológicas, creencias metafísicas, conocimientos de otras áreas y conocimientos de concepciones rivales. Strike y Posner en la revisión posterior que hicieron a su modelo, asumen que en la idea de la ecología conceptual debe tenerse en cuenta otros factores como los personales, sociales e institucionales e conjuntamente con los factores epistemológicos sugeridos por la historia y la filosofía

tienen una formación en ciencias o relacionada con éstas y quienes en su formación profesional han tenido poca relación con las llamadas ciencias duras.

Es preciso encontrar mayores elementos que nos permitan saber si las inferencias que hemos hecho respecto al resultado que se encontró tienen validez, para lo cual haremos el mismo trabajo de exploración, análisis y caracterización de los modelos de universos aportados por los integrantes de una muestra amplia, no estratificada constituida por integrantes de un curso de Astronomía que semestralmente se realiza en el Planetario, por algunos asistentes a los Miércoles de Astronomía y los que frecuentan los Jueves de la Ciencia. Estos espacios académicos insertos en la modalidad de educación no formal ofrecidos al público barranquillero y de la Costa en general, son parte del proyecto de Divulgación Científica y Popularización de la Ciencia que en esta región colombiana adelantan La Fundación Amigos de la Astronomía (F.A.A), conjuntamente con la Caja de Compensación Familiar COMBARRANQUILLA. Preferimos utilizar estos espacios diferentes al "Viernes del educador", de donde se tomó el grupo de la investigación anterior porque así teníamos mayor probabilidad de encontrar diversidad en la muestra indagada.

El viernes del educador es un espacio "especializado" pues en éste confluyen docentes de todas las áreas del conocimiento; mientras que a los cursos sobre Astronomía, a los jueves de la Ciencia y los miércoles de Astronomía, confluyen personas de diversa formación profesional y oficio, interesadas en la programación que se le ofrece al público en estos espacios. En este sentido garantizamos la heterogeneidad del grupo con el que trabajamos en la segunda etapa de la investigación.

La última parte de la investigación es la *aplicación de la estrategia metodológica* ya explicitada en el primer capítulo.

Ello quiere decir que la segunda parte de este documento tiene dos capítulos: Uno contiene los resultados de la fase exploratoria de las representaciones mentales de los docentes sobre el universo y el otro los resultados de la aplicación de la estrategia metodológica; en cada uno de los cuales se encuentran los elementos básicos con los que hemos hecho inferencias fundamentadas respecto a las *Representaciones Mentales que los individuos tienen sobre el Universo, los elementos que incluyen en los modelos cosmológicos que lo explican y su comportamiento frente a la estrategia metodológica que busca su evolución-transformación*.

CAPÍTULO II.

CARACTERIZACIÓN DE LAS REPRESENTACIONES MENTALES QUE SOBRE EL UNIVERSO TIENE UNA MUESTRA NO ESTRATIFICADA DE SUJETOS QUE FRECUENTAN EL PLANETARIO BARRANQUILLA.

1. INTRODUCCIÓN

Con el proceso exploratorio que se inicia no se busca hacer generalizaciones pues tenemos claro que los resultados de la investigación sólo son válidos para la muestra indagada en el contexto en que se desarrolló. Lo que buscamos es ampliar la muestra en el mismo contexto y condiciones, hacer comparaciones y emitir juicios en torno a los resultados de uno y otro grupo, lo que dará mayor validez y fundamentación a las inferencias realizadas.

2. ALGUNOS ELEMENTOS DEL REFERENTE TEÓRICO

Las teorías representacionales en general y, en particular la Teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird(1983), y de los Campos Conceptuales de Gérard Vergnaud(1998), han aportado elementos interesantes que se constituyen en pautas para el proceso investigativo que adelantamos.

Para Johnson-Laird(1983), el sujeto aborda una situación nueva a través de Modelos Mentales los cuales evolucionan hasta alcanzar su funcionalidad; es decir, los modelos mentales son generados en el momento de ser requeridos por una determinada situación o evento nuevo y posteriormente son descartados cuando no son necesarios cognitivamente (Moreira, 1999); lo que implica suponer que los modelos mentales pertenecen a la memoria de corto plazo y sólo cuando le resultan útiles al sujeto en diversas situaciones, éstos son guardados en parte o totalmente en la memoria de largo plazo aumentando el bagaje de conocimientos del sujeto y convirtiéndose en esquemas de asimilación a la luz de la teoría de los campos conceptuales de Vergnaud. (Greca y Moreira, 2.003)

Vergnaud(1998), asume que la comprensión y aprehensión de un concepto, en nuestro caso un modelo del universo científicamente válido, es un proceso lento que requiere de tiempo suficiente y de un sin número de situaciones cuya variedad y riqueza posibilite a los individuos construir conceptos, representaciones mentales y/o transformar las que tienen de acuerdo con su funcionalidad ante la necesidad de dar explicación, de interpretar y hacer inferencias frente a un determinado evento.

Estos aportes y los que hemos consignado en páginas anteriores y que constituyen nuestro referente teórico, nos dan fundamentos para expresar que los elementos que los sujetos incluyen en sus representaciones del universo, las relaciones que entre éstos establece y las inferencias que realizan demandan no sólo de acciones que desvelan el entramado conceptual científico que subyacen detrás de cada modelo sino de imaginación y creatividad puesto que hemos solicitado al individuo representar externamente lo que tiene en su mente sobre un mundo cuyas propiedades y características escapan a sus sentidos y han sido poco analizadas desde la educación formal. Creemos que con esta acción se está poniendo en evidencia lo que Feldman(1983), denomina la "descarga óntica" esto es, convertir los procesos mentales del individuo en productos, dotándolos de alguna realidad en algún mundo.

Ello significa que las representaciones que los integrantes de la muestra han hecho del universo, además de idiosincrásicas, confusas, incompletas y difusas, *difieren entre sí en términos de la ecología conceptual del sujeto respecto al tema del universo, lo que nos lleva a suponer que debería evidenciarse una diferencia significativa entre las representaciones externas de los universos de quienes poseen una formación profesional relacionada con ciencias y/o enseñan ciencias y las representaciones externas de universos*

de quienes tienen una formación no científica, hipótesis que validaremos en esta primera parte de la investigación, teniendo en cuenta la pluralidad de la muestra elegida, la cual nos permitirá acopiar argumentos a favor o en contra de esta aseveración coyuntural en el seno de la teoría de los modelos mentales de Johnson-Laird y validar las aseveraciones hechas en torno a la formación en ciencias que en nuestro país se le ofrece al individuo en los diferentes niveles de la educación y en las distintas profesiones.

3. LA MUESTRA

La integran 76 representadores cuyas profesiones, oficios y experiencia profesional, marcan una diferencia significativa entre ellos. Tienen en común su afición por la Astronomía lo cual les lleva a asistir a las programaciones que ofrece el Planetario de Barranquilla. Ingenieros, economistas, periodistas, nutricionistas, administradores de empresas, técnicos, rectores, comerciantes, docentes, estudiantes universitarios y de bachillerato conforman esta muestra.

De los 76 miembros del grupo, 27 son profesores entre los cuales encontramos docentes de Ciencias Sociales, Castellano, Inglés, Ciencias Naturales, Matemáticas y Física, Física[9], Biología y Química.

16 de los 27 docentes, tienen formación directamente relacionada con Física, Química, Biología, Educación Ambiental y Matemáticas.

[9] Aunque, hasta la primera mitad de los años 90 de la Facultad de Educación egresaban licenciados en Física, actualmente, el profesional en Física egresa de la Facultad de Ciencias y el licenciado en Matemáticas y Física es un profesional que egresa de la Facultad de Educación

4. **PARÁMETROS DE ANÁLISIS Y CATEGORÍAS**

El hecho de representar externamente la imagen del universo demandó de las personas involucradas un esfuerzo intelectual: plasmar en el papel su modelo de un universo que escapa a sus sentidos, cuyo conocimiento no es exigido ni valorado como parte del bagaje cultural que debe tener el individuo en su desempeño profesional y/o su cotidianidad; en este sentido reconocemos y valoramos el trabajo realizado por los representadores y *asumimos el análisis de sus representaciones con base en su mayor o menor coherencia con los Modelos Cosmológicos aceptados científicamente,* para lo cual nos formulamos las siguientes preguntas:

- ¿***Qué elementos*** han incluido en las representaciones y *qué relaciones* han establecido entre éstos?.
- ¿Cuál es ***su validez*** a la luz de las teorías cosmológicas recientes?
- ¿Existe ***diferencia entre*** las representaciones externas de los sujetos de acuerdo con el nivel de educación, profesión u oficio?

Desde esta perspectiva nos dimos a la tarea de analizar las representaciones externas del universo teniendo en cuenta que estamos manejando modelos incompletos, confusos, desordenados, pero posiblemente *funcionales* frente a la explicación de situaciones y eventos, otro de los elementos que validaremos en la segunda parte del trabajo.

De acuerdo con estos parámetros y consideraciones, definimos las siguientes categorías:

4.1. Universo Impreciso:

Las Representaciones de este grupo tanto lingüísticas como pictóricas hacen referencia al universo a través de adjetivos y apelativos que en su conjunto no permiten hacerse a la idea de un modelo específico del mismo en cuanto a los elementos y las relaciones que entre éstos pudiera haber. En los cuadro 1 y 2, hemos copiado textualmente fragmentos y/o toda la representación lingüística entregada por algunos docentes[10]. Los originales pueden verse en el anexo1.

Universo Impreciso
El universo. Es el descubrimiento de si mismo en los demás. Es la existencia pasajera de la vida, de mundos, vivencias, que incide en el COSMO de los demás. Conclusión, no podemos existir sin el otro Somos viajeros del espacio y el tiempo en un mundo que llamamos nuestro - universo y donde necesariamente compartimos con los demás para no morirnos de tristeza y soledad. Qué es el universo? Estas ideas nacen de todos lo que nos rodea o existe . . . . Profesor de ciencias sociales.
Es todo., es algo tan inmenso que no nos alcanza la vida para saber todos sus secretos. Técnico
El universo es todo cuanto conocemos. Metrólogo
El universo es todo lo que está a nuestro alrededor, tanto a nivel micro como a nivel cósmico cada uno percibimos el universo dependiendo del estado de ánimo y del lugar donde nos encontremos. Contador público.

Cuadro 1. Transcripción de algunas representaciones lingüísticas

[10] Hemos hecho copia fidedigna de los originales que los representadores nos entregaron., los cuales pueden ser consultados en los anexos.

Universo Impreciso

El universo es tosdo lo que nos rodea y aún nosotros hacemos parte del universo, todo lo que existe, existe porque está basado en un fundamento como lo es el universo, las estrellas, los planetas y la tierra y todo cuanto existe están hechos porque tienen una razón de ser.

Estudiante.

Nosotros somos parte del universo. Ese universo, El cual nos parece tan complejo, ó quizá para alguno Sencillo de entender, y de asimilar que fuera de la tierra hay todo un extraordinario mundo por conocer y entender. y a la vez aprender a amar, porque ante todo para Entender y Relacionarte con todo lo de allí, debes amar ese mundo. Personalmente me es fascinante escuchar todo cuanto tenga Relación con ello. Y sólo Dios quien lo creó puede conocer Cada extremo del universo. Y el universo se sujeta a él Es decir. Que sólo con su ayuda podras entender la infinidad del universo y mucho. Gracias.
Estudiante
Enigmático,
Inquietante
Tan cerca pero tan lejos
Oscuro y claro
Apasionante

Estudiante
El universo es una integración de elementos, con unas características bien definidas capaz de proporcionar un ambiente de posibilidades insospechables.
Rector.

Cuadro 2. Universo impreciso. Transcripción de representaciones lingüísticas

10 son los integrantes del grupo cuyas representaciones mentales estamos analizando; estudiantes, docentes de Ciencias Sociales, Castellano, Biología y Química, Física, rector, técnico, metrólogo y contador público, hicieron y entregaron sus representaciones del universo; 8 de éstas representaciones son lingüísticas, elemento que destacamos en virtud de las teorías representacionales desde las cuales se afirma que esta forma de representación demanda del representador menos esfuerzo intelectual que la pictórica; sin embargo, como veremos en posteriores representaciones, existen modelos lingüísticos cuyos elementos desvelan estados superiores de desarrollo mental en relación con el tema indagado, situación comprensible a la luz de la teoría de Johnson-Laird(1996, p.114) quien supone que el raciocinio es perfectamente posible sin tener que construir imágenes pues…"*muchos de los conceptos de la vida cotidiana trascienden lo que es directamente perceptible, valores, justicia, verdad";* podríamos añadir a esta lista el universo como tal.

Pero, ¿Cuáles son los elementos que cada integrante de este grupo maneja?. ¿Son sus representaciones expresiones de lo que inconscientemente siguen validando en el sentido de asumir la tierra como un lugar confiable, conocido, familiar y el resto del universo insondable, ajeno, lleno de misterios y por lo mismo enigmático y poco familiar?. ¿Conforma acaso esta concepción un primitivo conceptual?. ¿son tokens?. ¿ o invariante operatorio a la luz de Vergnaud?

Para Johnson-Laird(1983), el número de primitivos conceptuales afecta el contenido de los modelos mentales y la estructura de éstos corresponde a la estructura de los estados de cosas del mundo tal como son concebidas o percibidas por el individuo; desde esta perspectiva es válido interpretar las representaciones lingüísticas de

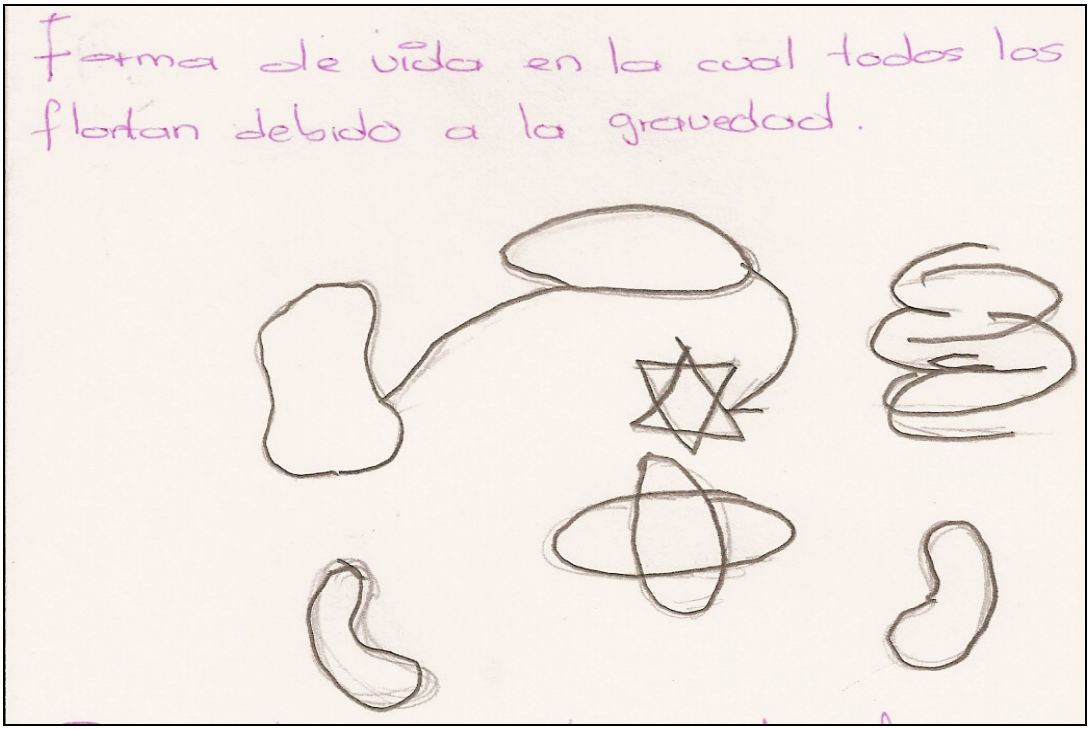
este grupo como representaciones externas de las representaciones mentales del universo que subyacen en la mente de sus representadores. La figura 10 colocamos las dos representaciones pictóricas, las cuales caen en la misma categorización; sin embargo, podemos inferir que existen en éstas algunos elementos aunque no claramente diferenciados o identificados.

4.2. Universo ego:

Es un universo concebido en torno a lo que directamente afecta al individuo; así, el universo es respecto a representador, a sus vivencias y sus sentimientos, su entorno físico, su contexto inmediato, de tal modo que en las representaciones se establecen relaciones espaciales donde el centro es la persona. Existe implícito una relación directa entre el representador y el cosmos tal y como lo ha representado y se muestra en la figura 11 y el cuadro 3.

Dos estudiantes, una profesora de inglés y un comunicador social conforman el grupo.

Qué elementos incluyen?. Qué relaciones establecen entre éstos?. (Ver también figura 2. Universo Contextual). La luna, el sol, la tierra, las estrellas, son elementos que forman parte de sus modelos pero sus representadores no establecen relación entre éstos elementos aunque si se aprecia una relación directa entre el sujeto y el cosmos tal y como lo han concebido, tal parece estar considerado como un sistema cuyas funciones afecta sus vidas.



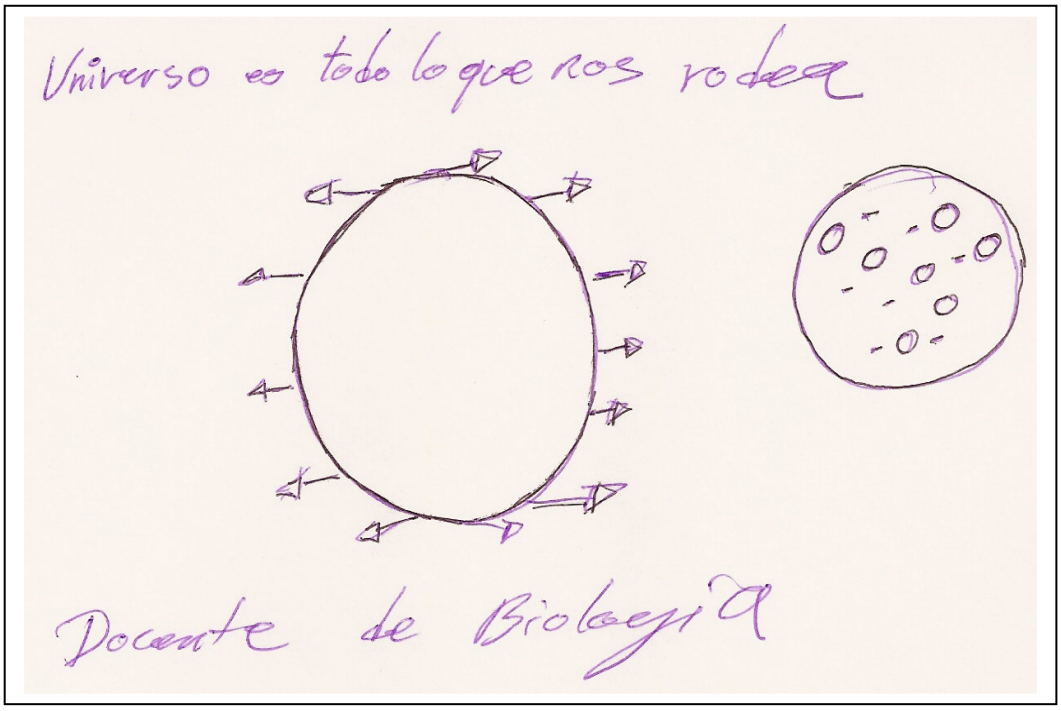


Figura 10. Universo Impreciso. Representaciones pictóricas



Figura 11. Universo Ego. Representación Pictórica

EGO

Yo soy el producto más maravilloso de toda la creación del
Universo. Soy el resultado de millones de años de cambios
Dramáticos en el cosmos. Mi mente alberga conocimientos
Infinitos de sensaciones, emosiones, ciencia, filosofía, técnica,
Lenguaje, religión y cultura. Soy el fruto de concepciones
De hombres que vivieron mucho tiempo antes de mi

Yo, como hombre, soy el ente cumbre de una macroestructura
Rígida y frágil a la vez que al mismo tiempo hace parte
Inherente del tiempo y del espacio.

El Universo, Mi universo No es una concepción externa, Mi
Universo parte de mi como punto referencial de perfección
Natural. Lo demás es, porque yo y mis sentidos hacen
Que sea

Aunque mi cerebro hace parte de la materia, lo considero por
Encima de ella, porque tengo la capacidad de crear y modificar
A partir de ella.

Yo, como digno representante de la especie humana, y sin caer
En una imagen egocentrista, asumo el Cosmos y cada átomo
Que compone mi existencia como fenómeno cúspide del tiempo
Y el espacio en este ínfimo punto que llamamos tierra
Comunicador Social

Cuadro 3. Universo Ego. Transcripción de una representación lingüística

¿Podemos rastrear en estas representaciones algunos primitivos conceptuales?. Si como Johnson-Laird opina, la cuestión del contenido de los modelos mentales es ontológica, si la concepción de

lo que existe es función del mundo y de la capacidad que tiene el representador de concebirlo y de los conceptos que subyacen a los significados de las cosas, si tomamos algunas expresiones consignadas, "*el universo es todo lo que nos rodea", "el universo parte de mi como un todo referencial*"; podríamos pensar que para los miembros de este grupo su universo tiene centro en el individuo y su entorno, (la persona, sus amigos, la institución donde estudia y trabaja, su ciudad,…); esto es, está conformado por él y todo lo que le rodea, siendo el individuo y sus percepciones las que determinan su contenido, entonces podemos inferir de las representaciones externas de este grupo de personas que ellas desvelan sentimiento de estrecha relación entre el hombre y el cosmos que quizá pueda ser considerado como primitivo conceptual, o como "tokens" o elementos básicos que conforman su campo semántico; en este sentido para ellos es válido hablar de "mi universo" en vez de "el universo"; nos inclinamos a pensar que, "*el hombre nace con una concepción egocéntrica de universo y parece que no siempre la cambia"*.

4.3. Universo Heliocéntrico.

Hemos identificado dos grupos. El primero está constituido por 8 representadores; estudiantes, docentes de ciencias sociales, de ciencias naturales, de Biología y Química, de Física, administradores de empresas, comunicadores sociales, conforman un espectro intelectual cuya diversidad nos aporta elementos interesantes sobre el entramado conceptual que subyace detrás de sus representaciones. Éstas son en general pictóricas aunque algunas están acompañadas de un discurso explicativo, como puede verse en las figuras 12 a, 12b y 12c.

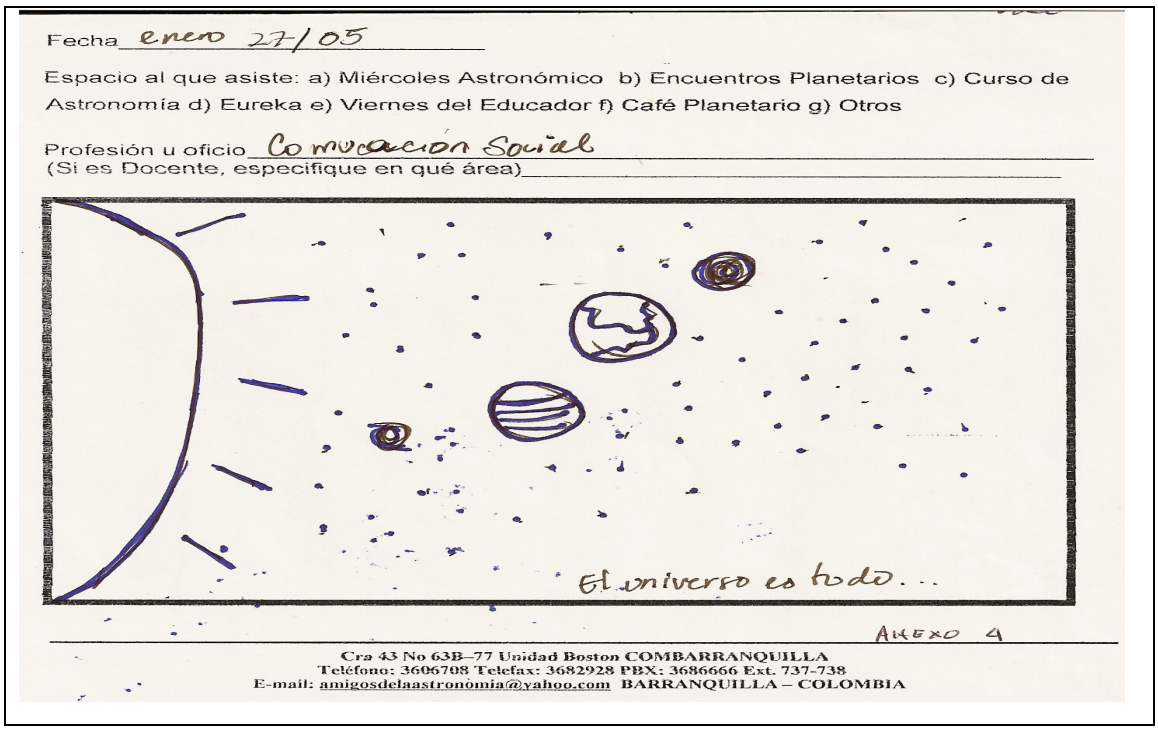
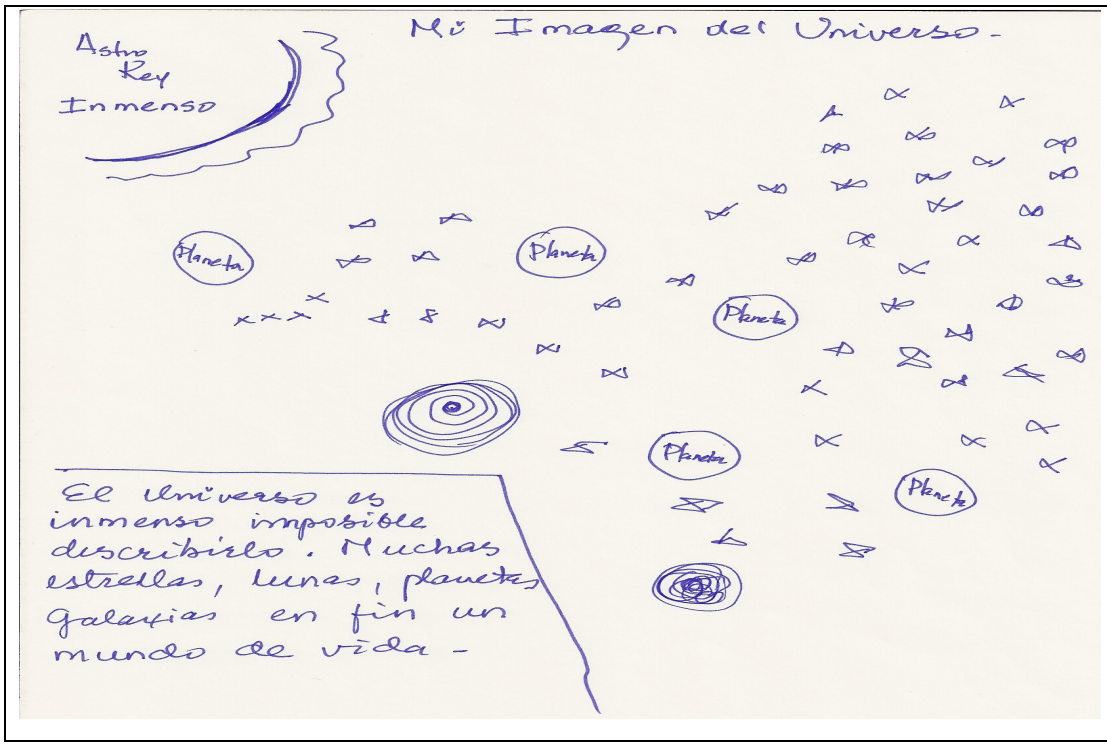


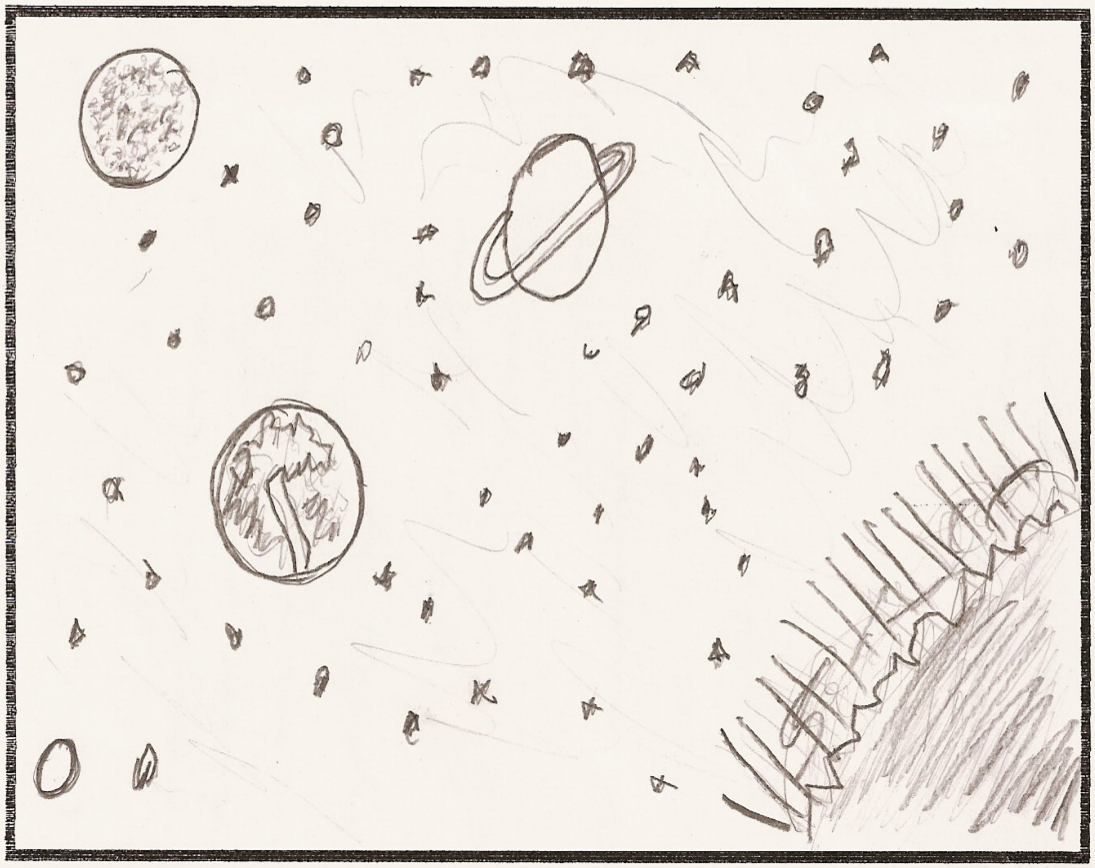
Figura 12a. Universo Heliocéntrico. Representación pictórica



Fecha 27/01/05

Espacio al que asiste: a) Miércoles Astronómico b) Encuentros Planetarios c) Curso de Astronomía d) Eureka e) Viernes del Educador f) Café Planetario g) Otros

Profesión u oficio Administrador de empresas
(Si es Docente, especifique en qué área)_____



Cra 43 No 63B–77 Unidad Boston COMBARRANQUILLA
Teléfono: 3606708 Telefax: 3682928 PBX: 3686666 Ext. 737-738
E-mail: amigosdelaastronomia@yahoo.com BARRANQUILLA – COLOMBIA

Figura 12b. Universo Heliocéntrico. Representaciones pictóricas

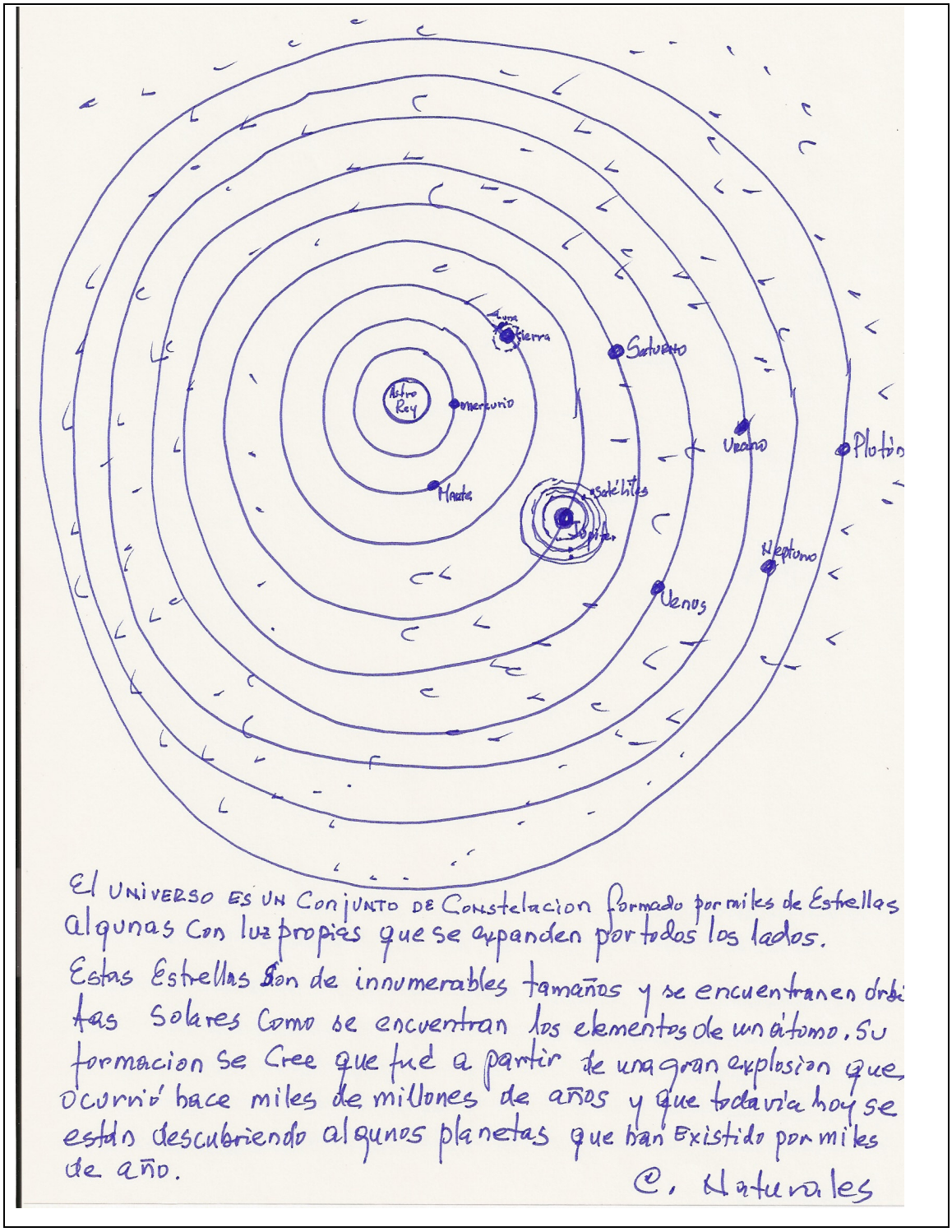


Figura 12c. Universo Heliocéntrico. Representación pictórica con algunas explicaciones

En este grupo colocamos a quienes consideran que el universo es inmenso, para algunos infinito, que el sol domina un espacio tachonado de estrellas y numerosos cuerpos no identificados y a quienes conjuntamente con el sol señalan otras estrellas embebidas entre los planetas. Detrás de esta representación subyace el concepto que en el sistema solar hay numerosas estrellas acompañando a los planetas, el cual, hemos evidenciado, es más común de lo que creíamos, pues no sólo estudiantes sino muchos docentes y profesionales no docentes se manifiestan perplejos al saber que el sol es la única estrella de nuestro sistema planetario.

El segundo grupo está conformado por seis representadores quienes consideran el sol central y los planetas en órbitas; aunque algunos hacen referencia a estrellas, constelaciones, galaxias, …, es posible que en la mente de estos representadores la imagen del universo tiene relación con nuestro sistema planetario, "lo demás" que forma parte del cosmos es para ellos inimaginable. ¿Podríamos inferir de las representaciones que para los representadores el sol es la única estrella del sistema solar y éste constituye el universo? (Ver Figuras 13 a y b).

Podríamos identificar algunos elementos determinantes en las representaciones de los dos grupos definidos, que posiblemente serían "los primitivos conceptuales" que manejan sus autores. Por ejemplo, *el sol es el Astro Rey del firmamento*, concepción que heredamos de cosmologías desarrolladas a la luz de la Mecánica Celeste Clásica, que en algunos casos corresponde más a herencia cultural, o a los medios de comunicación, como lo expresa uno de los representadores, que a procesos de aprendizaje desarrollados en las aulas de clases.

Al referirse a los modelos mentales no derivados de la percepción, Johnson-Laird asume que estos modelos pueden en principio ser físicos o conceptuales pues por lo general se construyen a partir del discurso, el cual exige y/o requiere un modelo conceptual. (Moreira, 1999, p. 18). Señalábamos en la investigación anterior que la educación formal no ha aportado a los educandos un modelo conceptual del universo por lo que nos inclinamos a asociar estas representaciones con la herencia cultural y/o la influencia de los medios de comunicación, como lo dijimos anteriormente.

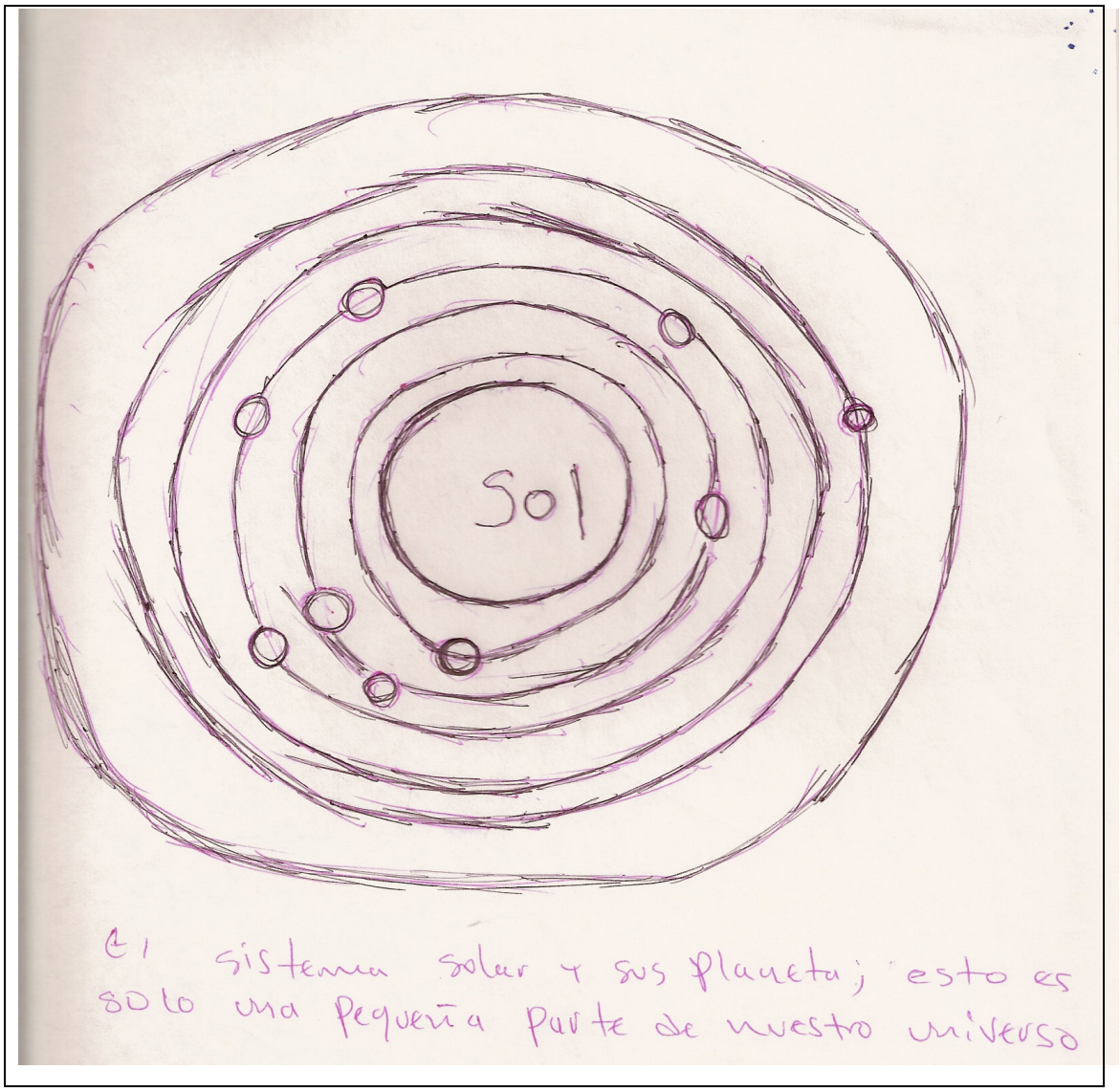
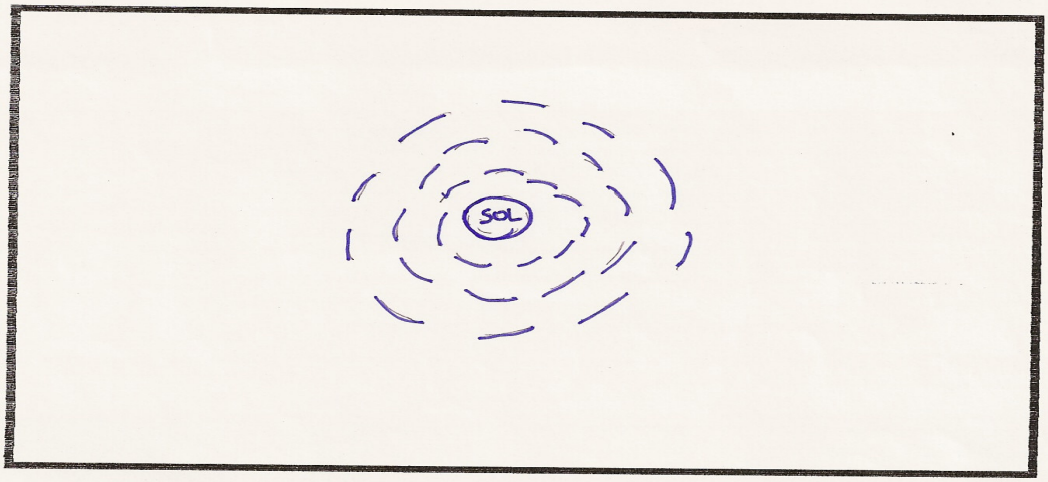


Figura 13a. Universo Heliocéntrico. Representación pictórica-lingüística

Fecha enero 26 /05

Espacio al que asiste: a) Miércoles Astronómico b) Encuentros Planetarios (c) Curso de Astronomía d) Eureka e) Viernes del Educador f) Café Planetario g) Otros

Profesión u oficio Admon Hotelero
(Si es Docente, especifique en qué área)

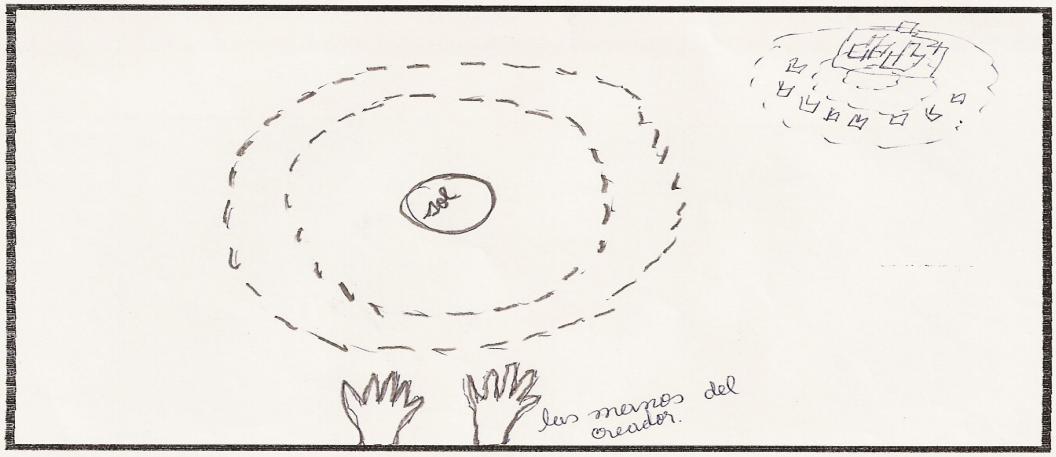


Cra 43 No 63B–77 Unidad Boston COMBARRANQUILLA
Teléfono: 3606708 Telefax: 3682928 PBX: 3686666 Ext. 737-738
E-mail: amigosdelaastronomia@yahoo.com BARRANQUILLA – COLOMBIA

Fecha Enero 27/05

Espacio al que asiste: a) Miércoles Astronómico b) Encuentros Planetarios c) Curso de Astronomía d) Eureka e) Viernes del Educador f) Café Planetario g) Otros

Profesión u oficio Docente
(Si es Docente, especifique en qué área) Ciencias Sociales



ANEXO 2

Cra 43 No 63B–77 Unidad Boston COMBARRANQUILLA
Teléfono: 3606708 Telefax: 3682928 PBX: 3686666 Ext. 737-738
E-mail: amigosdelaastronomia@yahoo.com BARRANQUILLA – COLOMBIA

Figura 13b. Representaciones pictóricas de universos heliocéntricos

4.4. Universo que no va más allá de la Vía Láctea

Dos representaciones, una lingüística y otra pictórica nos muestran un universo conformado por la Vía Láctea. Ambos referencian las estrellas como constituyentes primarios. La representación pictórica señala el sistema planetario como parte de la Vía Láctea. ¿Podríamos inferir que para los dos docentes, independientemente de su formación profesional, el universo es la Vía Láctea?. Las dos representaciones son de profesores, uno de Lingüística y otro de Física, ambos del primer grupo de la investigación. En la figura 14 se muestra la representación pictórica y en el cuadro 4 la transcripción de la representación lingüística.

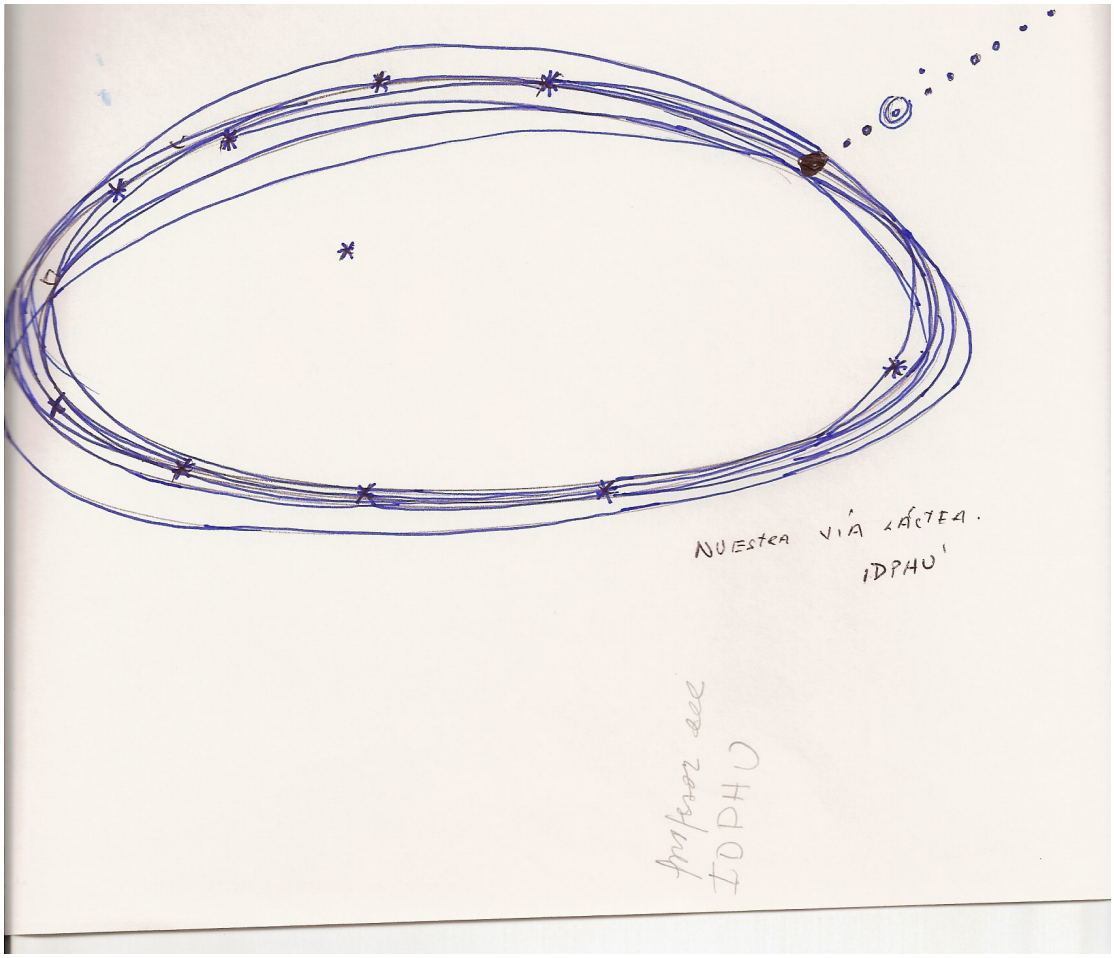


Figura 14. Universo como Vía Láctea. Representación pictórica

Concepto de Universo.

"Es un gran conjunto infinito donde existen planetas, estrellas y demás cuerpos pertenecientes a La Vía Láctea, de manera tal que no exista una forma de describirlo, de representarlo, ni mucho menos de llegar al principio o al fin de todo"

Física

Cuadro 4. Universo como Vía Láctea. Transcripción de la representación lingüística

Teóricos representacionales opinan que cuando una persona comprende un evento real o un suceso significativo es capaz de construir Representación Mental de éste sólo si dispone de un conocimiento más general de esos acontecimientos; es decir, tiene informaciones, percepciones, representaciones vinculadas a los hechos en sí (Van Dijk, 1992); refiriéndonos a los dos docentes, entendemos que el docente de Lingüística no disponga del conocimiento necesario que le permita construir modelos y otras representaciones mentales mucho más coherentes con las teorías científicas modernas, pero ello no se justifica en el docente de Física cuya formación gira en torno a las leyes y teorías de esta ciencia, a menos que nos inclinemos a pensar con Osterman y Moreira(1999) que las teorías científicas que se estudian en las carreras universitarias sólo sirven para "pasar la materia". De acuerdo con Bruner(1987), sólo en la medida en que la formación permite al hombre estructurar su *self*, éste es capaz de manejar y aplicar sus conocimientos en respuesta a las necesidades y situaciones a las que se enfrente. La revisión de los currículos que sustentan la formación de formadores en ciencias están cargados de asignaturas científicas

desde las cuales supuestamente el educando se apropia de un saber en el área respectiva; ¿podríamos pensar a la luz de Bruner(1987), que este proceso no ha logrado estructurar su *self* en cada aprendiz?. Dejamos la respuesta en suspenso pues ella forma parte de futuras investigaciones.

4.5. Universo como Sistema

4.5.1. Un Comerciante y un Ingeniero Civil forman parte de quienes representan el universo como un sistema donde cada una de sus partes desempeñan funciones, tal y como sucede con los diferentes órganos del cuerpo humano.

En la otra cara de la página, cada uno hace una representación diferente del universo, cuyas características caen en otra categoría; el comerciante lo representa como un conjunto infinito de estrellas homogéneamente distribuído; y, el Ingeniero considera que las galaxias están distribuidas homogéneamente en el espacio. El Ingeniero complementa la representación en forma lingüística dando explicaciones a lo que él llama "La gran Esfera Cósmica". Posterior indagación nos permitió conocer la relación directa que los dos representadores de esta categoría tienen con el cosmos. Uno como observador permanente del firmamento, constructor de telescopios y fotógrafo aficionado de eventos naturales y el otro como simpatizante de culturas orientales.

A la luz de la teoría de Johnson-Laird(1983), no existe un modelo mental para una determinada situación; pueden existir varios aunque sólo uno represente de manera activa la situación representada en el sentido de involucrar lo esencial de los conceptos. (Moreira, 1995).

De todas formas podríamos decir que los primitivos conceptuales que tienen estas personas se han venido combinando y recombinando, enriqueciéndose permanentemente con la información recibida en sus respectivas actividades, situaciones y vivencias para ir consolidando un esquema de acción que responde funcionalmente a sus exigencias, hecho que puede ser entendido asumiendo los modelos mentales dinámicos y por lo mismo capaces de evolucionar hacia esquemas de acción en términos de las situaciones y eventos a los que se les enfrenta(Ver Fig. 15).

4.5.2. Universo como conjunto infinito de sistemas solares

La figura 16 muestra la representación lingüística de un Ingeniero quien asume que el universo se compone de un conjunto infinito de sistemas solares intercomunicados entre sí. Podríamos preguntarnos, ¿el profesional habrá tenido oportunidad de enterarse de las costosas investigaciones que el hombre viene haciendo en busca de otros sistemas solares, de otros mundos habitados como el nuestro o tratando de detectar alguna información extraterrestre que suponga la existencia de esos mundos?

4.6. Universo Acéntrico.

Conforman esta categoría tres grupos con un total de 44 integrantes

4.6.1. *Universo Miscelánea: L*o constituyen 28 representadores, quienes asumen el universo como un conglomerado de cuerpos de diferente naturaleza embebidos en un espacio inmenso.

Veo el universo como un gran gigante con todos sus órganos, constituidos por galaxias, soles, planetas, estrellas, siendo cada uno de ellos las células, corazón, pulmones; hígado, riñones, piernas, manos, desos, uñas y nosotros somos microorganismos que viajamos dentro de éste gran gigante, renovándonos cual células (dentro) de nuestro cuerpo.

Comerciante

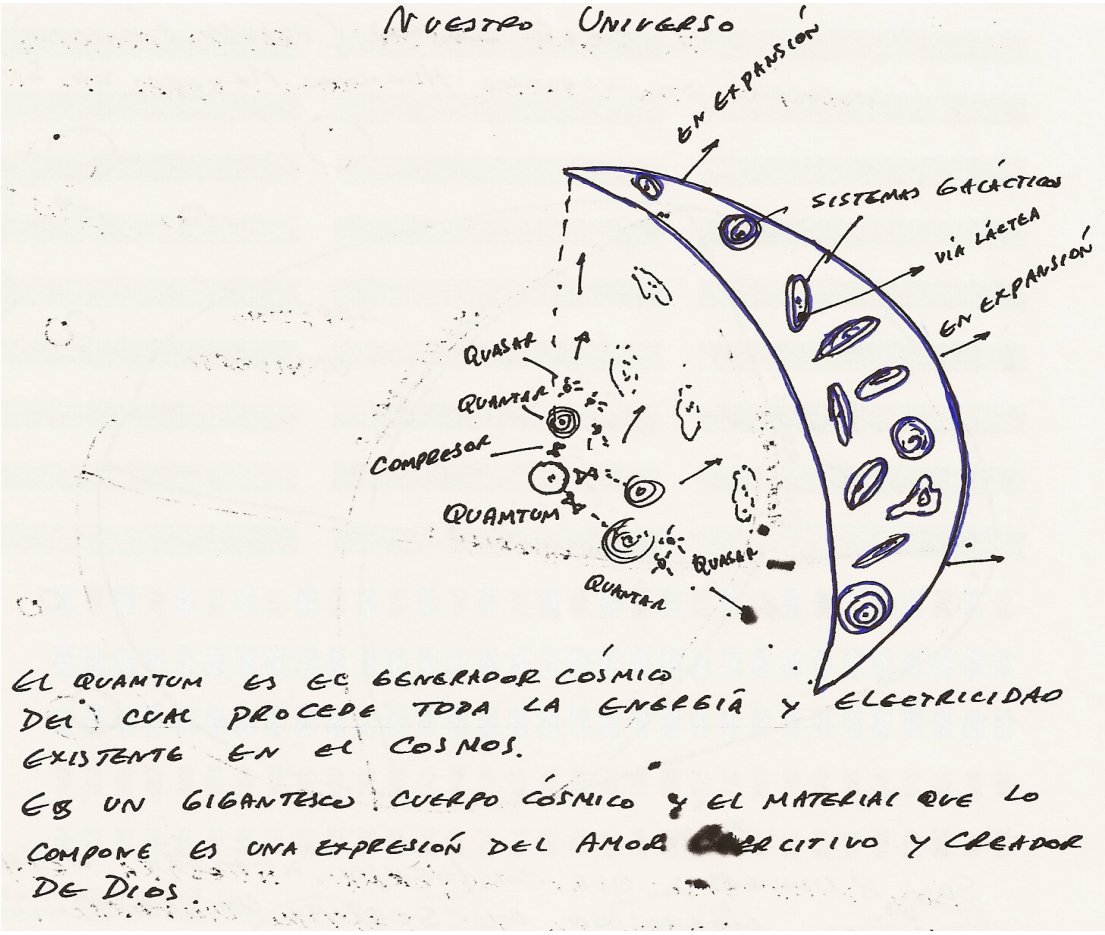
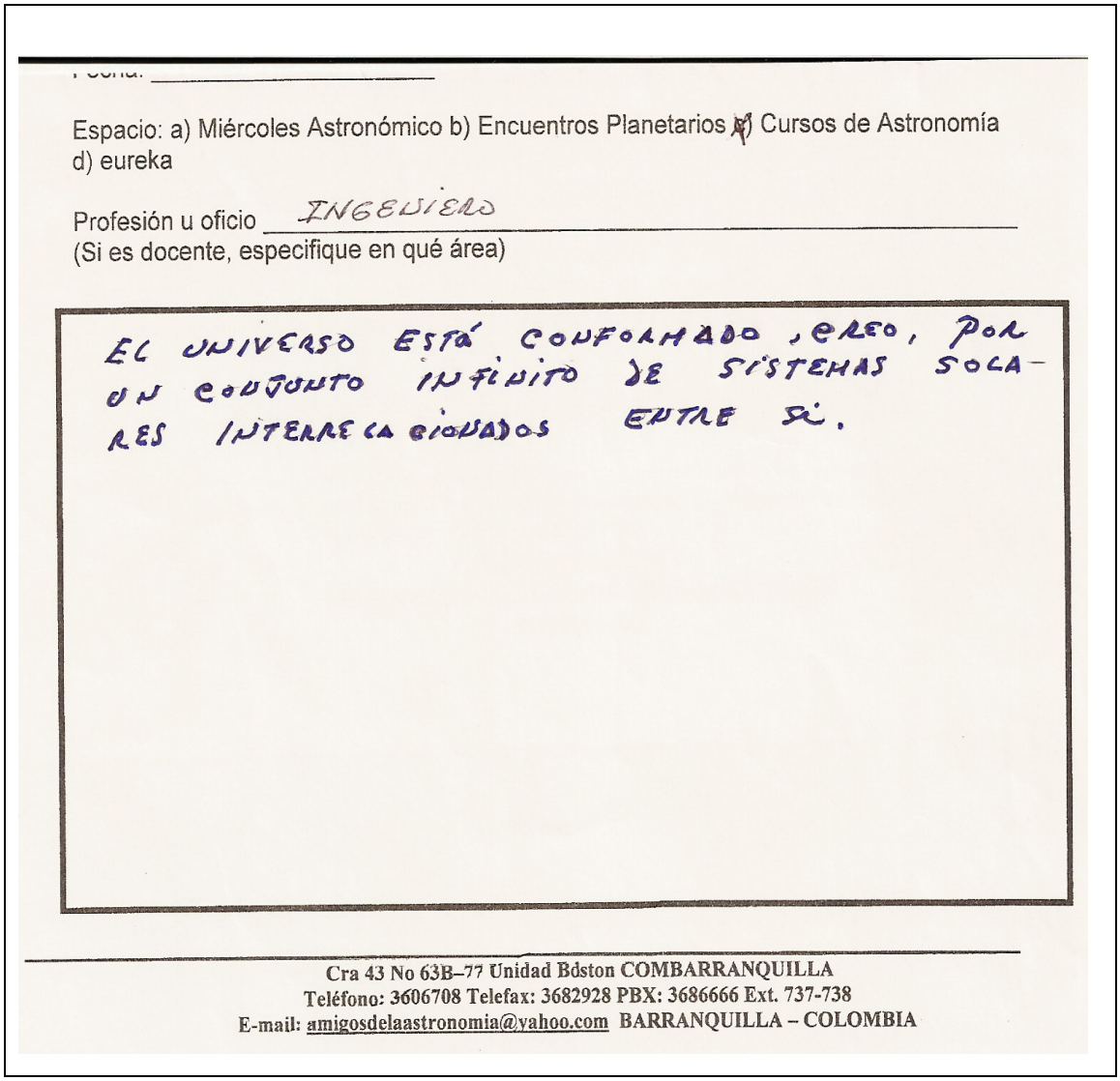


Figura 15. Universo como sistema. Representación pictórica y lingüística



Fecha: _____

Espacio: a) Miércoles Astronómico b) Encuentros Planetarios c) Cursos de Astronomía d) eureka

Profesión u oficio INGENIERO

(Si es docente, especifique en qué área)

EL UNIVERSO ESTÁ CONFORMADO, CREO, POR UN CONJUNTO INFINITO DE SISTEMAS SOLARES INTERRELACIONADOS ENTRE SÍ.

Cra 43 No 63B–77 Unidad Bdston COMBARRANQUILLA
Teléfono: 3606708 Telefax: 3682928 PBX: 3686666 Ext. 737-738
E-mail: amigosdelaastronomia@yahoo.com BARRANQUILLA – COLOMBIA

*Figura 16.*Representación lingüística del universo como conjunto infinito de sistemas solares

Es el U*niverso Miscelánea* que llamamos en la investigación anterior donde todo los elementos, planetas, estrellas, galaxias, agujeros negros e incluso el hombre los árboles, las casas, están ahí, sin diferenciaciones, relaciones ni jerarquizaciones. Algunas representaciones señalan límite al universo y referencian su expansión (Ver Figuras 17a, 17b, 17c, y cuadro N°5).

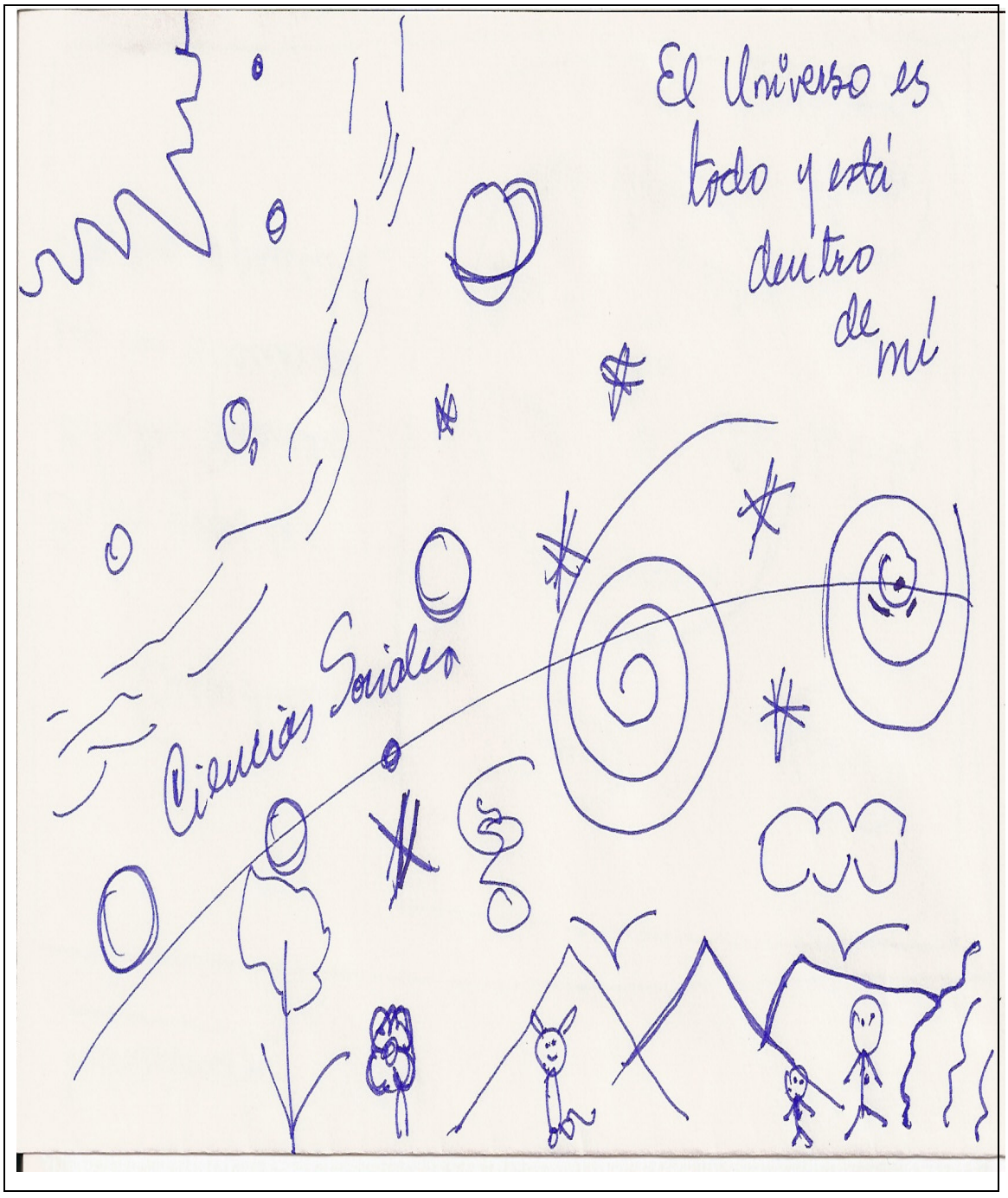


Figura 17a. Representación pictórica. Universo Miscelánea

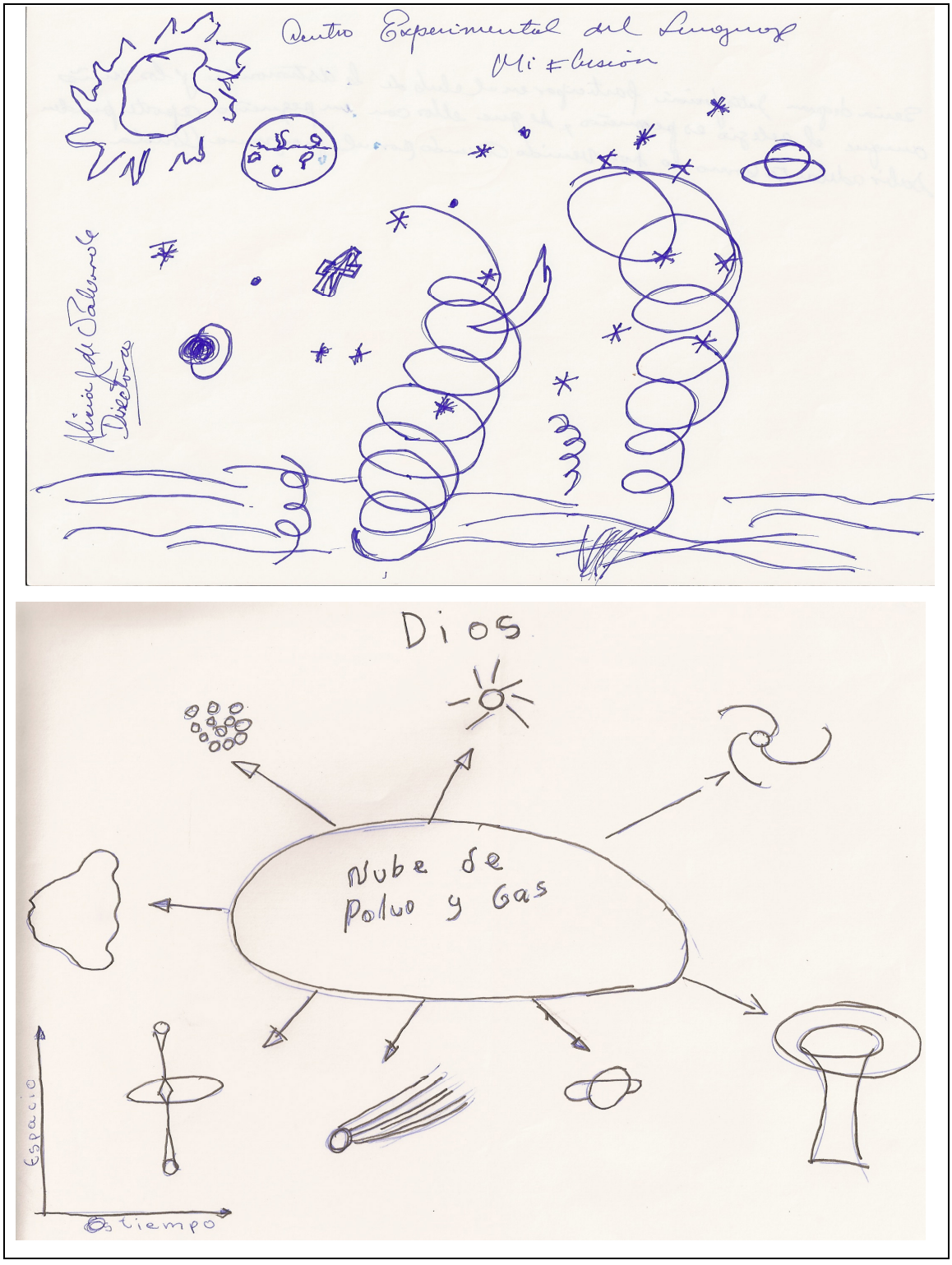


Figura 17b. Universo Miscelánea. Representaciones pictóricas



Figura 17c. Universo Acéntrico. Universo Miscelánea. Representaciones pictóricas

"Para mi el universo es todo lo que nos rodea, es infinito y formado por galaxias, nebulosas, planetas, estrellas, etc.

Nosotros somos un punto pequeñito en medio de tanta maravilla que constantemente se renueva.

Profesora.
Institución Educativa de Candelaria

Cuadro 5. Universo Miscelánea. Transcripción de la representación lingüística

Encontramos comerciantes, administradores de empresas, nutricionistas, estudiantes de licenciatura, profesores de Ciencias Sociales, Ciencias Naturales, Matemáticas y Física, Biología y Química, Física. Dos representaciones son lingüísticas, dos complementan su representación pictórica con alguna explicación y el resto son totalmente pictóricas. La variedad nos muestra cómo las representaciones de los universos responden más a la vivencia personal de los individuos que a la educación formal.

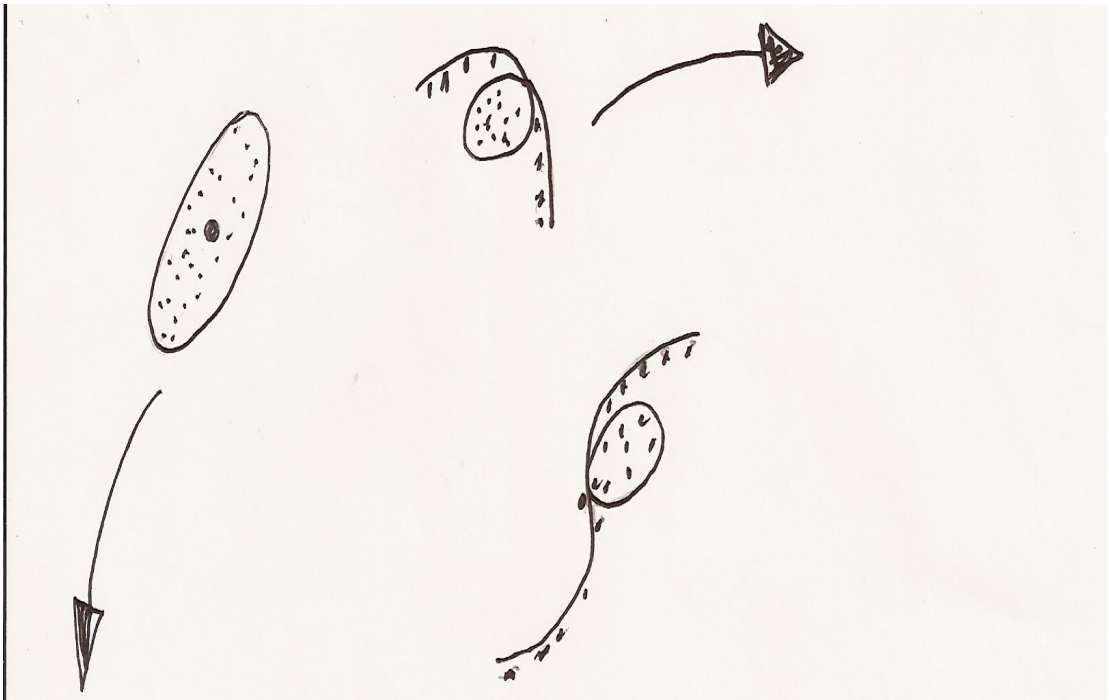
Podríamos pensar, por el número de integrantes del grupo que, es ésta la visión más general que se tiene del universo, en ella sus autores están validando algunas propiedades asumidas por las teorías cosmológicas modernas como la no existencia de un centro preferencial y la expansión del universo pero a la vez lo están considerando como un saco donde todo cabe.

Para Norman (1983), los modelos mentales de una persona reflejan sus creencias sobre el sistema físico representado, adquiridas por observación, instrucción o inferencia. En nuestro caso, la variedad de

profesiones y oficios de los integrantes nos permite tomar distancia sobre la efectividad de la instrucción recibida en la educación formal; creemos que sus modelos de universos son inferidos por la observación del cielo nocturno y por las la informaciones recibidas por los medios de comunicación. Al respecto, Vergnaud(1996) opina que el conocimiento que el sujeto aprehende y que forma parte de su estructura cognitiva es el resultado de un proceso de integración adaptativa con las situaciones que vive, proceso que se desarrolla a lo largo del tiempo(Franchi, 1999), citado por Moreira(2.003)

4.6.2. El segundo grupo lo constituyen 10 representadores, quienes además de no señalar un centro preferencial para el universo, consideran estrellas, galaxias y/o cúmulos como sus bloques fundamentales homogéneamente distribuidos. Algunos incluyen otros elementos como la expansión y/o contracción y ponen límites al cosmos (Ver fig. 18a, 18b)

Entre los integrantes del grupo hay profesores de Matemáticas y Física, de Ciencias Sociales, Ingeniero, Economista, Administrador Público, Enfermera y estudiantes, quienes han hecho sus representaciones en forma pictórica. Hay dos representaciones lingüísticas. Entre las representaciones encontramos la imagen de un universo limitado con una configuración similar a la de la tierra, con paralelos y meridianos (figura 18c). Uno de los estudiantes habla de agujeros negros y hace referencia a éstos en términos de las propiedades que le asignan las teorías cosmológicas de frontera; expresa que para él la relación espacio-tiempo es inimaginable, dando a entender que tiene la información pero está lejos de manejarla, de aprehenderla.



Mi visión del Universo es tan compleja, amplia y llena de tantos interrogantes que me resulta imposible colocarle un límite. No tengo idea de cómo plasmar un agujero negro con todo lo que se especula sobre él. Se le ha llamado portal de mundos paralelos, fuente de transformación de materia en energía. Se sabe que hay planetas que hay galaxias en expansión pero a ciencia cierta. no alcanzamos a medir e imaginar todo lo que encontramos en él
la relación espacio - tiempo es inimaginable.

Figura 18a. Universo Acéntrico. Grupo b

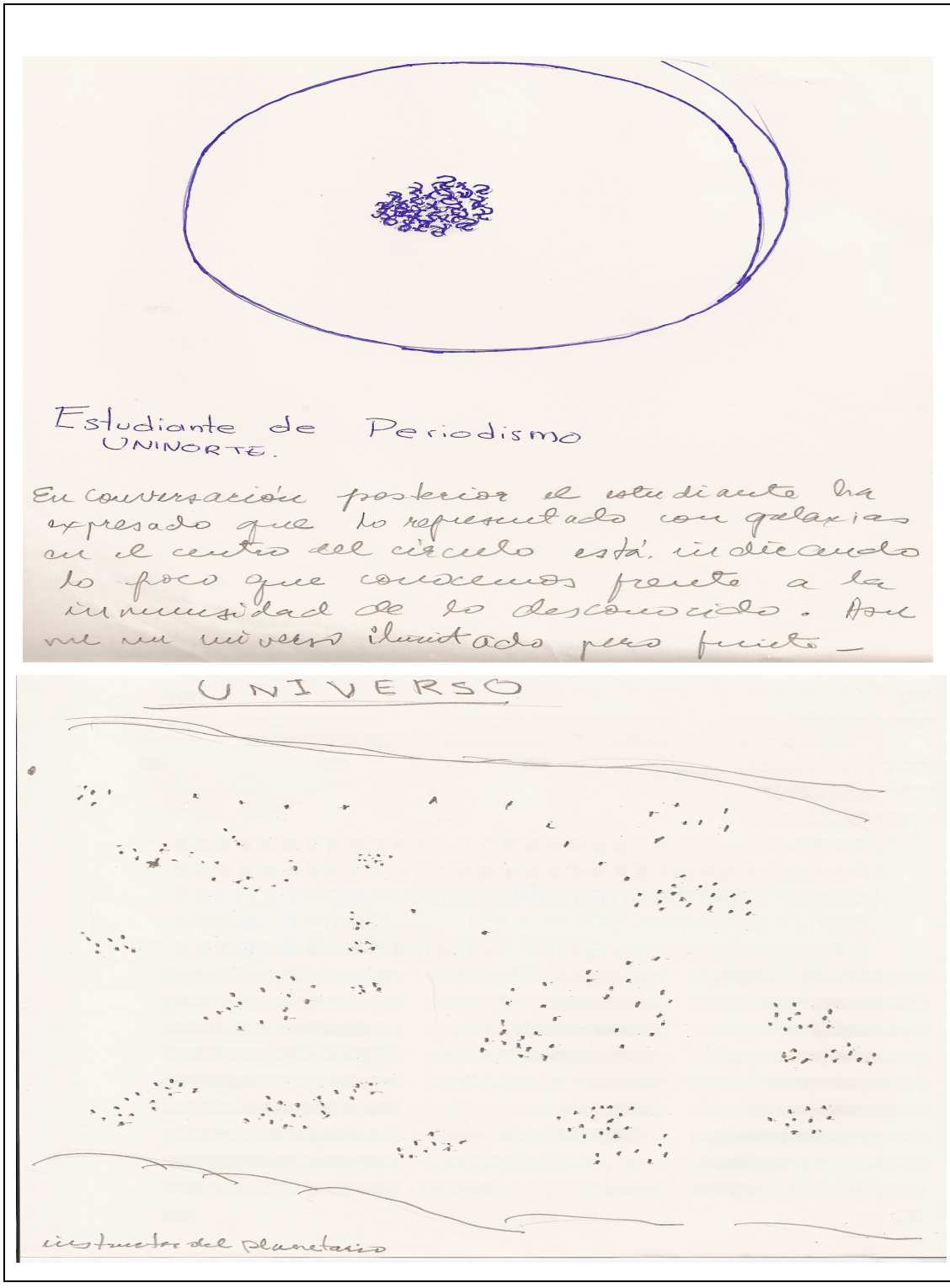


Figura 18 b. Universo acéntrico. Grupo b.

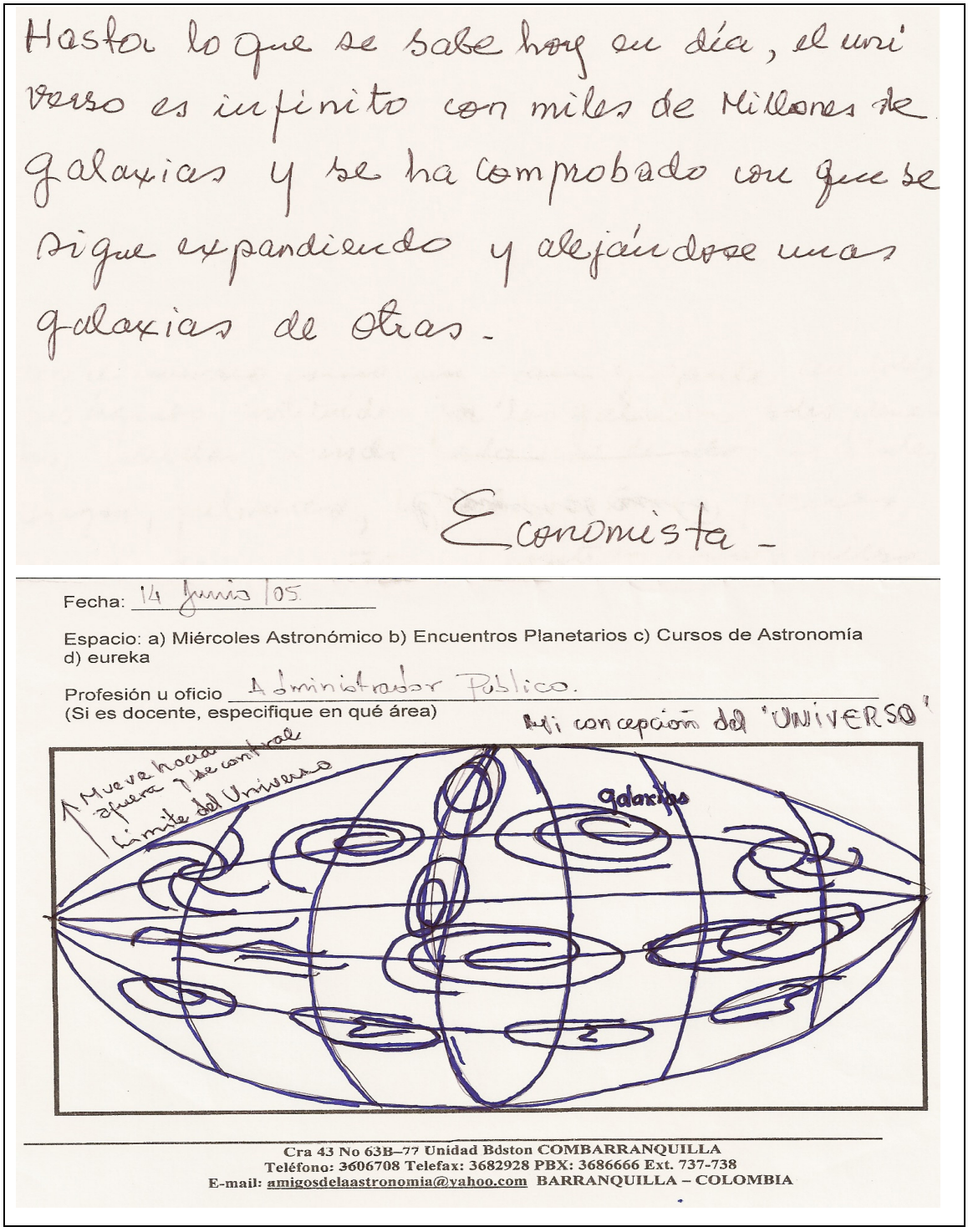


Figura 18 c. Universo acéntrico representaciones lingüística y pictórica. Grupob

En términos generales, podemos observar que los representadores asumen las galaxias como los bloques fundamentales del universo; aunque parece que toman en cuenta el movimiento de expansión al

señalar que las galaxias se alejan, no incluyen información adicional sobre éstas. Observamos que no todos los representadores tienen claridad sobre la finitud del universo aunque sea ilimitado. La representación del estudiante de periodismo cuya actividad extracurricular tiene mucha relación con la Astronomía y la Cosmología, revela un universo mayormente vacío en cuyo núcleo incluye el conglomerado de galaxias; en la entrevista posterior, el estudiante explica que el inmenso vacío tiene que ver con la magnitud de lo que desconocemos del cosmos.

Para Vergnaud(1996), todos los conceptos tienen un dominio restringido de validez que varía con la experiencia y el desarrollo cognitivo del sujeto. Lo que significa que la conceptualización de los sujetos de este grupo en torno al universo debe estar relacionada con mayores vivencias de conocimiento relacionadas con el tema. En entrevista posterior encontramos que no existe diferencia significativa entre los integrantes de los dos grupos referenciados en cuanto a sus experiencias y vivencias de conocimiento en temas relacionados con el cosmos, con excepción del estudiante de periodismo quien pertenece a un grupo de estudio e investigaciones relacionadas con el medio ambiente y el universo.

4.6.3. *El tercer grupo* está constituido por quienes además de asumir un universo acéntrico e innumerables galaxias como bloques fundamentales donde la Vía Láctea es una en la inmensidad del cosmos, dejan claro la homogeneidad de éste y establecen relaciones entre los constituyentes. Para ellos, el universo es ilimitado y algunos establecen relación entre los constituyentes de nuestra Galaxia (Ver figura 19a y 19b).

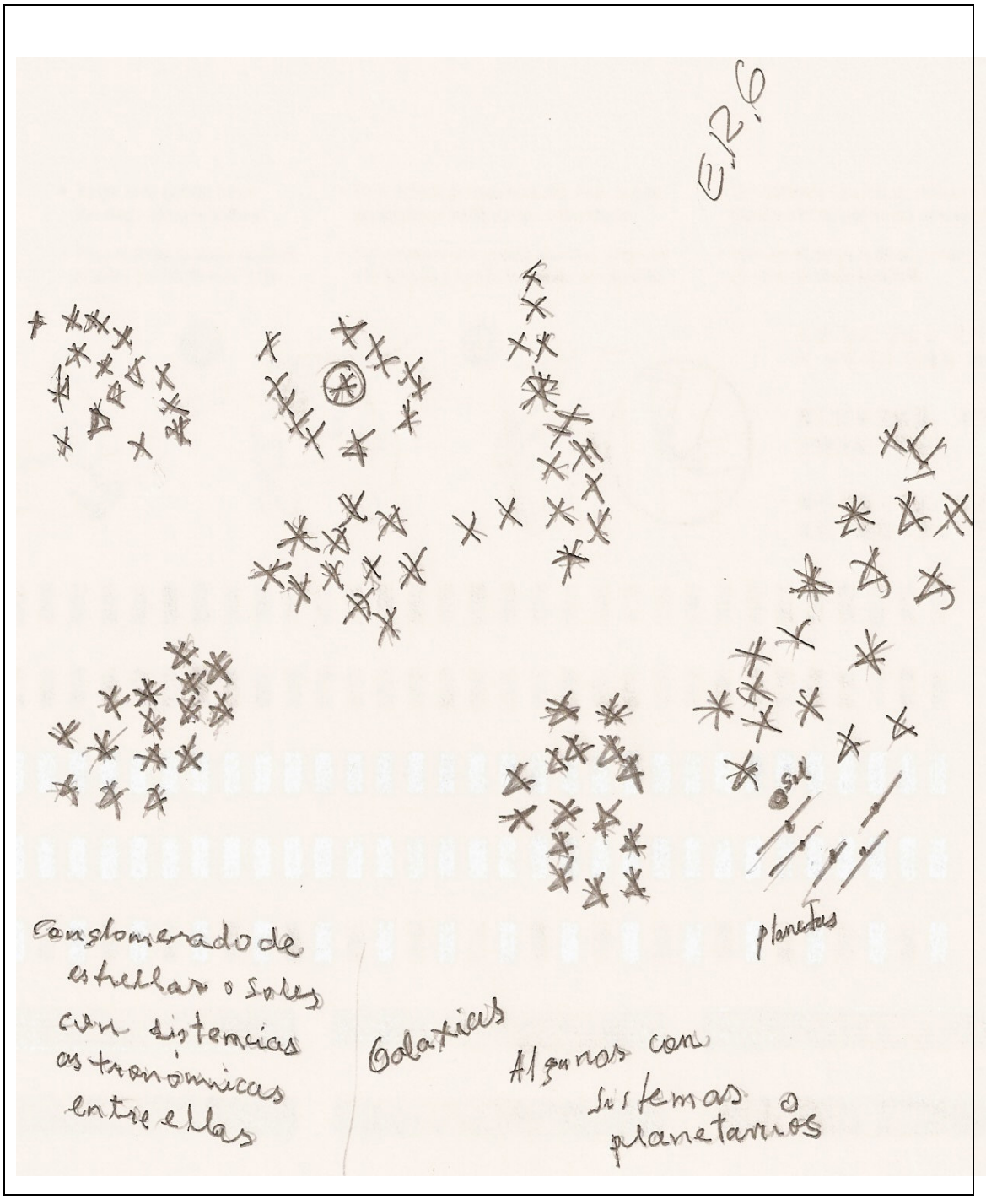


Figura 19a. Universo acéntrico. Tercer grupo

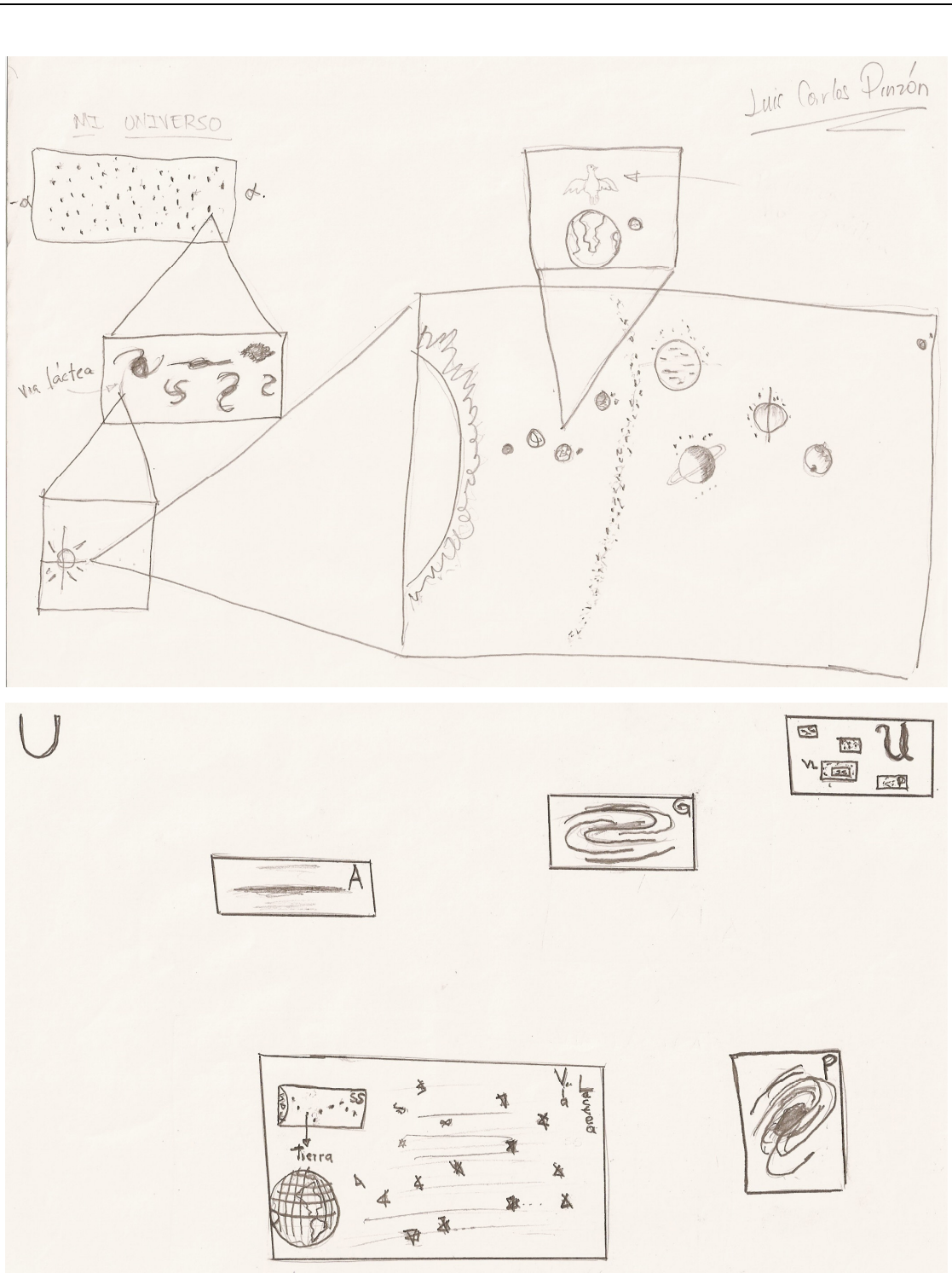


Figura 19b. Universo acéntrico. Representaciones pictóricas. Tercer grupo.

Transcripción.

"Analizando la palabra como tal "Universo" retomamos otra parecida "Diverso", la cual significa variedad, duplicidad... pero la palabra "Uni" indica único e irrepetible, un todo... expresión máxima de infinidad y coloquio. Nuestro planeta "Tierra" es apenas una diminuta parte en el titánico espacio que posee el Universo. No se si me equivoque en esta apreciación.

La Tierra se ubica en un sistema solar, este a su vez se encuentra en la Vía Láctea, que a su vez se localiza en una Galaxia....., el Universo tiene millonesde ellas.

Docente del área de inglés.

Cuadro 6.Universo acéntrico. Transcripción de la representación lingüística. Tercer grupo

Estudiantes, profesores de Ciencias Sociales, de Ciencias Naturales e Instructores del Planetario, conforman el espectro de saberes y de profesiones de los representadores del grupo c. Podemos observar, que además de asumir las galaxias como los bloques fundamentales del universo, establecen relaciones claras entre los elementos que las constituyen; aunque el número de elementos y relaciones varía, algunos de los representadores toman en cuenta no sólo la diversidad de formas y tamaños de las galaxias sino que hacen referencia al inmenso número de éstas. Tres de las seis representaciones son lingüísticas entre las que encontramos una que además referencia las condiciones que debe cumplir la cantidad de materia del universo para que éste no sufra una muerte térmica por

la expansión acelerada que últimamente se ha venido detectando con el estudio de Supernovas.

Tres de los miembros del grupo son instructores del Planetario, incluido su director científico; el profesor de Ciencias Sociales lidera un grupo de estudio e investigación sobre Astronomía en su institución educativa. La variedad de saberes y la afinidad en el oficio nos permite validar propiedades de los modelos mentales asumidas por Johnson-Laird(1983), Bruner(1987), Moreira(1999), J.I Pozo(2.001), como su dinamismo y su capacidad de evolucionar de acuerdo con el contexto físico y social donde se desenvuelve la persona.

5. A MANERA DE CONCLUSIÓN.

Es importante aclarar que para la investigadora, no "se identificaron modelos mentales", sino que se ha "inferido" que los representadores han construido modelos mentales cuando se enfrentaron a lo que ellos llamaron "*una situación nueva, extraña",* de tener que representar externamente su concepción de universo, aunque cabe la posibilidad que algunos representadores ya tenían en su mente una representación estable del universo, la cual han consignado en el papel. En este sentido y, teniendo en cuenta que las representaciones externas son reflejo de las internas, del análisis realizado a las representaciones externas de universos de la muestra indagada podemos hacer los siguientes juicios de valor y conocimiento:

- Éstas responden a las propiedades asumidas por Johnson-Laird para los modelos mentales: son idiosincrásicos están constituidos por primitivos conceptuales y/o "*tokens*", organizados en una cierta estructura que posibilita expresar y explorar qué conoce el individuo y cómo; no son exactos ni precisos, lo que quiere decir que contienen errores y contradicciones.

- Han sido estructurados desde un contexto que escapa a las aulas de clases; esto es, las informaciones recibidas a través de los medios de comnunicación y/o de las experiencias y vivencias propias del trabajo, oficio o entretenimiento, del representador han aportado más elementos para su estructuración que la educación recibida a lo largo de su formación.

- Las categorías fueron definidas en términos de los elementos y relaciones entre éstos establecidas, lo que significa que las representaciones de las últimas categorías contienen mayor número de elementos y relaciones válidas desde el referente que las teorías cosmológicas recientes han aportado.

- No pudimos evidenciar una diferencia significativa entre las Representaciones de los Universos que hicieron los integrantes de la muestra a pesar de las notables diferencias en su formación profesional y/o nivel de educación recibida, confirmando lo que encontramos en la primera etapa de nuestra investigación.

Si para Giere(1998, 1999), la ciencia es una forma de construir modelos que representan parte del mundo que conocemos, entonces éstos desvelan el nivel conceptual del individuo relativo a algún tema en particular, lo que quiere decir que deberíamos haber encontrado diferencia significativa entre las representaciones dado que ellas son espejo y reflejo del nivel conceptual de sus representaciones, argumento que ya se ha mencionado bastante fundamentado en la teoría de Johnson-Laird y Gérard Vergnaud.

Los resultados de la investigación nos coloca en la necesidad de encontrar argumentos que los justifiquen, pues siendo un estudio interpretativo no podemos asumir éstos simplemente como una

contradicción a los conceptos científicamente establecidos desde las teorías representacionales, en particular la teoría de los modelos mentales de Johnson-Laird.

Desde nuestra óptica, la poca relación encontrada entre la formación profesional y las representaciones de los universos de quienes supuestamente tienen formación científica y se desempeñan profesionalmente en esta área del saber, puede ser entendida desde los siguientes argumentos:

- Es un indicio, como ya lo expresamos, de la escasa incidencia que la educación formal ha tenido en las representaciones mentales que sobre el universo manejan los individuos, quizá porque ni la Física Contemporánea ni la Cosmología hacen parte de los currículos que fundamentan la formación de los profesionales; o, quizá porque a pesar de ser tratados algunos temas relativos a estas ciencias ellos no se integran a la estructura conceptual de los individuos y por lo mismo no revelan un dominio mínimamente adecuado del campo conceptual correspondiente.

- Es una muestra de cómo los modelos mentales del universo que cada individuo construye, responden más a las representaciones sociales[11] que manejan sobre el tema en cuestión los "Universos consensuados" a que pertenece cada miembro de la muestra.

[11] Para Denise Jodelet(1986), las representaciones sociales se presentan en diversas formas más o menos complejas. Imágenes que condensan un conjunto de significados; sistemas de referencia que nos permiten interpretar lo que sucede e incluso, dar sentido a lo inesperado; categorías que sirven para clasificar las circunstancias, los fenómenos y a los individuos con quienes tenemos algo que ver; teorías que permiten establecer hechos sobre ellos. Y, a menudo, cuando se les comprende dentro de la realidad concreta de nuestra vida social, las representaciones sociales son todo ello junto.

- El Universo, como se demostró en la investigación anterior[12], no forma parte del bagaje científico con que egresan los estudiantes de los diferentes niveles de la educación; tampoco del cúmulo de conocimientos que se exige a los profesionales para ser considerados idóneos; esto es, parece que la culturización científica exigida no considera la importante tener "*información necesaria sobre el Cosmos si queremos asegurar nuestro futuro*" tal y como lo expresa Sagan(1987).

- Sólo el 7% de los 75 sujetos que participaron en la indagación elaboraron representaciones del universo científicamente coherentes e incluyeron en éstas elementos y relaciones de mucho sentido respecto a las teorías cosmológicas recientes. Los integrantes de este grupo tienen en común su relación estrecha con la Astronomía a través de su ejercicio profesional en el Planetario o en las actividades que desarrollan en sus respectivas instituciones, lo que nos lleva a confirmar que los universos más coherentes desde el punto de vista científico no son producto de la educación formal. En posteriores conversaciones los autores de las representaciones nos han confirmado que éstas han sido estructuradas y reestructuradas en términos de lo que les deja la indagación permanente sobre los temas de Astronomía, Cosmología, Astrofísica, etc, que ser instructores del Planetario les exige. Otro integrante del grupo expresó que lo que sabe sobre el universo lo debe a la Internet y la TV.

Las categorías establecidas, como ya explicamos, tienen que ver con la mayor o menor coherencia que tienen con los modelos cosmológicos científicamente válidos. Creemos que nuestra investigación plantea un interrogante de fondo cuando hemos

[12] Larios de Rodríguez, Caballero y Moreira(2.004). Exploración, análisis y caracterización de las representaciones mentales que tienen los docentes de ciencias sobre el universo y los modelos cosmológicos que lo explican. Tesina. Burgos.

encontrado que las representaciones más completas desde el punto de vista de los elementos incluidos y las relaciones que entre ellos han establecido, no son exclusivas de quienes desde la educación formal tienen un acerbo científico que les posibilita información científica más general y coherente con las leyes y principios que subyacen detrás de los modelos; por el contrario, profesionales cuya formación científica está en relación con la Física y las Ciencias Naturales, han representado universos cuyas características los colocan en grupos de menor desarrollo.

Salta a la vista otro elemento al relacionar las diferentes categorías establecidas; o mejor, otro interrogante al que debemos buscar respuestas: ¿podríamos afirmar que detrás de los modelos de universos de los integrantes de la categoría 4.6.3 existe una ecología conceptual cuya estructura es coherente con los conceptos científicamente establecidos?. Con base en Johnson-Laird, las representaciones mentales de quienes han representado el universo de forma más coherente con las teorías cosmológicas científicamente válidas, de acuerdo con los elementos incluidos y las relaciones entre éstos establecidas, poseen un campo semántico o conjunto de elementos básicos o "*tokens"* debidamente estructurados mediante los cuales los representadores han podido construir sus modelos y hacer explicaciones y/o predicciones. La aplicación de la estrategia metodológica nos dará elementos para responder a esta cuestión.

Desde los autores que fundamentan la investigación, la ecología conceptual de los individuos incide en la formación de sus esquemas y modelos mentales que se reflejan en sus representaciones externas y en la evolución–enriquecimiento de los mismos. Al no encontrar diferencia significativa entre las representaciones de los universos de quienes han sido formados al temple de las llamadas "Ciencias Duras" y los universos de aquellos cuya formación no los

puso en contacto con teorías y principios de la Física Moderna y Contemporánea y/o de la Cosmología, debemos *suponer que es en la evolución-enriquecimiento de esos esqemas y modelos donde la ecología conceptual influye,* lo que debemos confirmar con la aplicación de la estrategia metodológica que hemos estructurado basados en la teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird y de los Campos Conceptuales de Gérard Vergnaud, proceso que constituye la última parte de la presente investigación y plasmamos en el próximo capítulo.

En este momento el universo parece
ser un campo de batalla donde predomina
la fuerza gravitacional repulsiva

Ostriker y Steinhardt(2.001)

CAPÍTULO III

APLICACIÓN DE UNA ESTRATEGIA METODOLÓGICA PARA PROMOVER EVOLUCIÓN EN LAS REPRESENTACIONES MENTALES QUE TIENEN DOCENTES SOBRE EL UNIVERSO Y LOS MODELOS COSMOLÓGICOS QUE LO EXPLICAN"

1. INTRODUCCIÓN

El contenido de esta última parte de la investigación tiene que ver con los resultados de la implementación de la estrategia metodológica, cuyas características fueron detalladas en el capítulo uno; es un análisis del desarrollo-evolución-transformación que han tenido las representaciones mentales de los sujetos de la muestra, considerados como sujetos en acción, por la aplicación de la estrategia diseñada con base en la teoría de los modelos mentales y de los campos conceptuales.

En el análisis de los datos recogidos a lo largo del proceso no sólo hemos considerado el conocimiento estructural del sujeto sino el conocimiento procesual (conocimiento en acción a la luz de Vergnaud), el cual queda al descubierto cuando se coloca al individuo en la necesidad de dar explicaciones sobre alguna situación y/o resolver problemas específicos. En este sentido, en un proceso de largo aliento (Agosto de 2.004-Abril de 2.006) hemos tenido en cuenta que lo que debe ser analizado es la evolución de las concepciones y prácticas de los individuos al enfrentarlos a una variedad de situaciones.

En el marco del referente conceptual asumido se privilegió la interacción de los miembros del grupo entre si y con el conductor de la estrategia no sólo en la búsqueda de explicaciones a situaciones y/o problemas, sino en las actividades de indagación teniendo en cuenta que para Vergnaud(1996), en el proceso de conceptualización, previo al establecimiento de un esquema, pueden

intervenir factores externos como la interacción social con los pares o el docente, la obtención de información desde otras fuentes, experiencias piloto…. que enriquecen progresivamente los Invariantes-Operatorios y los acerca al conocimiento científico explícito.

Puesto que el objetivo del proceso implementado fue indagar qué tanto evolucionan, se transforman, las representaciones mentales de los sujetos al colocarlos en la necesidad de resolver, dar explicación a problemas y situaciones a las que se les enfrentó, desde las teorías que sustentaron el proceso de investigación asumimos que si lográbamos evidenciar "alguna evolución- transformación-enriquecimiento" en las representaciones externas de los universos, por la aplicación de la estrategia metodológica, entonces estábamos frente a los modelos mentales de Johnson-Laird con todas las características definidas para éstos; pero si a pesar de la intervención, los modelos identificados no presentaban "transformación evidente", entonces puede ser que estuviésemos frente a los esquemas conceptuales de Vergnaud o como Greca y Moreira(2,003) opinan, estaríamos frente a las dos cosas, de tal manera que ante una nueva situación los individuos "echan mano" o construyen, razonan, trabajan, infieren, con modelos mentales los cuales, al resultarles útiles en diversas situaciones, quedan guardados en parte o totalmente en la memoria de largo plazo acrecentando el bagaje de conocimientos y convirtiéndose en esquemas de asimilación o invariantes operatorios a la luz de Vergnaud.

Al establecer puntos de encuentro entre los modelos mentales de Johnson-Laird y los esquemas conceptuales de Vergnaud, Moreira(2.004), opina como ya expresamos, que los modelos mentales actúan frente a una nueva situación mientras que los

esquemas responden a patrones comunes a través de invariantes, evocándose frente a situaciones similares, lo que les dota de estabilidad. Para Vergnaud(1987), las situaciones similares activan esquemas que, como tales, constituyen concepciones estables.

Hemos de anotar, que aunque Vergnaud(1990), asume para los esquemas de asimilación la capacidad de enriquecimiento, transformación a través de resolución de problemas, tareas, situaciones de diversa índole, en procesos de largo aliento, desde nuestra postura y nuestro proceso investigativo nos inclinamos a pensar que el enriquecimiento-evolución que pudiésemos detectar en las representaciones de los universos a lo largo del proceso, deben responder más a modelos mentales situados en la memoria de trabajo; aseveración que hacemos en virtud de la estabilidad que la psicología cognitiva le reconoce al conocimiento guardado en la memoria de largo plazo; lo que implica que necesitaríamos mucho más tiempo y mayor variedad de situaciones y eventos para lograr alguna transformación evidente en los esquemas conceptuales de Vergnaud o los esquemas de Piaget, los subsumidores de Ausubel o los constructos personales de Kelly, cuyas perspectivas teóricas han propuesto para éstos, similares propiedades. En este sentido, hemos anotado en el referente conceptual "el fracaso" que la historia le otorga a las investigaciones educativas que buscaron "erradicar", "cambiar", las ideas previas o preconcepciones por el conocimiento científicamente válido a través de procesos cuya duración en el tiempo y variedad de situaciones y problemas no fueron suficientes, no lo hicieron posible.

Frente a los resultados encontrados en la primera parte de la investigación hemos asumido con Johnson-Laird(1983), que las representaciones de los universos revelan *modelos mentales inestables, incompletos, descartables y localizados en la memoria de*

trabajo; sin embargo, desde la óptica de Vergnaud(1993), no podemos descartar la posibilidad de estar *frente a esquemas conceptuales situados en la memoria de largo plazo,*que contribuirían de alguna forma en la construcción de modelos mentales. Según Greca y Moreira (2.003), los modelos mentales pueden contener invariantes operatorios de esquemas que no han funcionado frente a nuevas situaciones.

¿Cómo saberlo?.

El mismo Vergnaud (op. cit., pp12), al establecer diferencia entre las situaciones a las que se enfrentan los sujetos también establece diferencia en su comportamiento de acuerdo con el mayor o menor grado de dominio conceptual que tenga frente a un tema o situación. Estuvimos alertas a este comportamiento. Pues consideramos que lo *esencial de la estrategia metodológica aplicada es la transformación de las concepciones y prácticas de los individuos, elementos detectables en buena medida a través de lo que éstos expresan en sus representaciones lingüísticas o pictóricas y en el comportamiento y lenguaje utilizado en las socializaciones*.

En ese sentido, nos planteamos doble reto; en principio llegar a conocer el grado de comprensión que sobre el universo tienen los docentes y posteriormente, encontrar la forma de acercarlos a una mayor aprehensión de los modelos cosmológicos científicamente aceptados mediante la aplicación de una estrategia que tomó como referente la teoría de los modelos mentales de Johnson-Laird, la teoría de los campos conceptuales de Gérard Vergnaud y las teorías cosmológicas recientes.

En el presente capítulo presentamos los resultados del desarrollo-evolución-transformación que han tenido las representaciones

mentales de los sujetos de la muestra, considerados como sujetos en acción, mediante la aplicación de la estrategia ya referenciada.

2. **LA MUESTRA**

La constituyen un grupo de docentes que se vincularon al proceso voluntariamente tras convocatoria dirigida tanto a quienes participaron en el primero y segundo grupo de la investigación como a quienes quisieran vincularse pues no era excluyente el hecho de no haber realizado las representaciones de los universos, así que en esta muestra participan personas que no habían formado parte de los grupos anteriores. Hemos de añadir que la convocatoria se hizo por escrito y verbalmente en los diferentes espacios académicos del Planetario; se les explicó el propósito del trabajo y el proceso sistemático que se desarrollaría con el objeto de alcanzar las metas propuestas.

Un total de 10 profesores y dos estudiantes respondieron a la convocatoria; siete pertenecen al primer grupo, ninguno del segundo grupo y los cinco restantes se vincularon por invitación del coordinador del Planetario[13]; con ellos realizamos el primer encuentro donde planeamos el trabajo a realizar, convinimos la frecuencia de los siguientes encuentros e hicimos algunos compromisos en cuanto a la disciplina de estudio e investigación. Después de algunas consideraciones relativas al trabajo de cada uno de los asistentes, acordamos que cada tres semanas nos reuniríamos en sesiones de tres horas o más de acuerdo con las circunstancias.

[13] En el primer encuentro a estos sujetos se les solicitó plasmar en una hoja de papel su imagen del universo, aclarándoles que ésta podría hacerse con frases, proposiciones, a través de dibujos o por combinación de las dos.

Los siete integrantes del primer grupo vinculados a este proceso son docentes de primaria y secundaria de instituciones educativas de la ciudad de Barranquilla de carácter público y privado que ya venían trabajando desde el año 2.004. Las instituciones a las que se encuentran vinculados son de calendario A y B, lo que significa que el inicio y finalización del período escolar no coincide para todos. Uno de los docentes es profesor de una institución educativa municipal. Los dos estudiantes vinculados (ocasionalmente), uno es de periodismo y otra estudia Licenciatura en Matemáticas y Física; el resto son profesores de diferentes áreas del conocimiento; encontramos Licenciados en Ciencias Sociales, Filósofos, Periodista y Licenciados en Matemáticas y Física. Todos los profesionales tienen una experiencia docente que sobrepasa los diez años.

3. **APLICACIÓN DE LA ESTRATEGIA**

La secuencia de las etapas no fue lineal. Su aplicación estuvo condicionada por diferentes circunstancias, especialmente por la disponibilidad de tiempo de los profesores del grupo y sus aportes. Entendemos el hecho que el ejercicio profesional de los docentes condicionara nuestros encuentros y marcara el ritmo de trabajo; asistir al grupo implicaba para ellos trabajo extra, por lo que consideramos apenas natural que al conocer la dinámica del proceso algunos integrantes se retiraran, así que señalamos como un gran logro haber mantenido un promedio de 5 individuos comprometidos[14] en una dinámica de trabajo "extracurricular" que les ha venido exigiendo lectura permanente, tareas por cumplir, situaciones que resolver, asistencia a eventos, reuniones en jornada adicional, lo cual interpretamos como una muestra del

[14] Para Miles y Huberman(1994), la muestra en los estudios cualitativos por lo general no está preespecificada sino que puede evolucionar una vez comenzado el trabajo de campo.

convencimiento que tiene cada uno de estos docentes sobre la necesidad de autoformación y perfeccionamiento.

Los integrantes del grupo serán identificados con las siguientes letras: AF; JC; JG; RG y OM.

Entre Agosto de 2.004 y Abril de 2.006, hemos realizado 17 encuentros donde además de los 5 docentes aludidos han participado otros cuya intermitencia en el trabajo no permite incluir sus aportes como insumo de la presente investigación. Hemos de anotar que era preciso que los miembros del grupo participaran en la totalidad de los encuentros (consideramos que el 90% de los encuentros); por lo tanto, aunque varios integrantes del grupo participaron en un gran porcentaje del proceso, su intermitencia en éste no nos permitió acopiar suficiente material de análisis para involucrarlos como sujetos en la aplicación de la estrategia metodológica planeada.

A lo largo de los 17 encuentros se desarrolló la estrategia metodológica cuyos componentes presentamos a continuación:

3.1 **- DINÁMICA DEL TRABAJO**

3.1.1. **ANÁLISIS CRÍTICO** *sobre los elementos conceptuales y las relaciones incluidas en las representaciones externas del universo que los integrantes de la muestra elaboraron.*

3.1.1.1– ACCIÓN:

A cada persona se le devolvió la representación externa de universo que había elaborado (considerada para efectos de análisis su

primera representación) y se le solicitó complementarla agregándole o quitándole elementos o hacer una nueva representación, lingüística o pictórica, si la inicial no le satisfacía (considerada para efectos de análisis la segunda representación), exponiendo-sustentando los argumentos en torno a la modificación realizada.

La mirada crítica que cada uno de los miembros del grupo hizo a su representación del universo estuvo permeada por el referente teórico que les dejó la lectura del primer documento entregado con el propósito de iniciar el *enriquecimiento conceptual* pertinente; documento al que llamamos "Modelos Cosmológicos a través de la Historia" (anexo 1).

3.1.1.2– JUSTIFICACIÓN:

Desde las teorías representacionales que iluminan la estrategia metodológica suponemos que la presentación de un modelo conceptual es una ayuda para que el individuo organice e integre nuevo conocimiento; y la necesidad de socializar, sustentar la representación que han realizado, es un mecanismo que les obliga a generar otros recursos que incluidos en la representación inicial conduce a reajustes de mayor coherencia y funcionalidad.

Esta actividad nos permitió aproximarnos un poco más a las teorías e hipótesis que manejan los integrantes de la muestra, a ese referente conceptual que hay detrás de cada una de las representaciones externas de los universos; la socialización les exigió poner de manifiesto tanto la emotividad del sujeto para exponer sus argumentos como la validez científica de éstos, elementos que nos proporcionan los primeros indicios de enriquecimiento y/o evolución conceptual.

Recordemos que, para Johnson-Laird (1983, pp. 430), cuando el sujeto entiende, aunque a su modo, un sistema físico o un fenómeno natural significa que puede elaborar un modelo mental del sistema que le permite explicarlo y hacer predicciones respecto a él; y, para Vergnaud, los razonamientos e inferencias realizadas están relacionadas con los invariantes operatorios que tiene el sujeto; en este sentido vislumbramos estrecha relación entre el papel que juegan los elementos incluidos en la representación y los conceptos traídos a colación, en la resolución de situaciones problémicas y el papel de la resolución en la construcción de conceptos.

Esta primera acción constituyó un proceso lento que ocupó mucho más de los cuatro encuentros previstos para ello. Un proceso exigente para la investigadora quien debió "entender" que lo que cada individuo está expresando (errado, sin sentido, fraccionado, fuera de foco o quizá muy atinado), revela lo que tiene en su mente sobre el tema y que esto es, precisamente, lo que se está explorando.

3.1.1.3- ¿QUÉ ENCONTRAMOS?.

Por no contar con todos los modelos de universos a pesar de que los representadores mostraron disposición para elaborar la "nueva representación", tres de los cinco miembros del grupo a pesar de haber participado en las diferentes sesiones de trabajo no entregaron su nuevo modelo.

A continuación presentamos el análisis comparativo realizado a las nuevas representaciones externas del universo realizadas por los profesores JC y JG, las cuales se muestran en los cuadros 7, 8 y 9, respectivamente. En cuanto al resto de docentes del grupo, presentamos un análisis del posible avance en su conceptualización

basado en la exposición realizada por ellos en las sesiones de encuentro, recogidas en el cuaderno de apuntes de la investigadora.

Caso 1: Profesor JC.

Análisis comparativo.

Transcripción de la primera representación del universo elaborada por el profesor JC

El universo es el descubrimiento de sí mismo, En los Demás. Es la Existencia pasajera de la vida, De mundos, vivencias, que coincide con el Cosmo De los demás. Conclusión, no podemos existir sin el otro, somos viajeros del espacio y el tiempo en un mundo que llamamos Nuestro Universo y Que necesariamente compartimos con los demás para no morirnos de tristeza y Soledad.

Qué es el universo?

Estas ideas nacen de todos lo que nos Rodea o Existe (Filosófico), que se hace científico con el conjunto de astros

Cuadro 7. transcripción de la primera representación lingüística de JC

Segundas representaciones. También lingüísticas. Hacemos su transcripción:

1. Comparación del universo Inicial con el Universo (posterior) Después de implementarme el Modelo Cosmológico

-El universo inicial predominó la subjetividad-existencialismo práctico "de todo lo que nos rodea".

Posteriormente, El Universo Cosmológico me aportó elementos científicos-Empíricos-Analíticos que me hizo reflexionar sobre un Universo que se transforma-se dinamiza- a partir de un Caos-orden-desorden cósmico capaz de ser interpretado pues los modelos cosmológicos-Dinámicos del Hombre (saberes).

2. Modelo Cosmológico

Qué es el universo?
Científico.
Es un sistema o conjunto de astros, cuerpos que dependen de un orden o desorden en permanente contradicción (leyes de la Naturaleza). Que lo hace –entendible y a veces complejo al saber humano (reflexivo-preguntas. . . .incertidumbre)

Poético-Existencialista
"Es todo lo que nos rodea" cual es tu universo?, Cómo es tu universo? Que nos recuerde el lugar donde vivimos-lo que nos rodea.

Filosófico.
"Es todo lo que existe" - El origen de los (elementos de la naturaleza)

Cuadro 8. Segundas representaciones del universo realizadas por el profesor JC

COMENTARIOS.

El profesor JC, es licenciado en Ciencias Sociales; se desempeña como profesor de Historia, Filosofía y Geografía en una institución educativa de carácter municipal donde lidera un grupo de investigación que pretende curricularizar procesos y temas no contenidos en los planes de estudio; entre esos temas ha venido promoviendo el conocimiento del universo desde la Filosofía en grados décimo y undécimo y desde las Ciencias Sociales del quinto y sexto. Es un docente inquieto, locuaz, preocupado por prepararse y dar más a sus estudiantes, comprometido con la calidad de los procesos que se implementan en la Institución donde trabaja.

Las representaciones son lingüísticas. En la primera asume un universo subjetivo que tiene que ver con vida, vivencias, existencia, relaciones con el otro (ver cuadro 7). En su intervención para el análisis de las representaciones, el profesor conceptuó que en su primera representación predominó "*un existencialismo práctico de todo lo que nos rodea".* En este segundo momento el docente elaboró dos representaciones lingüísticas (ver cuadro 8). Vistas en conjunto, podemos leer en ellas expresiones que insinúan algún

avance; avance que vislumbramos por cuanto ha involucrado en su lenguaje términos científicos ausentes en su primera representación. El "*Universo Cosmológico" del profesor se transforma a partir de un "caos- orden-desorden cósmico*". En la socialización de su "segunda versión del universo" el docente expresa que "*el texto entregado ha sido de gran ayuda para él visionar cómo es posible conectar el estudio de los filósofos de la Grecia Antigua con el estudio del proceso que a lo largo de la historia ha permitido estructurar modelos del universo; se ha dado cuenta que Cosmología y Filosofía tienen muchos puntos de encuentro*".

El profesor expresa con mucha energía y convicción que "*existen universos subjetivos, universos científicos, universos sociales…*". Al respecto nos aventuramos a suponer con Moreira (2.000), que ellos coexisten en la estructura mental del docente saliendo a luz de acuerdo con las circunstancias y situaciones a las que haya de dar explicación. El mismo autor señala que al enfrentarnos a una nueva situación construimos un modelo mental para entenderla, describirla y prever lo que va a suceder; este modelo puede ser correcto o no desde la perspectiva que sus previsiones sean o no científicamente válidas; entonces, continúa el autor mencionado, el modelo puede ser vago, confuso, incompleto, pero ante todo es funcional para su constructor y puede ser modificado recursivamente hasta alcanzar dicha funcionalidad.

Teniendo en cuenta que la representación de JC está ubicada en la primera categoría, que el discurso que maneja hace parte del léxico de las Ciencias Sociales, que su contacto con las teorías y principios propios de la Física fue en el bachillerato que cursó, que las teorías científicas modernas y contemporáneas no han sido para él material de estudio, que *el contexto donde labora está impregnado de apatía*

y escepticismo frente al estudio y la investigación[15], consideramos muy importante hacer un seguimiento cercano al proceso evolutivo de sus representaciones por la acción de la estrategia metodológica aplicada.

Caso 2. Profesor JG.

Representación externas de universo realizadas por JG.

1. Mi imagen del universo

Considero que el universo es inmenso. Tiene un origen.
Todavía hay muchas estructuras que no conocemos a plenitud y muchos interrogantes como:
¿Quién lo creo?
¿Tendrá fin?
¿Se seguirá expandiendo infinitamente?
¿Qué es la materia oscura?
¿Hasta donde lo exploraremos?
¿Está poblado de vida fuera de la tierra?.
¿Existen universos paralelos?
Conocemos algo del sistema solar, pero del universo existen muchos interrogantes, lo que no es impedimento para maravillarse de él.

2. .Naturalmente me imagino el universo formado por infinidad de galaxias que están alejándose unas de otras. Este universo tuvo un principio pero no sé si tendrá un fin.
Así mismo, no tengo un modelo de qué forma tendrá el universo si es curvo o plano.
El universo es dinámico y se transforma completamente dentro de un orden.

Cuadro 9. Primera y segunda representación externa del universo del profesor

[15] De acuerdo con las opiniones del profesor JC

COMENTARIOS

El profesor JG, es Licenciado en Biología y Química, docente de una institución dedicada a la formación de sordomudos; es aficionado a la Astronomía; en su institución educativa se desempeña como profesor de Ciencias Naturales en la básica secundaria. Es un docente serio, disciplinado, estudioso; sus intervenciones fueron escasas, cortas pero relacionadas con el tema tratado; es el docente que más evidencias aportó en relación a las tareas y situaciones que tuvo que resolver, lo cual nos permite caracterizarlo como un docente preocupado por cumplir con los compromisos pactados.

Sus dos representaciones son lingüísticas (ver cuadro 9); hecho que él mismo relacionó con la limitada habilidad que tiene para elaborar representaciones pictóricas. La primera contiene una serie de preguntas vinculadas a los más recientes avances en Cosmología las cuales, según expresó el docente, "*han surgido a través del interés creciente que por la Astronomía ha despertado su asistencia a los diferentes espacios que ofrece el Planetario; siguen siendo válidas y está interesado por hallar sus respuestas".*

La segunda representación contiene frases que expresan el modelo del universo que maneja incluyendo en éste elementos y relaciones científicamente válidas. El docente define los constituyentes básicos del universo, habla de su origen y expansión y hace referencia a la geometría del universo. Al socializar su "nuevo modelo del universo" utiliza expresiones coherentes y pertinentes. Sus compañeros reconocen que hubo avances en la estructuración del modelo y hacen referencia a la claridad de su exposición. Frente a las dos representaciones de JG, podemos hacernos las siguientes preguntas cuyas respuestas esperamos hallar en el desarrollo subsiguiente de nuestra investigación: ¿La primera representación fue hecha para

salir del compromiso de representar algo, en el sentido de no recrear en ella el conocimiento que tenía sobre el universo? O podemos pensar que, ¿tras el avance que muestra la segunda representación hubo avances en el referente teórico que debe acompañar su modelo?; ¿la claridad de su vocabulario refleja claridad conceptual?. Respuestas que dejamos en suspenso para etapas posteriores de la estrategia.

Caso 3. Profesor RG

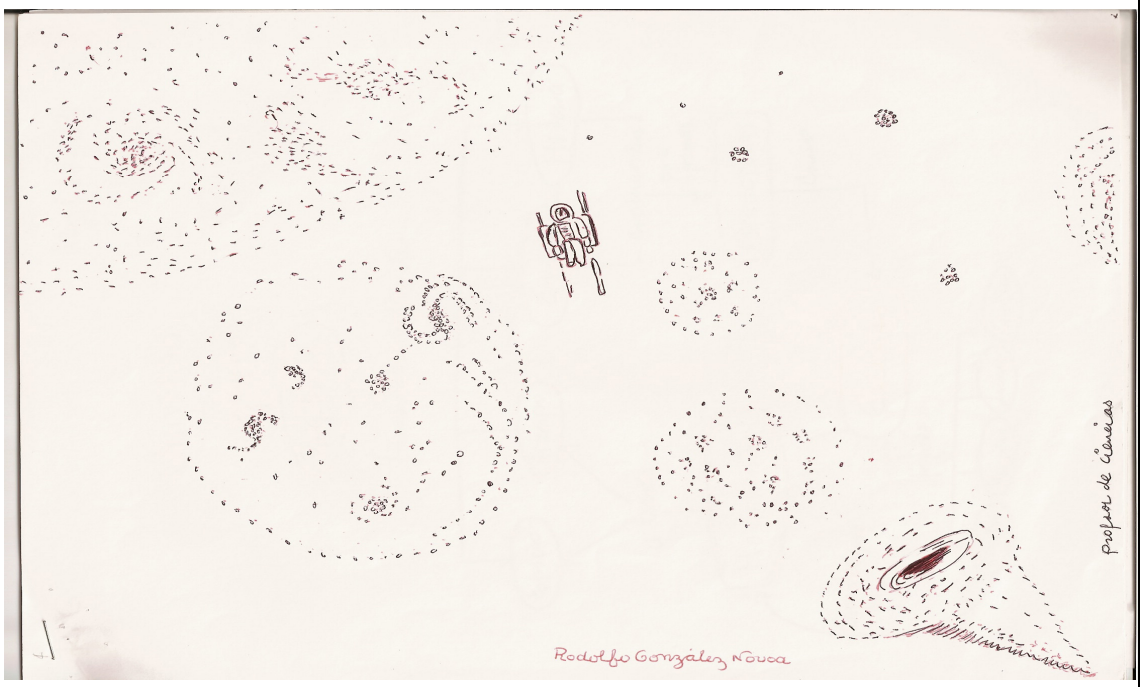


Figura 20. Primera representación del universo del profesor RG.

COMENTARIOS.

El profesor RG, es Licenciado en Biología y Química, es docente de una Institución Educativa de carácter privado, calendario B(el año inicia en Septiembre y termina en Junio), donde se le brinda buen ambiente para el estudio y la investigación; cuenta con materiales y espacios para actividades extracurriculares, coordina un grupo de estudios llamado "Semillero de Ciencias". Participa de las actividades del Planetario como conferencista y/o como asistente en los espacios dedicados a la ciencia. Se desempeña como profesor de la básica

primaria. Ha elaborado un texto de divulgación que se llama "Perronautas" donde describe con sencillez y claridad los distintos proyectos rusos que fueron tripulados por animales y que precedieron los vuelos tripulados por el hombre, los aciertos y los fracasos de éstos. El profesor es un joven estructurado, serio, estudioso, convencido de la necesidad de permanecer al día respecto a los avances de la ciencia, es analítico, cuida que sus intervenciones sean atinadas, por ello es muchas veces parco.

El pequeño esbozo de la actividad del docente relacionada con la Astronomía y la Cosmología nos da elementos para asumir que su representación del universo está más en concordancia con sus actividades extracurriculares que con su formación profesional; es decir, su representación ha sido estructurada en términos de sus lecturas y actividades de indagación respecto a la temática descrita. Su representación externa del universo, aunque contiene algunas apreciaciones científicamente erróneas, se ubicó en la categoría 4.6.2. En su exposición admite: "*reconozco que quedaron algunos elementos que no consideré aunque los tenía en la mente y que hay errores en mi representación"*. Su intervención nos proporcionó más elementos con los que pudimos confirmar que su representación mental del universo contiene elementos y relaciones científicamente coherentes desde las teorías cosmológicas recientemente desarrolladas. Nos queda indagar si el docente tiene una apropiación real del bagaje científico que debe fundamentar su representación, lo cual se irá manifestando a través de las situaciones que deberá resolver.

Caso 4. Profesor AF

Este docente es uno de los profesores invitados por el profesor OM y el único que ha permanecido en el grupo desde que se vinculó al proceso a inicios del año 2.005. Es licenciado en Ciencias Sociales,

labora en una institución educativa de carácter oficial. Coordina un grupo de estudios en Astronomía conformado por 10 – 12 jóvenes de la básica secundaria. Serio, estudioso, cuidadoso en las expresiones que usa para comunicar sus ideas, claro en sus intervenciones, instruido en temas que no son de su formación profesional lo que denota a un lector asiduo.

COMENTARIOS

La representación del profesor es lingüística, como muestra el cuadro 10, donde hemos digitado la representación entregada por AF, elemento que valoramos a la luz de Johnson-Laird (1996, pp. 114.), cuando expresa que es perfectamente posible el raciocinio sin incluir imágenes[16]. Este representador incluye una serie de elementos de la ciencia de frontera que revelan el nivel conceptual del representador o por lo menos el nivel de información respecto a los avances en Cosmología; hace referencia, por ejemplo, a la velocidad creciente con que se expande el universo y a la posibilidad de vida en otros mundos. Esperamos acopiar elementos que nos digan si la ecología conceptual del docente sobre el tema indagado fundamenta su representación.

Para los propósitos de nuestra investigación, es importante clarificar este punto pues ya hemos expresado que la formación profesional del docente es en el área de Ciencias Sociales.

[16] Aunque somos conscientes que no puede descartarse la existencia de imágenes en la representación mental del sujeto aunque su representación externa del universo no haya sido pictórica

La imagen que tengo del universo es la de una realidad enorme en cantidad de materia y energía inmensa que se expande al parecer de manera cada vez más veloz lo cual puede hacer pensar que hacia el futuro los grandes componentes (galaxias y conjuntos de galaxias) se separarán al igual que los elementos constitutivos más pequeños hasta el punto de generarse una muerte térmica siempre y cuando no se descubran hechos o realidades (mayor cantidad de materia) que puedan revertir esta tendencia. Sin embargo, es tan grande y compleja la totalidad de lo existente y es tan poco conocida por el hombre que no es descartable que formas de existencia inimaginadas aparezcan como mundos viables tan diferentes a lo que hemos ido "conociendo"

Profesor
Ciencias Sociales

Cuadro 10. Primera representación del universo del profesor AF

De acuerdo con la información que los docentes proporcionaron sobre el currículo que sustentó su formación, fué poca o nula la oportunidad que se les dió de tener contacto con teorías relacionadas con Astronomía, Cosmología o ciencias afines; mucho menos con las teorías de la Física Moderna y Contemporánea, lo que nos posibilitó inferir que poca o ninguna información relativa a estas ciencias hacía parte del bagaje conceptual de los profesionales licenciados en ciencias sociales.

Caso 5. Profesor OM

El profesor OM, es licenciado en Matemáticas y Física; actualmente cursa una especialización en Física. Es el Coordinador Académico del Planetario y ha venido prestando su apoyo al proceso de experimentación de la estrategia convocando los docentes dado su permanente comunicación con éstos a través de las funciones y actividades de apoyo que el Planetario ofrece a los maestros y estudiantes de la región. Es un joven profesional bien estructurado, serio, atento, cumplidor de su deber y deseoso de oportunidades.

COMENTARIOS

Una de las representaciones del universo es pictórica, hecha en el lugar de la convocatoria y la otra lingüística escrita en computador, realizada en el lugar de trabajo, fue entregada como complemento explicativo de la representación pictórica, como lo muestran las figuras 21a y 21b. Las dos representaciones muestran elementos y relaciones muy coherentes con los modelos cosmológicos de avanzada, aunque la representación pictórica deja de lado elementos y relaciones incluidos en el complemento explicativo. Este caso nos lleva a suponer que quizá algunos representadores dejan por fuera de sus representaciones muchos elementos interesantes aunque sean de su dominio conceptual; las etapas posteriores nos permitirán desvelar si el ejercicio profesional de OM como coordinador científico del planetario le ha permitido estructurar una ecología conceptual coherente con las teorías cosmológicas recientes y si domina las teorías científicas que sustentan los modelos cosmológicos de frontera.

Primera representación hecha por OM

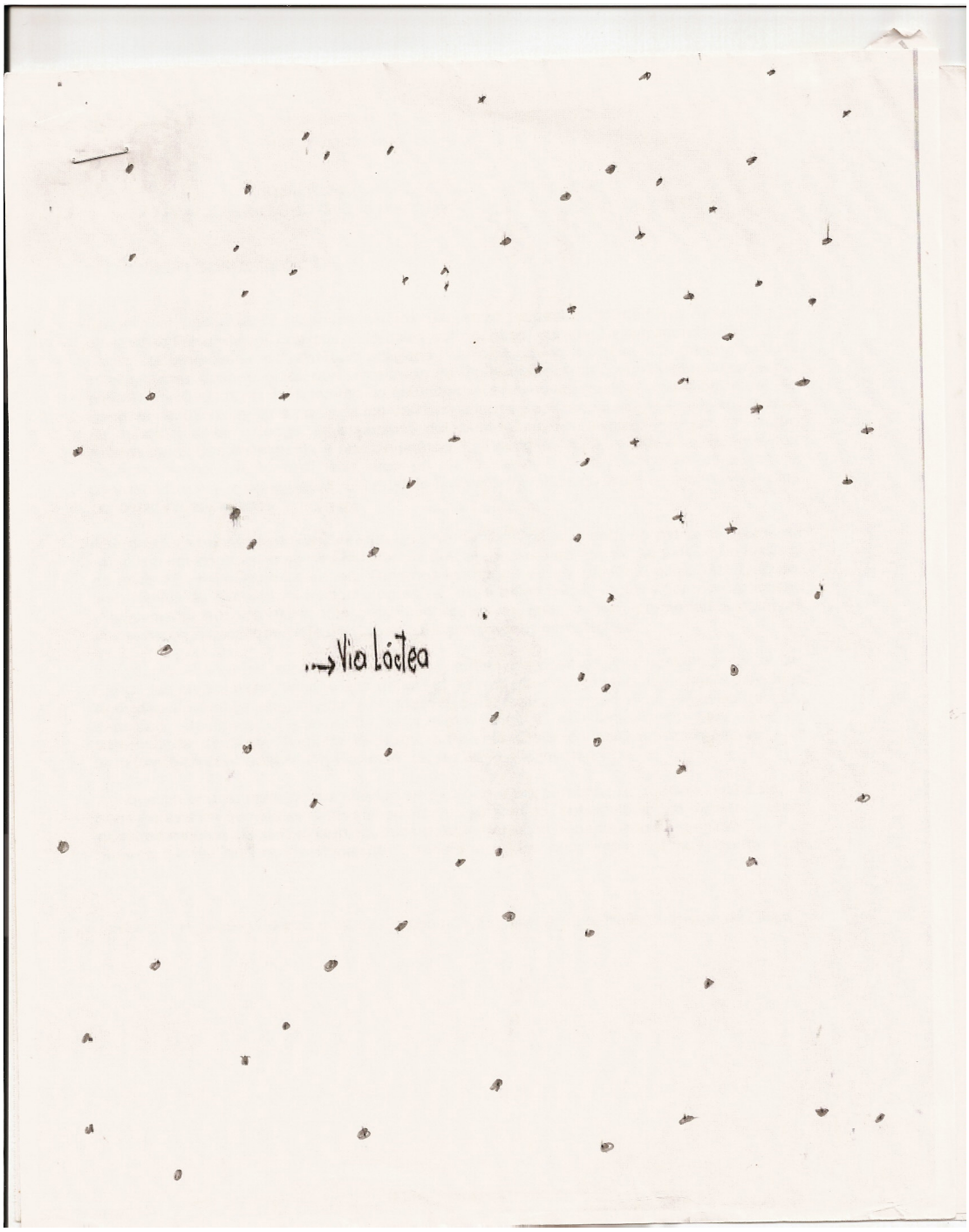
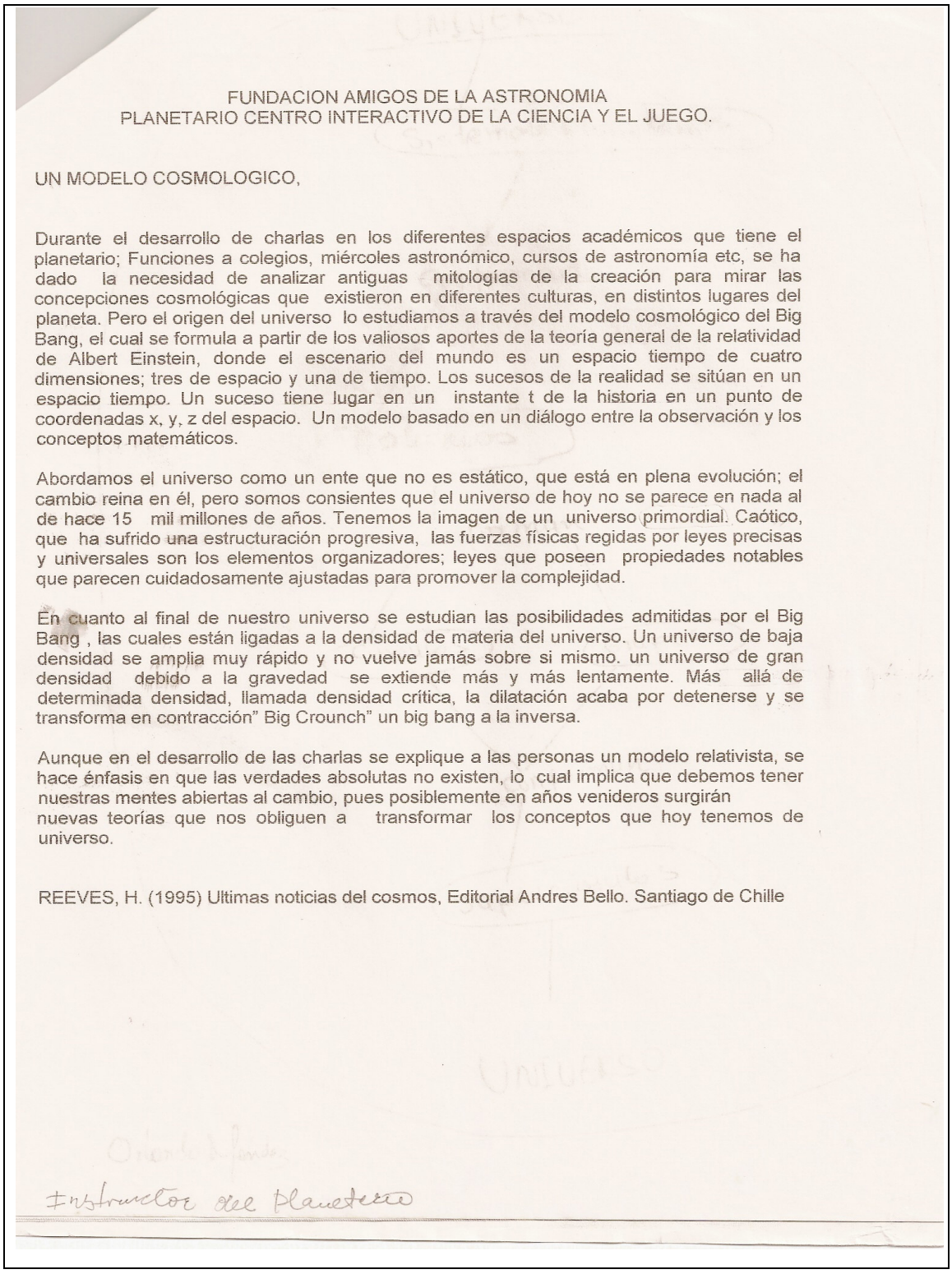


Figura 21a. Representación externa del universo realizada por OM



FUNDACION AMIGOS DE LA ASTRONOMIA
PLANETARIO CENTRO INTERACTIVO DE LA CIENCIA Y EL JUEGO.

UN MODELO COSMOLOGICO,

Durante el desarrollo de charlas en los diferentes espacios académicos que tiene el planetario; Funciones a colegios, miércoles astronómico, cursos de astronomía etc, se ha dado la necesidad de analizar antiguas mitologías de la creación para mirar las concepciones cosmológicas que existieron en diferentes culturas, en distintos lugares del planeta. Pero el origen del universo lo estudiamos a través del modelo cosmológico del Big Bang, el cual se formula a partir de los valiosos aportes de la teoría general de la relatividad de Albert Einstein, donde el escenario del mundo es un espacio tiempo de cuatro dimensiones; tres de espacio y una de tiempo. Los sucesos de la realidad se sitúan en un espacio tiempo. Un suceso tiene lugar en un instante t de la historia en un punto de coordenadas x, y, z del espacio. Un modelo basado en un diálogo entre la observación y los conceptos matemáticos.

Abordamos el universo como un ente que no es estático, que está en plena evolución; el cambio reina en él, pero somos consientes que el universo de hoy no se parece en nada al de hace 15 mil millones de años. Tenemos la imagen de un universo primordial. Caótico, que ha sufrido una estructuración progresiva, las fuerzas físicas regidas por leyes precisas y universales son los elementos organizadores; leyes que poseen propiedades notables que parecen cuidadosamente ajustadas para promover la complejidad.

En cuanto al final de nuestro universo se estudian las posibilidades admitidas por el Big Bang , las cuales están ligadas a la densidad de materia del universo. Un universo de baja densidad se amplia muy rápido y no vuelve jamás sobre si mismo. un universo de gran densidad debido a la gravedad se extiende más y más lentamente. Más allá de determinada densidad, llamada densidad crítica, la dilatación acaba por detenerse y se transforma en contracción" Big Crounch" un big bang a la inversa.

Aunque en el desarrollo de las charlas se explique a las personas un modelo relativista, se hace énfasis en que las verdades absolutas no existen, lo cual implica que debemos tener nuestras mentes abiertas al cambio, pues posiblemente en años venideros surgirán nuevas teorías que nos obliguen a transformar los conceptos que hoy tenemos de universo.

REEVES, H. (1995) Ultimas noticias del cosmos, Editorial Andres Bello. Santiago de Chille

Instructor del Planetario

Figura 21b. Complemento de la representaciones entregadas por OM al inicio del proceso

3.1.1.4- *A MANERA DE SÍNTESIS*

De acuerdo con esta primera situación en la que se colocó a los integrantes del grupo, podemos decir que sus representaciones han sido reconocidas por cada uno como una expresión de lo que mentalmente tienen respecto al universo.

Aunque es temprano para hacer inferencias respecto a la evolución de los modelos, el hecho de poner a pensar y hablar a los profesores en términos del modelo del universo que han representado, implica ponerlos en la posibilidad de recrear, *hacerse consciente de su modelo* (*externalizarlo*) y como consecuencia, intentar comprender el sistema o situación física que representa, emitir juicios y hacer inferencias.

De todas formas, es preciso tener en cuenta con Gérard Vergnaud(1993), que algunos de nuestros sujetos enfrentarán situaciones para las que no disponen de todas las competencias necesarias para comprenderlas , resolverlas, hacer inferencias y predicciones, hecho que les llevará a vacilaciones y tentativas frustradas y en algunos casos a desistir de su intento. Asumimos con Johnson-Laird que el análisis de sus representaciones colocó a los sujetos en la necesidad de volver al modelo inicial, revisar los elementos incluidos (los cuales pueden ser sus primitivos conceptuales), componerlos y recomponeros en un proceso de reestructuración que poco a poco les permite hallar la funcionalidad que requieren para sus modelos.

3.1.2. **ENRIQUECIMIENTO CONCEPTUAL***. Colocar a los docentes en la necesidad de leer, investigar,complementar información no solamente sobre El Universo sino sobre teorías y procesos que llevaron a la conformación de los Modelos Cosmológicos Recientes.*

3.1.3. FUNCIONALIDAD Y VALIDEZ DE LOS MODELOS.

Paralelamente, s*e colocó al docente en la posibilidad de validar la capacidad explicativa de su modelo.*

3.1.3.1– ACCIÓN 1:

Entrega de documentos. Proyección de videos. Asistencia a conferencias con ocasión del año internacional de la Física, realización de charlas en torno a temas colaterales y de interés para los miembros del grupo.

3.1.3.2– ACCIÓN 2:

Cada docente debía hacer sus anotaciones o preguntas surgidas en torno a los videos y conferencias y relacionar e interpretar el contenido de éstos en términos de su modelo del universo.

Documentos[17]:

*Modelos Cosmológicos a través de la Historia (Ver Anexo 1)

*Albert Einstein, Annus Mirábilis (Ver Anexo2)

*Albert Einstein. El Hombre (Ver Anexo 3).

El Universo de Albert Einstein. Texto de Lincoln Barnet

*Teorías del Aprendizaje (Texto publicado de coautoría de la investigadora)

*Modelos Mentales. (Texto publicado con coautoría de la investigadora)

Mapas Conceptuales. Tomados del texto Aprendiendo a Aprender de Novak y Gowin y del artículo Los Mapas Conceptuales, otra forma de aprender. De Ontoria

Mapas Mentales. Tomado del texto "El libro de los Mapas Mentales de Tony y Barry Buzan

UVE Heurística. Basado en el texto "Aprendiendo a aprender" de Novak y Gowin.

El Sentido de la Cosmología Moderna. Artículo de Peebles

[17] Los documentos señalados con (*) fueron elaborados por la investigadora; el resto fueron tomados de libros y revistas especializadas cuyos autores se encuentran reseñados en la bibliografía.

Ecos de la Gran Explosión. Artículo de Caldwell y Kamionkowski

Un Cartógrafo Cósmico. Artículo de Bennett, Hinshaw y Page

El Universo y su Quintaesencia. Artículo de Ostriker y Steinhardt

Videos[18]: Formación del Universo.
Formación de Estrellas.
Universos Paralelos.

Conferencias[19]:

Artículos De Albert Einstein publicados en 1905. Con base en el artículo de Studart

Calidad de la Educación y la Enseñanza de las Ciencias.

Responsabilidad Ética del Científico.

Charlas[20]:

Importancia de la Cosmología en el mundo actual.

Enseñanza de la Cosmología.

*Ciencia, Tecnología y Educación. Artículo de la investigadora publicado en la Revista Internacional Magisterio (Ver Anexo 4)

Ciencia, Tecnología y Políticas Educativas

Estación Espacial Internacional

Elaboración de documentos: (Por parte de los integrantes del grupo)

Mapa conceptual sobre el documento entregado: "Modelos Cosmológicos a Través de la Historia"

Mapa conceptual "Mi Imagen del Universo".

Análisis de representaciones realizadas por integrantes de la muestra no pertenecientes al grupo.

[18] Todos los videos son copias o grabaciones de programas de Discovery Chanel.

[19] La primera fue presentada por la investigadora en el Planetario. Las otras fueron presentadas por conferencistas de la ciudad que frecuentemente colaboran presentando sus trabajos en los espacios destinados a la divulgación científica.

[20] Las charlas se realizaron al interior del grupo. Algunas preparadas por uno de sus miembros como "estación espacial internacional" presentada por el profesor RG; Ciencia Tecnología y políticas educativas, desarrollada por el profesor MM

3.1.3.3– JUSTIFICACIÓN.

Para Johnson-Laird(1983), lo esencial del razonamiento a través de modelos mentales no está sólo en la construcción de modelos adecuados para captar distintos estados de cosas sino en *la capacidad de verificar cualquier conclusión a la que se llegue usando tales modelos y en la recursividad como estrategia que posibilita el cambio, transformación, evolución.* El mismo autor opina que la funcionalidad es una condición inherente a los modelos mentales que le permite al sujeto detectar si existe o no correspondencia entre las predicciones generadas por el modelo y los eventos externos que enfrenta (Moreira, 1995). Para Farrok & Domminick (1988), citado por Jonassen (documento sin fecha), los modelos mentales evolucionan inductivamente en la medida en que el individuo interacciona con el sistema resultando a menudo representaciones analógicas, incompletas, fragmentadas, de cómo el sistema trabaja.

¿Qué significación tienen los anteriores razonamientos para el caso que nos ocupa?.

Creemos que el entrenamiento teórico en términos de cómo se han consolidado los modelos cosmológicos, las teorías que subyacen detrás de éstos y algunos rasgos de sus generadores, es un proceso que permite a los representadores aclarar muchos conceptos, entender relaciones entre éstos y por lo mismo retener mayor información conceptual y generar soluciones creativas para los problemas que enfrentan.

El enriquecimiento conceptual no sólo giró en torno al tema objeto de investigación sino que tocó muchos temas colaterales que atraviesan el día a día del docente, como fueron la importancia de la Cosmología y la importancia de enseñarla a los niños y jóvenes; la obligatoriedad que tenemos los docentes de buscar métodos y

procesos pertinentes que permitan a los niños aprender significativamente estos conceptos; la calidad de los procesos implementados en el aula…, etc.

Al colocar a los sujetos en la necesidad de rodar sus modelos para explicar situaciones y problemas, permitiéndoles conocer sus limitaciones en cuanto a su poder explicativo, estamos "obligándoles" a incluir en éstos algunos elementos y desechar otros de acuerdo con su funcionalidad ante las situaciones que tiene que explicar. Es preciso recordar que en la presente investigación hemos asumido los modelos mentales como *estructuras cognitivas idiosincrásicas, dinámicas, incompletas, que evolucionan porque son recursivamente modificables cada vez que el sujeto detecta falta de correspondencia entre sus predicciones y los hechos del mundo real*.

La lectura de documentos, proyección de videos, asistencia a conferencias y el análisis y discusión en torno a éstos fue un proceso transversal y de largo aliento que ocupó el resto de las reuniones subsiguientes.

Hay que anotar que el proceso generó situaciones encontradas en el grupo; por un lado, la discusión, la intervención, los aportes de quienes habían leído los documentos y analizado sus posturas frente a las películas y conferencias atrajo más profesores y estudiantes al grupo; hubo reuniones de 10 – 12 asistentes que manifestaron su satisfacción y deseos de seguir. Sin embargo, asumimos que este mismo proceso alejó a otros; quizá sus ocupaciones les impidió leer y hacer las tareas por lo que fueron escasas sus intervenciones y por lo mismo decidieron alejarse para no quedar en evidencia frente a sus colegas. Como antes lo expresamos, existe un número de participantes que ha sido constante; con ellos y a través de ellos hemos podido vislumbrar el proceso de evolución de sus

representaciones mentales en torno al Universo; para éstos, *las charlas y conferencias incidieron en su motivación*. JG describió el proceso como *un espacio de solaz frente a la rutina del trabajo.*

JC expresó: "*cada vez que miro el cielo ya no es el mismo cielo desde que inicié este proceso",* y continúa, "*las situaciones van aportando elementos que me permiten variar el modelo inicial que hice".*

3.1.3.4. ¿QUÉ ENCONTRAMOS?

Para responder esta pregunta quisimos formular otra a través de cuyas respuestas pudimos entrar a dilucidar si realmente encontramos algo que valiera la pena consignar.

Nos preguntamos:

- ¿Las diferentes situaciones a las que se enfrentaron los sujetos a lo largo del proceso de enriquecimiento conceptual, les permitió alguna revisión recursiva de sus representaciones del universo?.

Desde nuestro referente sabemos que los procesos de explicitación son cruciales para lograr la evolución de los modelos y en nuestro caso mucho más pues les solicitamos a los sujetos hacer fundamentaciones con base en las teorías cosmológicas. De todas formas estuvimos atentos en detectar las *nuevas relaciones incluidas, el léxico utilizado y la claridad conceptual en términos de los modelos científicamente aceptados.*

Frente al caudal de información recibida, frente a la diversidad de fuentes de información y frente a la necesidad de asumir una postura en torno al modelo que cada cual realizó y la visión que les dejó el proceso de "enriquecimiento conceptual", formulamos otros interrogantes para direccionar las intervenciones pues queríamos

evitar "desvíos" hacia otros temas no pertinentes para el objetivo que perseguimos.

- ¿Qué imagen del universo estamos validando?.
- ¿Tenemos en la estructura mental subsumidores apropiados con los cuales entender los presupuestos y teorías que sustentan la existencia de universos paralelos?.
- ¿Qué sabemos sobre las teorías físicas contemporáneas que predominan las visiones cosmológicas del presente y anterior siglo?.
- ¿ Cómo llevar al aula de clases estos conocimientos?.

A. **CONFERENCIAS, CHARLAS, DEBATES.**

Las CONFERENCIAS Y CHARLAS en torno a la vida de Einstein y su producción intelectual, además de promover un debate apasionado entre quienes reconocen al científico como un genio por su magno aporte a la ciencia y la revolución cosmológica que desde ella se dio en el pasado siglo y quienes lo ven como el padre de la bomba atómica y responsable de todo el progreso armamentista de los países dominantes, evidenció que los docentes manejan información general recibida de medios de comunicación, poco fundamentada pues sus aseveraciones no estaban basadas en lecturas de autores que ellos pudieran citar; que no tienen base científica que les permita entender en profundidad la obra de Einstein. Así lo reconocieron algunos profesores al declararse ignorantes en las teorías y principios de este genio.

Predominó en el debate lo político y social más que lo científico, quizá porque quienes más participaron tienen desde su formación profesional una ecología conceptual relacionada con estos campos; de todas formas consideramos con Toulmin(1977) que el hecho de

ponerlos en la necesidad de hacer explícitas las argumentaciones que subyacen en sus "ambiciones e insatisfacciones conceptuales", nos ha permitido poner de relieve su autorretrato epistémico; o, como Feldman(1983) opina, los pusimos en la necesidad de convertir sus procesos mentales en productos, dotándolos de alguna realidad en "algún mundo".

La asistencia al grupo de una estudiante de Matemáticas y Física nos permitió conocer que de seis semestres en los que se ofrece Física a los estudiantes de esta licenciatura sólo uno está dedicado a la Física Moderna, cuyo desarrollo no van más allá del modelo atómico de Bohr y nada ven sobre Cosmología. Ello valida nuestra hipótesis en el sentido de asumir que los modelos mentales del universo que las personas tienen no han sido estructurados desde la educación formal y que ésta no ha incidido en su reestructuración.

Los docentes en ejercicio cuya actividad extracurricular y afición les ha llevado a estrechar lazos con la Cosmología y la Astronomía, expresan que poco manejan los temas y quienes reflejan un acerbo científico más desarrollado opinan que éste es producto de su inquietud y afinidad por la Astronomía, lo que nos lleva a reafirmarnos en nuestra hipótesis que los esquemas mentales de los miembros del grupo han sido formados por influencia de los medios de comunicación y la educación no formal e informal y por ende , sus modelos mentales frente a situaciones nuevas contienen elementos de esos esquemas. El profesor OM que es licenciado en Matemáticas y Física y actualmente cursa una especialización en Física expresó: "poco *o ningún tiempo se dedica a estos temas y debates en la carrera ni en la especialización*". Su bagaje científico ha sido desarrollado por su desempeño profesional como coordinador académico del Planetario.

Los dos casos traídos como ejemplos ilustrativos nos llevan de la mano al pensamiento de Toulmin (op. cit., pp. 52, 53), cuando expresa, "…*los conjuntos particulares de conceptos que aprendemos reflejan formas de vida y de pensamiento, comprensión y expresión, corrientes en nuestra sociedad";* lo que quiere decir, argumenta el autor citado, *que los pensamientos así desarrollados son productos de la historia y prehistoria cultural.*

B. **VIDEOS.**

Entendieron y manejaron la información que les presentó el video "*Formación del Universo*" cuyo contenido es un recorrido en torno al proceso que ha seguido la expansión del universo según el "Modelo Cosmológico Estándar"; el video sobre "*Universos Paralelos*" los inquietó; casi todos admitieron que fué muy poco lo que pudieron entender; ello quiere decir que su lenguaje y las relaciones incluidas en el relato eran desconocidos por los integrantes del grupo. La profesora VCh[21] al reconocer lo confundida que le dejó el video expresa, "*prefiero seguir intentando estructurar mi modelo semiótico del universo"*.

Pero, ¿*hubo efecto reestructurador en las representaciones mentales de cada uno de los sujetos con el proceso de enriquecimiento conceptual llevado a cabo a través de las distintas instancias ya relacionadas?.*

Reconocemos que los procesos evolutivos son de largo aliento y están atravesados por preconcepciones y hábitos propios del contexto cultural y educativo, como la tradición oral que ha acompañado el quehacer del docente, el cual dominó gran parte del

[21] Esta profesora del área de lingüística se vinculó al grupo desde inicios del proceso, nos acompañó en gran parte de éste, pero se retiró. Lamentamos no haber acopiado suficientes documentos y aportes para contarla entre los miembros del grupo

proceso de socialización. Es difícil hacer que los maestros escriban; en el universo consensuado de los docentes predomina la cultura oral[22], para ellos es más fácil hablar que escribir por lo cual tuvimos que admitir que hicieran la socialización de su "nuevo modelo del universo" desde el tablero y expresaran verbalmente su opinión en torno a algunos de los documentos.

Desde la investigación cualitativa es natural que el investigador encuentre en el contexto condiciones que debe aceptar si no quiere "violentar" los procesos; y, desde la metodología para la investigación de los modelos mentales, es perfectamente válido el uso de informaciones verbales del sujeto como fuente de datos; en esta parte, presentamos los testimonios con base en las notas recogidas por la investigadora en su diario de abordo; lo interesante es contar con los datos que nos permitan dilucidar si hubo *nuevos elementos* en las representaciones lingüísticas o pictóricas y en el discurso oral o escrito.

AF en su "Modelo Cosmológico" hace referencia a las teorías inflacionarias más recientes "*expansión acelerada del universo"*; nombra elementos y relaciones válidos: "*(materia, espacio, tiempo, ilimitado y finito, estacionario y/o en expansión";* y formula preguntas pertinentes que lo conducen a modelos más recientes aunque especulativos "*¿debería pensar en la posibilidad de que existan universos burbuja?".* A este interrogante le sigue una afirmación: "*cuya base teórica, estoy lejos de entender y dominar"*. Creemos que el proceso desarrollado ha colocado al profesor AF frente a un discurso cuyo bagaje científico desconoce; recordemos que la formación profesional del docente es en ciencias sociales. Sin embargo, si tomamos en cuenta *la terminología usada por el*

[22] Uno de los propósitos del proyecto "Escuelas y Maestros en Transformación" realizado con apoyo de la Fundación Restrepo Barco, era transformar la cultura oral de los maestros motivándolos a escribir sus propias experiencias e innovaciones. Ver Bibliografía.

profesor, las relaciones que establece entre los elementos que incluye en su modelo, *hemos de admitir que su léxico científico se ha enriquecido; es más claro y alude a fuentes de información*, lo cual es válido considerar como indicio de evolución.

JG pasa al tablero y dibuja en el acrílico el modelo de universo que aparece en la siguiente figura:

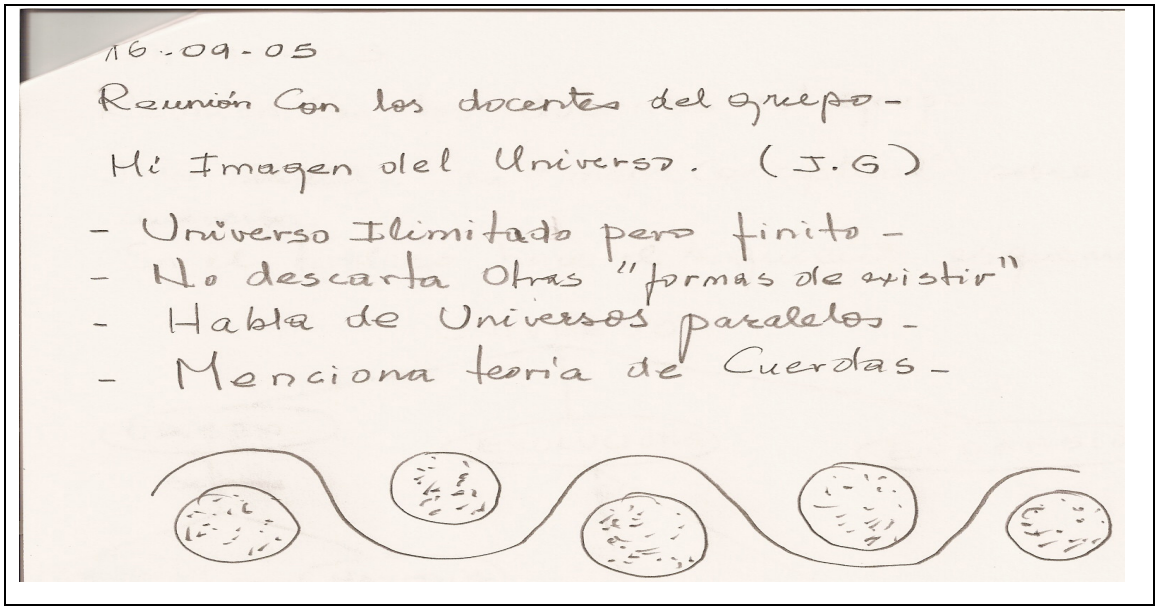


Figura 22. El universo según el profesor J.G

Para el profesor JG, el universo es ilimitado pero finito y no descarta otras formas de existencia. Da a entender en su exposición, que maneja los conceptos y relaciones del Modelo Estándar, aunque su fundamentación es vaga; como el profesor anterior, menciona y valida el universo burbuja cuya conceptualización deja en suspenso. Sin embargo, *ha incluido nuevos términos en su vocabulario y establecido relaciones más claras entre los elementos considerados, por lo que debemos reconocer que hay indicios de evolución* en la representación del universo de este docente.

El profesor RG, igual que OM, interviene y opina en términos de la socialización que hacen sus compañeros; RG incluye otros términos no mencionados por sus colegas como materia oscura, masa, energía oscura. OM habla de ondas gravitacionales, gravitón, fondo cósmico de microondas, pero aplazan la entrega y socialización de sus respectivos modelos. Estos dos docentes, por su vínculo con el Planetario y sus actividades académicas, se sienten mayormente comprometidos en dar respuestas coherentes y científicas; RG expresó que "*ha intentado varias veces hacer su mapa conceptual pero cada vez que lo intenta queda inconforme con lo que le sale. Acepta que en su representación inicial del universo quedaron elementos y relaciones entre éstos sin incluir".*

A esta altura del proceso y a manera de reflexión, hemos de recordar con Norman (1983) Greca y Moreira (1996), Johnson-Laird (1983), que los modelos mentales son estructuras confusas, mal hechas, incompletas,.. , que este tipo de representaciones es con el que el investigador tiene que lidiar e intentar entender. Creemos sin embargo, con Johnson-Laird y con Gérard Vergnaud (1996), que las diferentes interacciones con las teorías y modelos Cosmológicos científicamente válidos han venido permeando el lenguaje de los representadores y enriqueciendo y estabilizando sus respectivos modelos. Para Vergnaud esto es un proceso lento y sí que lo es; los encuentros se han venido sucediendo a lo largo del año, ya éste culmina dentro de un mes y apenas se vislumbran los primeros indicios de evolución, los cuales hemos evidenciado en:

- **Expresiones espontáneas de los docentes**, "… *las situaciones me han aportado elementos con los que he variado el modelo inicial que hice del universo. JC"; "tuve que leer mucho para hacer las tareas. AF";*

- **Los argumentos usados** al hacer el análisis de 3 representaciones tomadas al azar entre las 75 que caracterizamos en el segundo capítulo de la investigación; y,
- Los **mapas conceptuales elaborados** a los que seguidamente nos referiremos.

C. MAPAS CONCEPTUALES

Debemos expresar que fué una de las actividades más exigentes pues pocos maestros manejaban esta estrategia y a otros les era totalmente desconocida. Al respecto AF expresa, *"fue necesario leer mucho sobre mapas conceptuales para hacer esta tarea"*.

El análisis de los mapas se hizo dejando de lado la discusión si éstos eran o no mapas conceptuales desde la estructura que presentaron, concentrándonos en los elementos incluidos como conceptos y las relaciones entre ellos establecida; lo importante era tener en mente que los mapas conceptuales "*son diagramas que indican relaciones entre conceptos; más específicamente, pueden ser interpretados como diagramas jerárquicos que procuran reflejar la organización conceptual de un cuerpo de conocimientos o parte de éste". Moreira ((2.006)*.

Desde esta perspectiva adelantamos el análisis interpretativo de los diagramas presentados en las figuras 23a, 23b y 23c, correspondientes a los mapas conceptuales de JC; figura 24, correspondiente al mapa conceptual de RG; figura 25 correspondiente al diagrama de OM, figura 26a, 26b y 26c, correspondientes a los mapas conceptuales presentados por JG; figura 27a y 27b, correspondientes a los mapas conceptuales presentados por AF.

Caso 1. Profesor JC.

Elaboró tres diagramas (ver figura 26ª, 26b y 26c), en los cuales el profesor "ilustra" sus conceptualizaciones. Desde éstos, la investigadora infiere y explora los rasgos de la posible evolución en las representaciones internas que sobre el universo tiene el docente.

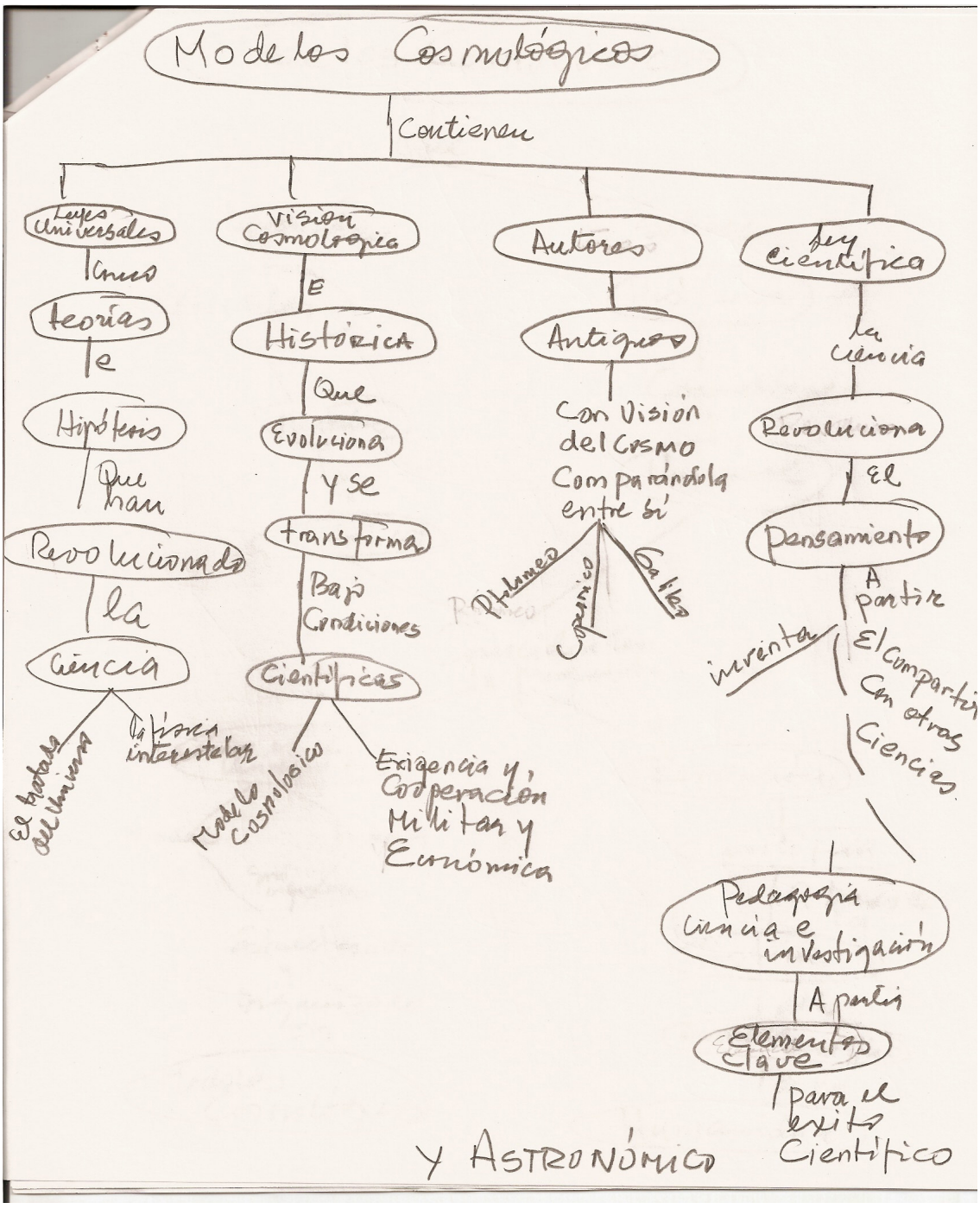


Figura 23a. Mapa conceptual de JC sobre modelos cosmológicos

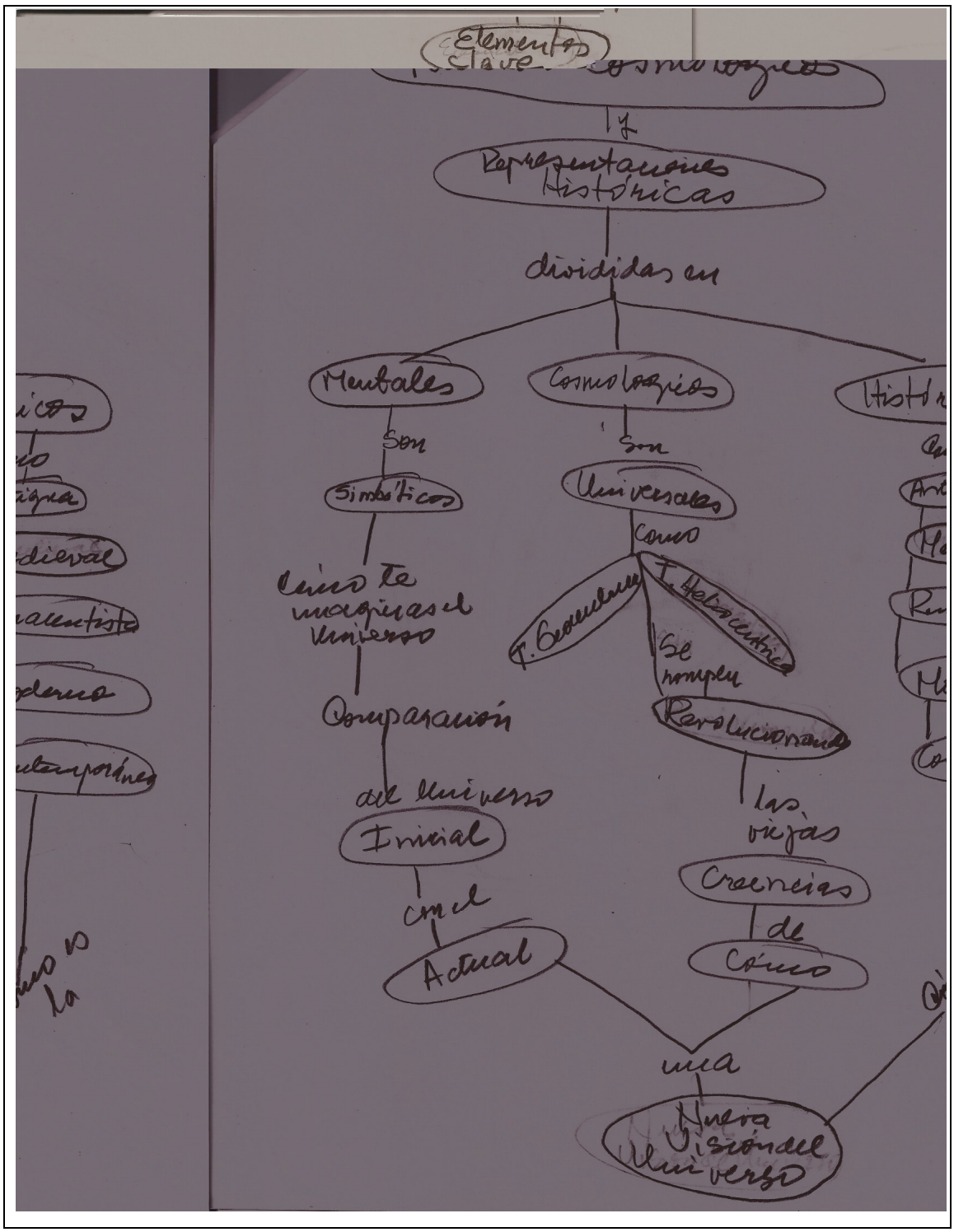


Figura 23b. Nueva versión de mapa conceptual sobre modelos cosmológicos elaborada por JC

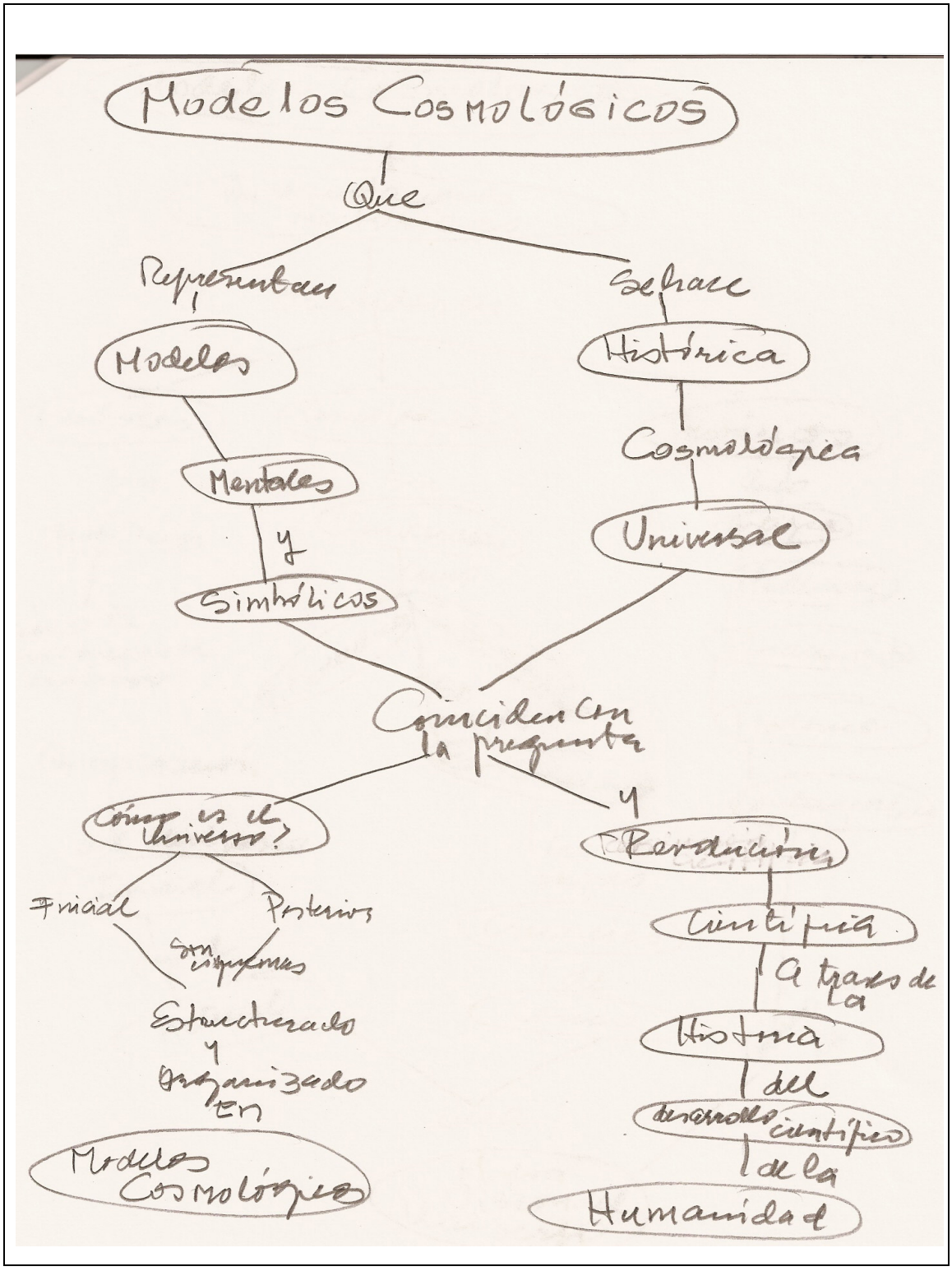


Figura 23c. Mapas conceptuales sobre modelos cosmológicos de JC, en tercera versión.

COMENTARIOS

Los diagramas elaborados por JC, corresponden a la lectura del texto sobre "Modelos Cosmológicos a Través de la Historia"; El docente extrae de éste elementos con los cuales arma sus diagramas cuyo contenido refleja cierta confusión de conceptos, poca información sobre "mapas conceptuales" y una conceptualización deficiente desde el punto de vista científico; Aunque las ideas son presentadas con poco orden y claridad, comparado con los dos documentos anteriormente realizados, no podemos dejar de reconocer que hubo algún enriquecimiento reflejado en las referencias que hace a los modelos cosmológicos que se vienen estudiando; hemos de añadir, que al analizar comparativamente los tres diagramas, debemos reconocer que se vislumbra un proceso de decantación de ideas en la mente del representador, en torno al documento objeto de estudio, aspecto que se refleja en el tercer diagrama en el que se aprecian más elementos involucrados y mejores relaciones entre ellos. A esta altura, ya el profesor hace mención específica a sucesos propios de la cosmología, los cuales intenta entrelazar a través de relaciones, válidas o no desde el punto de vista científico, pero quizá funcionales desde su propia conceptualización. Sin embargo, se precisa señalar desde las teorías representacionales, que la nueva información no logra estructurarse en forma clara en la mente del representador por la falta de subsumidores referidos a esta rama del conocimiento y cómo el diagrama refleja lo que Vergnaud (1998) y Johnson-Laird (1983), expresan en cuanto a que la nueva información puede producir representaciones confusas y muchas veces contradictorias.

Caso dos. Profesor RG

RG

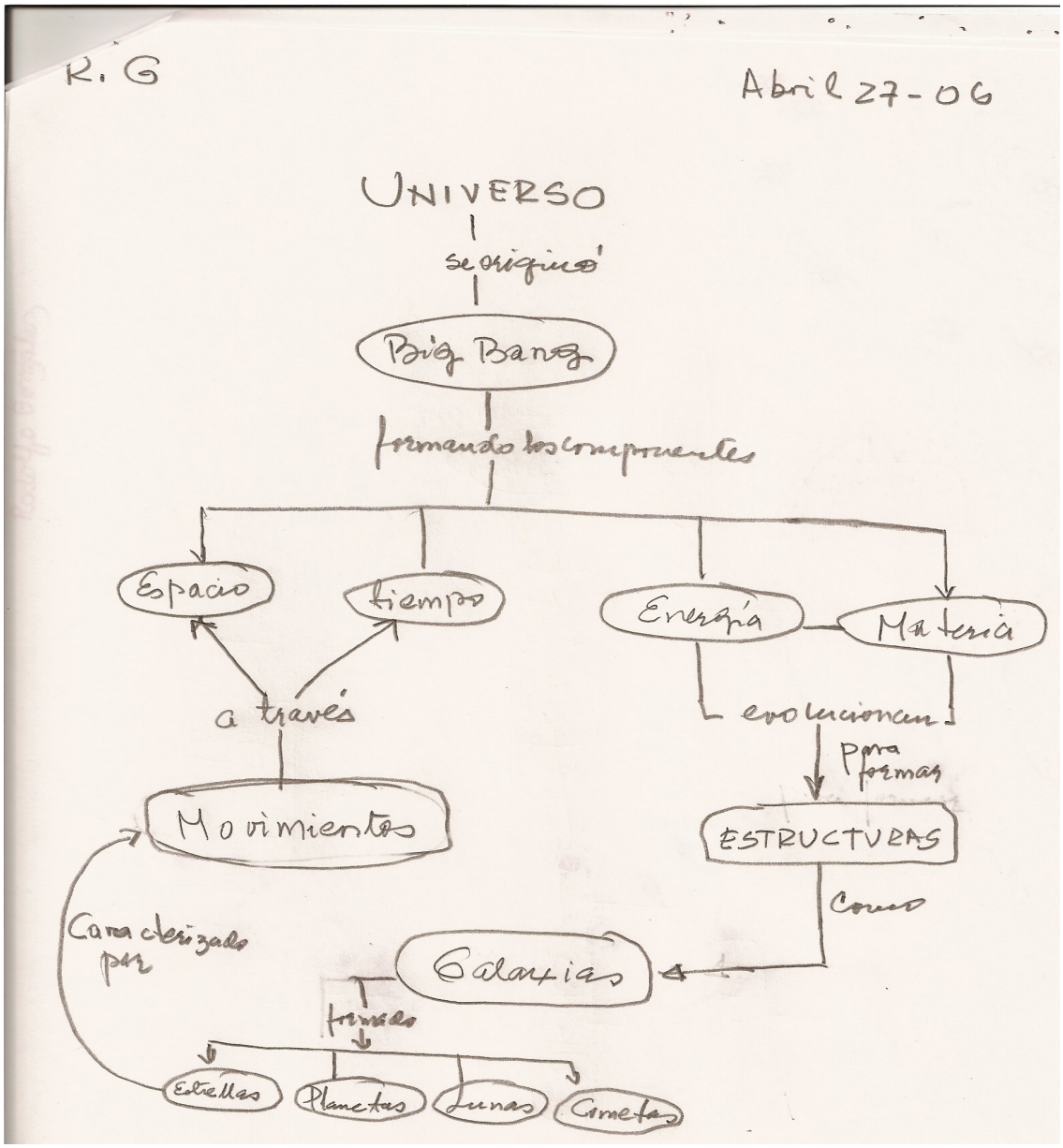


Figura 24. Mapa conceptual sobre modelos cosmológicos elaborado por RG

COMENTARIOS

Las relaciones establecidas entre los elementos que incluyó RG en su mapa conceptual, nos sugieren que el representador asume el Modelo Estándar del Universo (ver figura 24), pues trae a colación elementos y procesos que hacen referencia a su origen y evolución,

los cuales son parte del modelo conceptual referenciado. Hay un elemento interesante en la representación: de acuerdo con la dirección de las flechas, el docente asume un proceso que se inicia en el big bang, donde la energía y la materia evolucionan para formar estructuras galácticas cuyos componentes se mueven a través del espacio y el tiempo. ¿Podríamos inferir que el movimiento es para este docente una característica innata de todos los elementos que podrían encontrarse en el espacio?. ¿ Es esto indicativo de que el docente ha anclado en su estructura mental un modelo lineal, simplificado de los procesos que se han generado y se generan en el interior de los componentes cósmicos y entre éstos?. O, ¿quizá el docente tiene claro que la constante del universo y sus componentes es el movimiento?. Esperamos que al finalizar la investigación podamos contar con elementos que nos permitan encontrar respuesta a los interrogantes planteados.

CASO TRES. PROFESOR OM

COMENTARIOS

Observamos que el esquema presentado por este docente (figura 25), muestra una secuencia que parece estar señalando cómo han ido constituyéndose, a través del tiempo, las galaxias, cúmulos y supercúmulos que conforman las estructuras básicas del universo. El diagrama no tiene flechas que privilegien una dirección, lo que hace preguntarnos si, ¿será que para el representador, el proceso no tiene dirección preferencial?.

OM

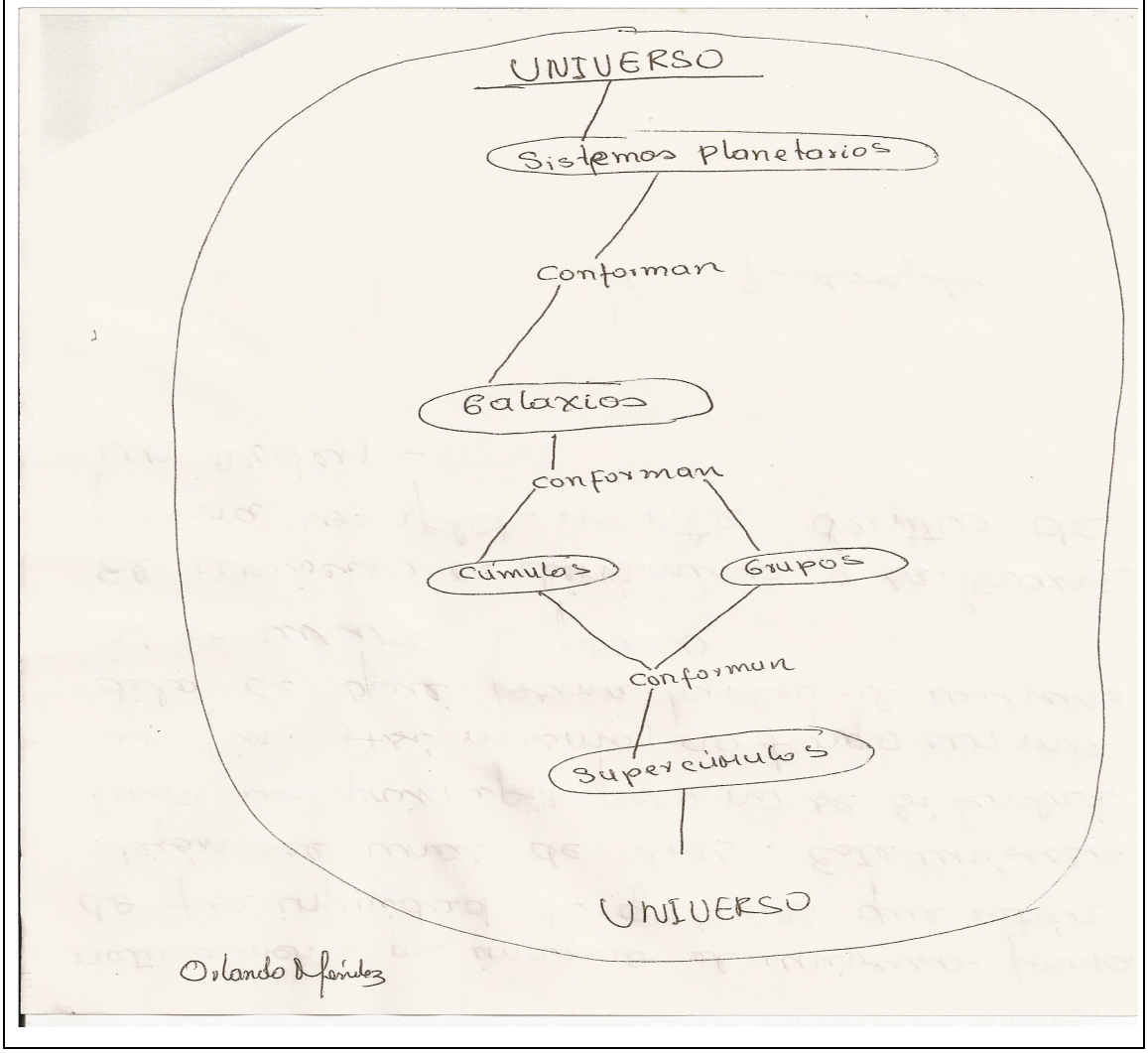


Figura 25. Mapa conceptual de OM

Si traemos a colasión las dos representaciones hechas al inicio del proceso, podríamos decir La representación del profesor OM, no se corresponde con su modelo de universo; además, de acuerdo con su formación profesional y el rol que ha venido desempeñando como director del planetario y, en concordancia con las teorías representacionales que fundamentan nuestra investigación, era lógico esperar de este representador, un diagrama que reflejase una

estructura conceptual más completa, compleja y científicamente válida.

Nos aventuramos a pensar que el profesor OM ha elaborado los documentos "para salir del compromiso contraído", juicio valorativo que emitimos basados en ésta y en su primera representación y el complemento en computador que nos entregó, el cual según el mismo docente, "*fue elaborada porque se puso a pensar que en la representación no había incluido otros elementos interesantes a pesar que los tenía bien claros*", ello no quiere decir que debemos asumirlos como representaciones ad hoc, pues, como veremos más adelante, el profesor las retoma una y otra vez, como procesos que forman parte de modelos cosmológico expansionistas, científicamente aceptados.

Otro elemento que nos da razones para pensar que detrás de las representaciones del docente hay una estructura conceptual fundamentada y científicamente válida, son sus intervenciones y juicios de valor emitidos en las sesiones de socialización, en las que se les da la oportunidad de opinar respecto a las representaciones de los colegas del grupo y respecto a las actividades que van desarrollándose. Sobre los mapas conceptuales opina, "*esta actividad me ha puesto frente a un proceso poco trajinado en mi vida profesional y de estudiante; confieso que no lo domino" y r*especto a las otras representaciones expresa, "*pienso que no hemos sabido colocar en ellas lo que sabemos".*

Caso Cuarto. Profesor JG.

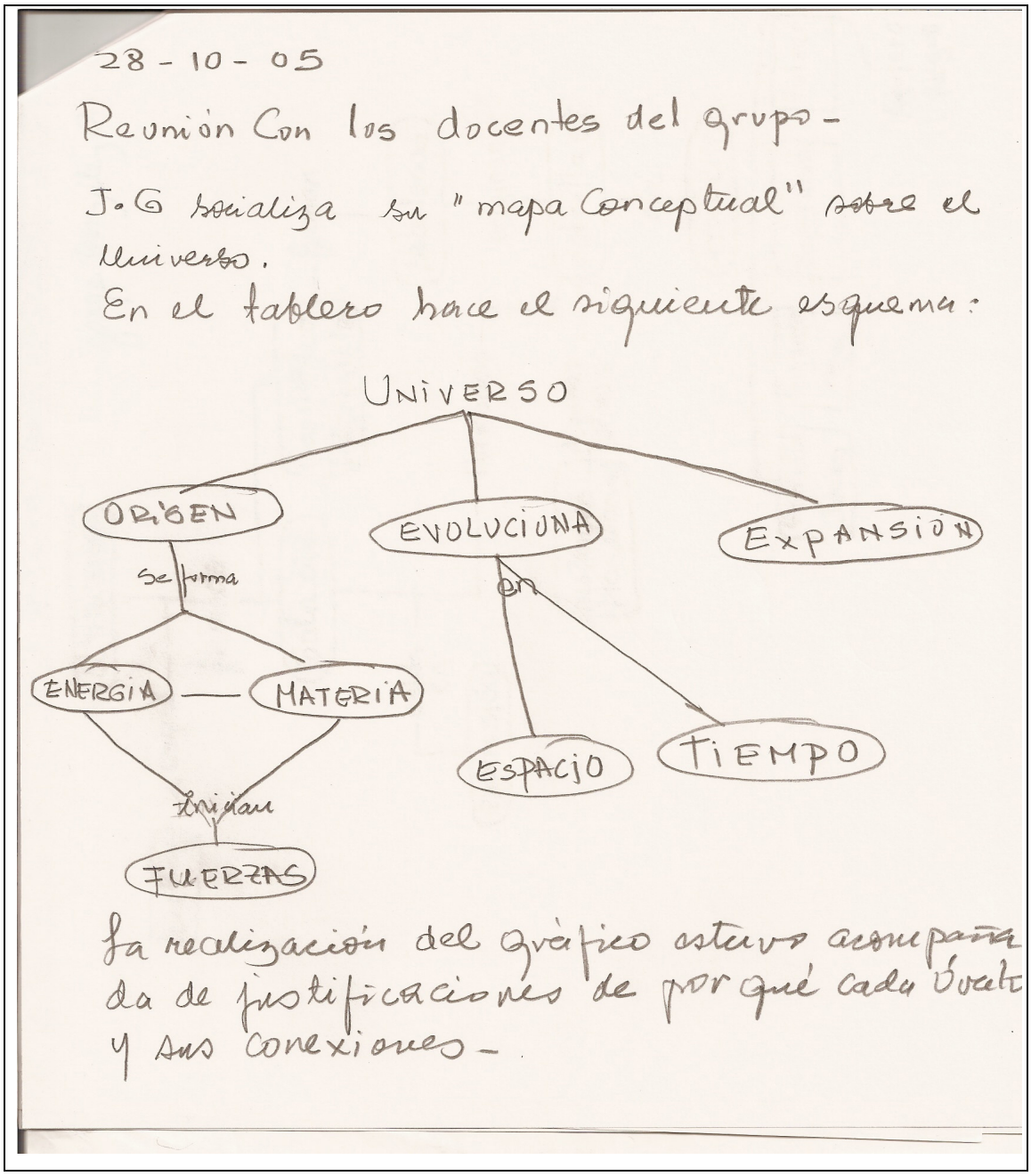


Figura 26a. Diagrama elaborado en el tablero, en las sesiones de puesta en común.

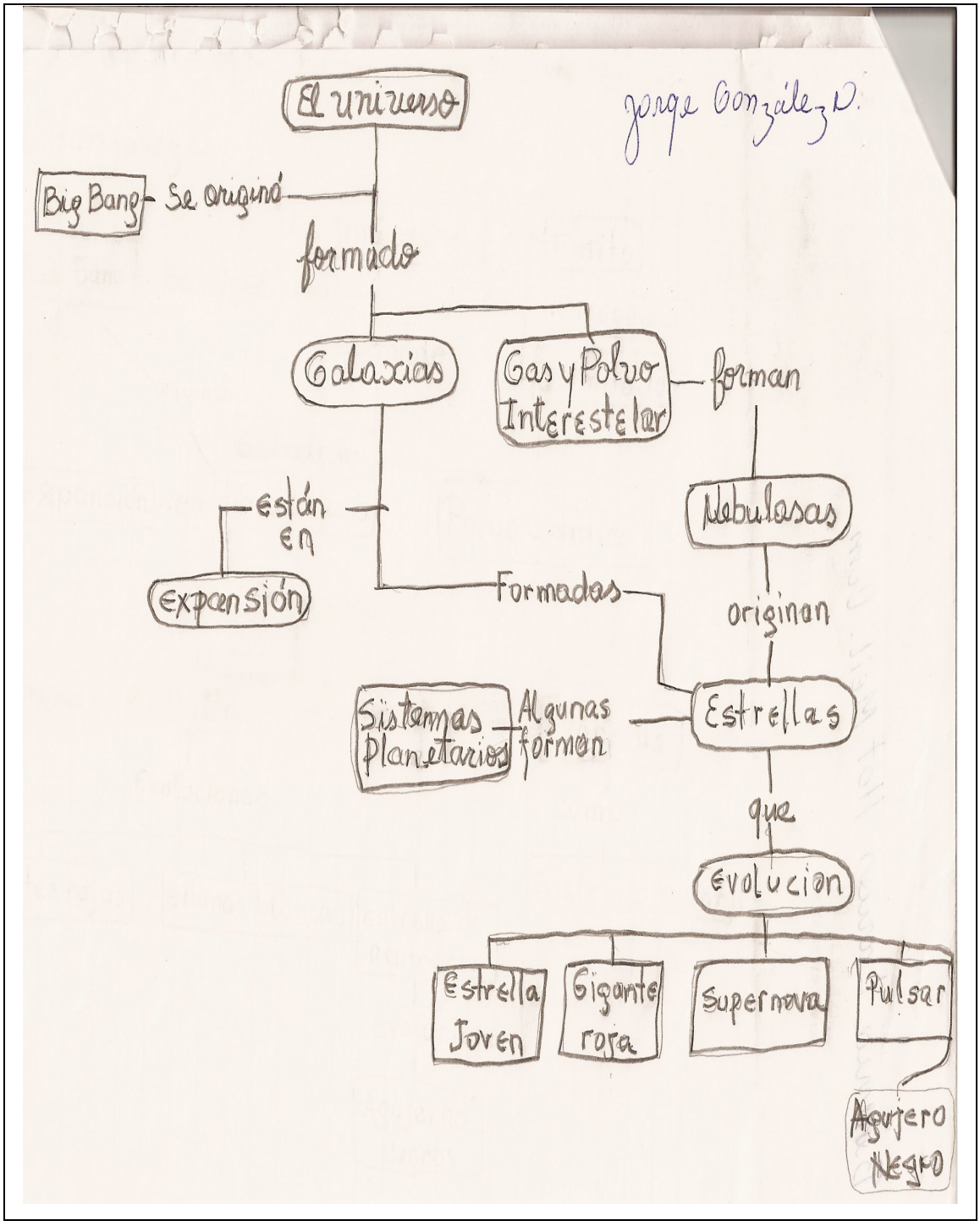


Figura 26b. Mapa conceptual sobre modelos cosmológicos, elaborado en casa.

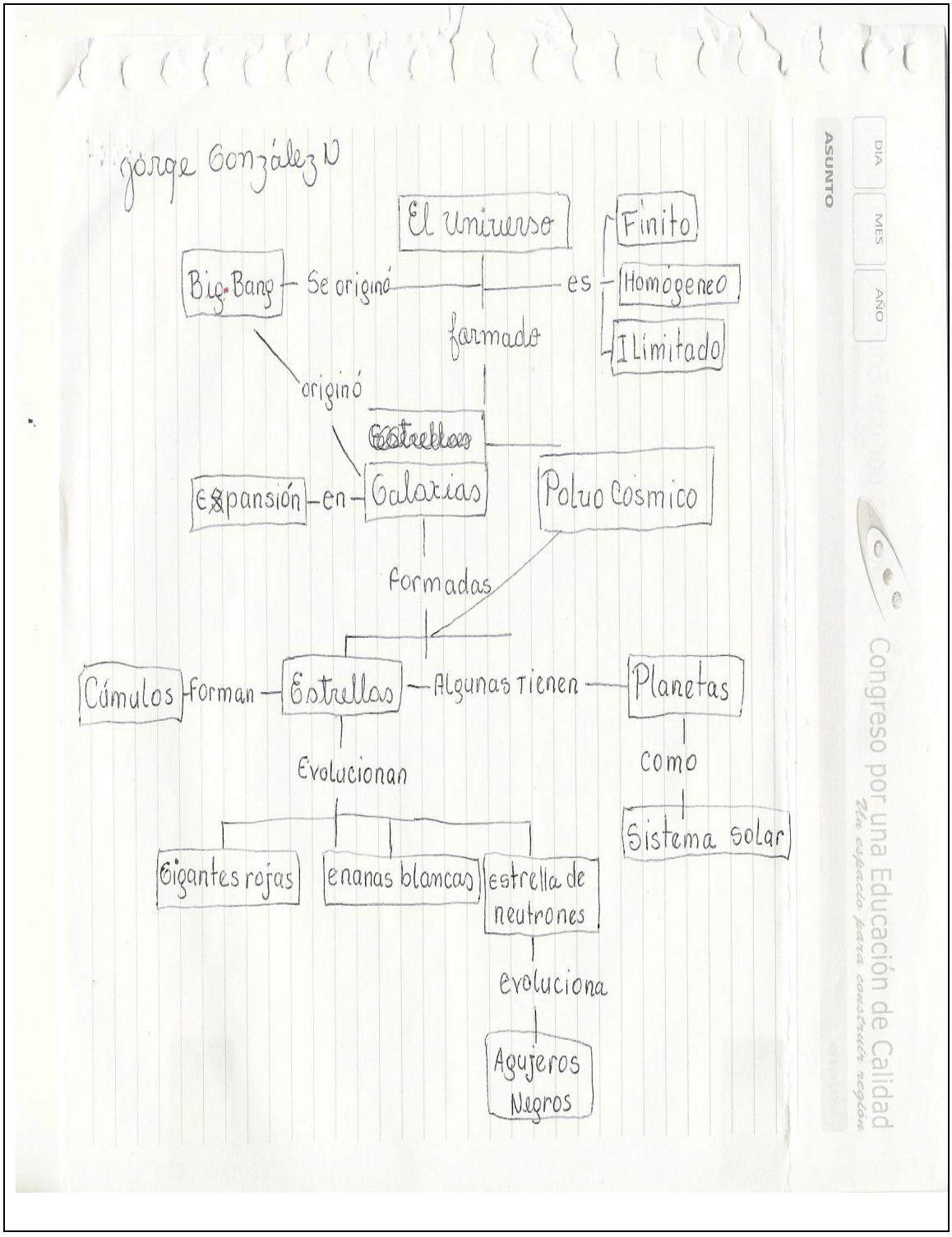


Figura 26c. Mapa conceptual de JG, elaborado en sesión de puesta en común.

COMENTARIOS

Los tres mapas conceptuales de JG, van dejando claro el progreso conceptual de su autor. El primero, realizado y sustentado en la sesión de encuentro, asume un origen para el universo el cual se transforma – evoluciona-expande tanto en tiempo como en espacio, proceso que posibilita la formación de materia y energía y la generación de fuerzas. El segundo y el último contienen ideas claramente relacionadas en términos del modelo cosmológico estándar, ubicando más elementos y mejores relaciones que las que estableció en el primer esquema; el último, como el primero, fué elaborado en la sesión de encuentro.

Con base en estos registros podríamos inferir que, como resultado del proceso vivenciado, este docente ha venido involucrando en su estructura mental algunos conceptos científicos válidos que le han posibilitado enriquecer su representación sobre el universo. Que la nueva información recibida ha logrado estructurarse en su mente conformando modelos mentales más estables que salen a la luz frente a las nuevas situaciones y que van evolucionando en esquemas conceptuales sobre el universo debido a su funcionalidad. Sin embargo, aún faltan etapas y acciones que negarían o corroborarían tal inferencia.

CASO QUINTO. PROFESOR AF

Los diagramas representacionales del profesor AF, mostrados en las figuras 27a y 27b, nos permiten hacer los siguientes comentarios sobre el proceso evolutivo de su conceptualización:

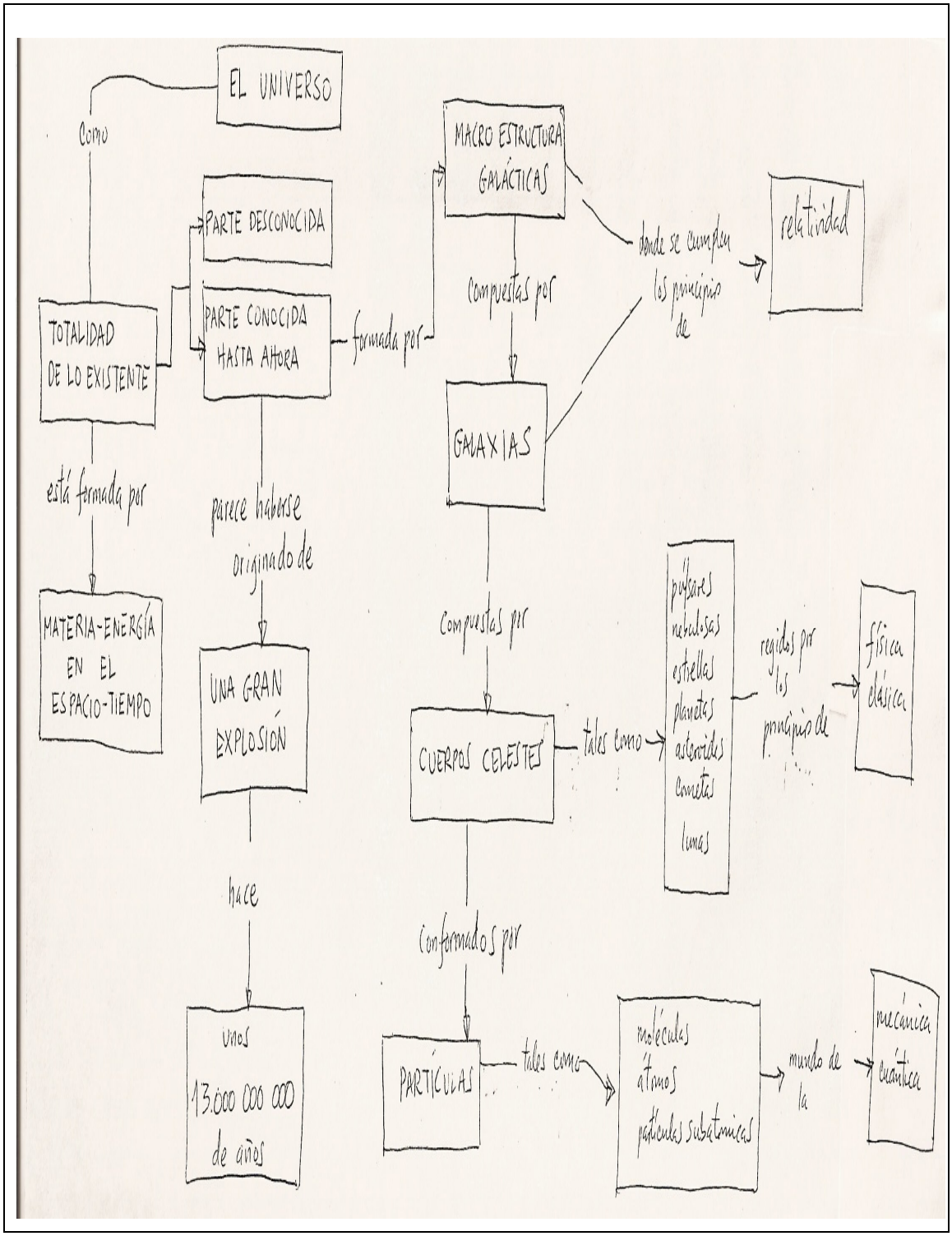


Figura 27a. Primer mapa conceptual elaborado por AF

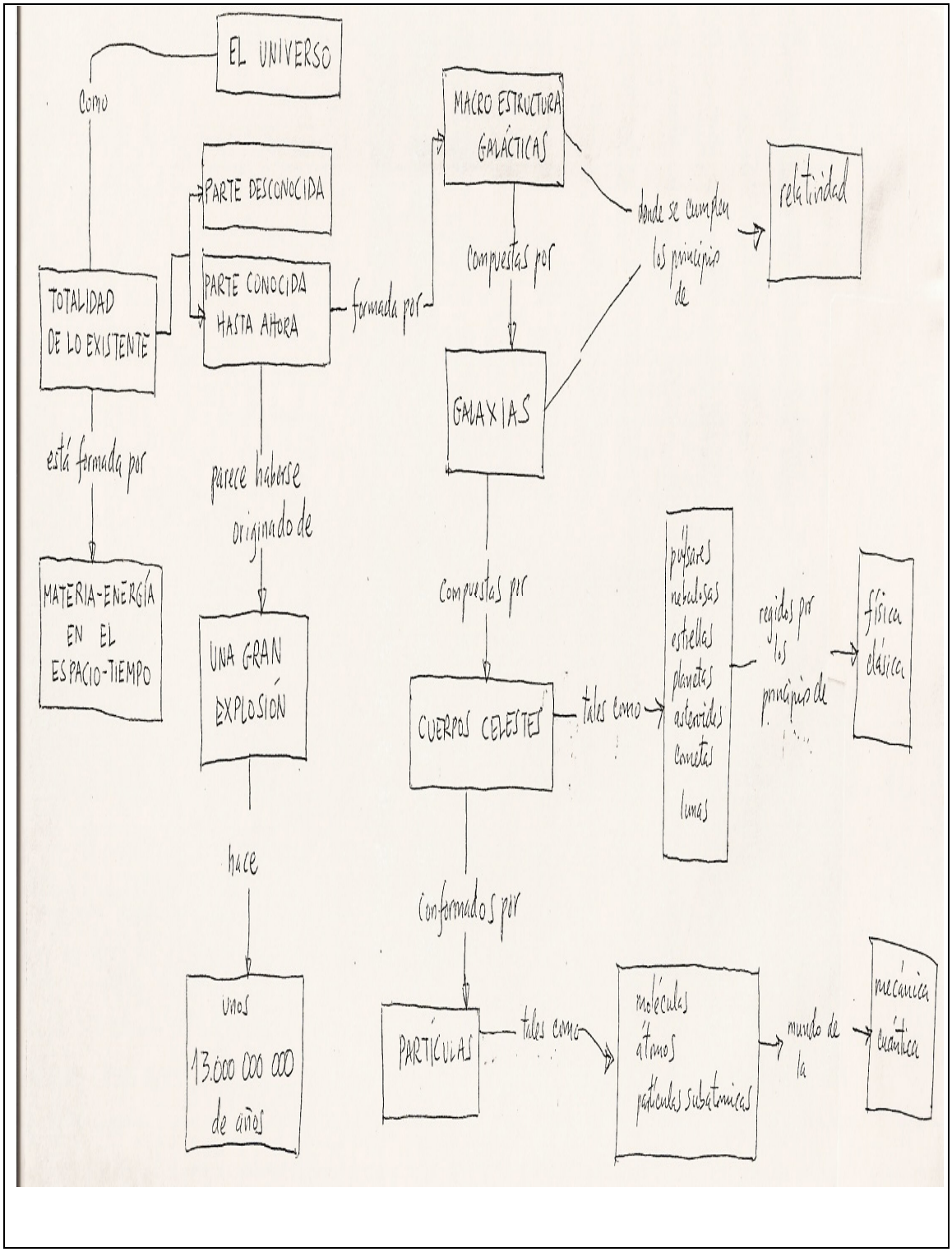


Figura 27b. Segundo mapa conceptual de AF.

COMENTARIOS

AF nos entrega dos mapas conceptuales elaborados en diferente ocasión. Como puede verse, el segundo es ampliación-complementación del primero (ver figuras 27a y 27b). Ambos hacen referencia al origen y constitución del universo desde el Modelo Cosmológico Estándar, pero incluye elementos que forman parte de teorías inflacionarias más recientes. El docente expresa que "*las lecturas realizadas le han permitido adicionar elementos los cuales ha entretejido a medida que entiende las relaciones entre éstos".*

Hemos de tener en cuenta que este profesor y el profesor JC tienen la misma formación profesional; son licenciados en ciencias sociales. De acuerdo con su formación profesional, estos docentes no tienen las bases conceptuales debidas para comprender y aprehender fenómenos relacionados con la Cosmología, la Astronomía o ciencias afines; sin embargo, los elementos y las relaciones incluidas en los mapas conceptuales de AF parecen indicar que su representador posee una clara conceptualización sobre el modelo cosmológico estándar, contrariamente a lo que expresamos en el caso del profesor JC. ¿Quiere decir esto que independientemente de la formación, el sujeto puede incluir en su estructura mental la información que precisa para la elaboración de representaciones sobre el universo científicamente válidas?.

Si tenemos en cuenta que AF es un docente estudioso, lector asiduo y comprometido con su rol como docente, ¿podríamos decir que su participación como coordinador de un semillero de ciencias, ha venido "metiéndolo" en este campo, exigiéndole entender sus principios, leyes y procesos?. Sin embargo, la actividad académica que está desarrollando el profesor JC en la institución donde trabaja, de acuerdo con las connotaciones curriculares que tiene, exigen del docente bases científicas firmes, las cuales aún no hemos detectado,

o no se han reflejado en los registros que hasta ahora tenemos de este docente.

De todas formas, la relación entre los registros que tenemos de los dos docentes marca una diferencia significativa cuya causa aún no tenemos clara. Con Toulmin (1977), podríamos asumir que la cultura tiene gran influencia en la evolución de las representaciones; sin embargo los dos docentes han sido formados en la misma institución, trabajan en instituciones oficiales y se han involucrado en actividades relacionadas con la Astronomía. ¿Nos asoman estos casos a la multicausalidad de los procesos involucrados en las representaciones mentales que los individuos tienen de los eventos, situaciones y sucesos que les toca vivenciar?. O, tendriamos que mirar el contexto-ambiente académico al interior de las respectivas instituciones educativas para darle la razón a Toulmin(op.cit.), cuando asigna peso específico a la cultura?. Posteriores actividades nos irán dando elementos para responder los interrogantes.

En síntesis, pueden identificarse en los nueve mapas conceptuales elementos propios de las teorías cosmológicas sobre la evolución del universo. Se infiere de éstos, que los elementos involucrados y las relaciones establecidas marcan diferencia en la claridad conceptual de sus representadores.

Es apenas natural suponer, como ya lo hemos hecho, que los modelos mentales reflejan la comprensión que tiene el individuo del sistema que representa, cómo funciona y por qué funciona de esa manera. Johnson-Laird (1996), citado por Borges (1996), opina que relaciones más completas y coherentes implican mejores percepciones y visualizaciones.

Podríamos conceptuar, basados en la oportunidad de comparación que nos da el tener en el grupo dos docentes, Licenciados en Ciencias Sociales y dos Licenciados en Biología y Química, cuyas representaciones difieren en su contenido, que más allá de la formación profesional, para el caso que nos ocupa, "representaciones externas del universo", hay elementos que inciden y determinan la estructura de las representaciones elaboradas, que no son fruto de la educación formal recibida.

D. ANÁLISIS DE REPRESENTACIONES DEL UNIVERSO

Se tomaron al azar representaciones del universo elaboradas por miembros de la muestra que no participaron en la segunda etapa de la investigación o sea, la etapa de implementación de la estrategia.

La investigadora entrega a los profesores copia de tres representaciones externas del universo (ver figura 28a, 28b y 28c), realizadas por sujetos que no integraron el grupo que participa en la etapa experimental, para que las analicen, teniendo en mente el Modelo Cosmológico Estándar.

Consideramos que los sujetos se enfrentaron a una situación nueva que les exigió emitir juicios sobre las epresentaciones de otras personas con base en un conocimiento "supuestamente" asimilado desde las lecturas de los diferentes artículos que referenciamos en la etapa de enriquecimiento conceptual; en este sentido, hemos colocado a los sujetos en la necesidad de realizar una operación mental de orden superior que reclama tener un referente más amplio sobre el tema y/o la situación que se trata, nuestro propósito es desvelar si las expresiones y/o juicios emitidos por el sujeto dan cuenta de enriquecimiento-evolución conceptual

La actividad realizada debía poner al descubierto el bagaje conceptual que cada sujeto maneja sobre el modelo estándar del universo pues en términos de éste, ellos debían catalogar la representación objeto de análisis; ya hemos referenciado a Borges(1996), cuando expresa que nuestra habilidad para hablar de un fenómeno u objeto está íntimamente relacionada con nuestro conocimiento de él.

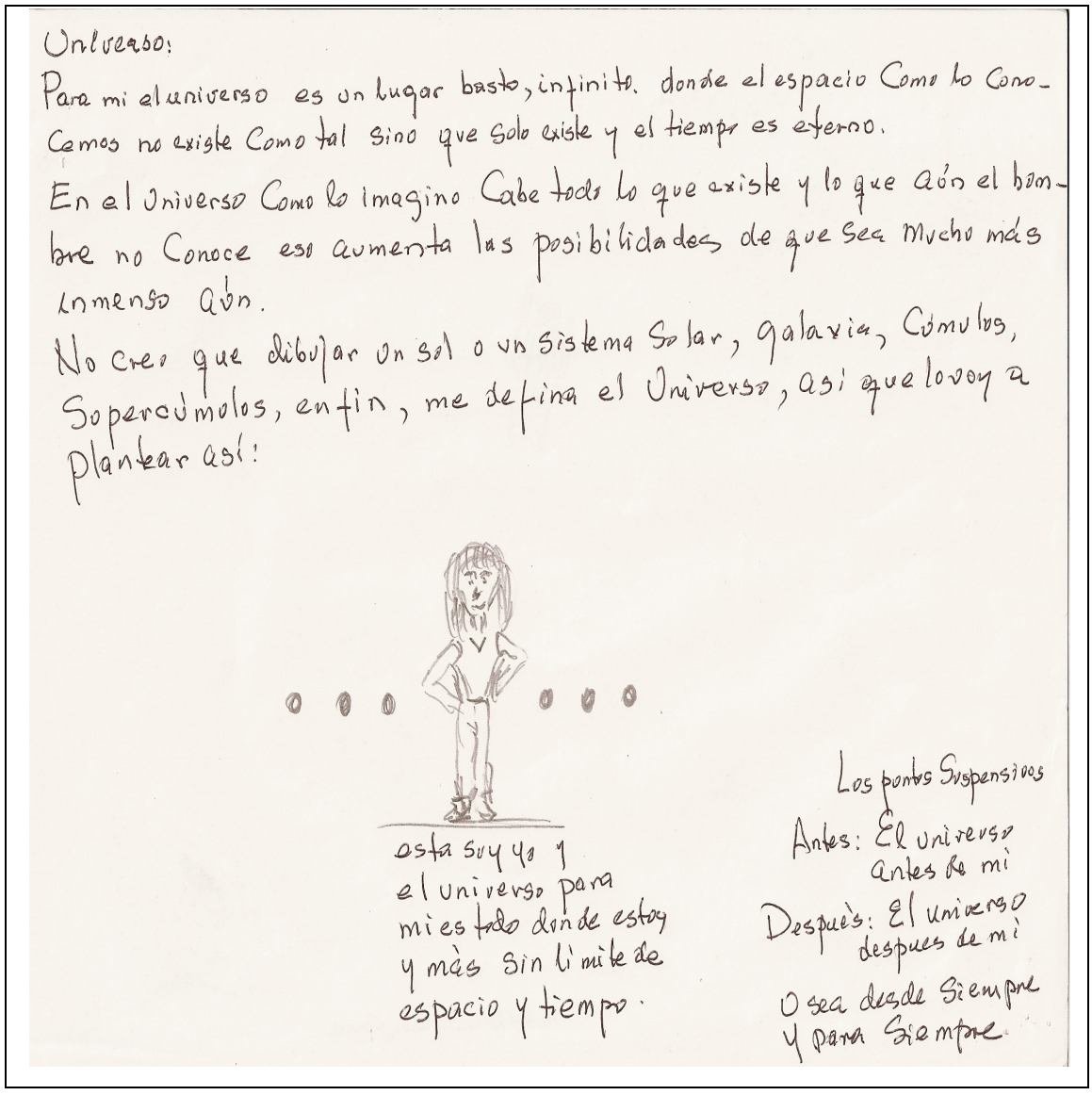


Figura 28a. Representación del universo elaborada por uno de los 79 miembros de la muestra indagada.

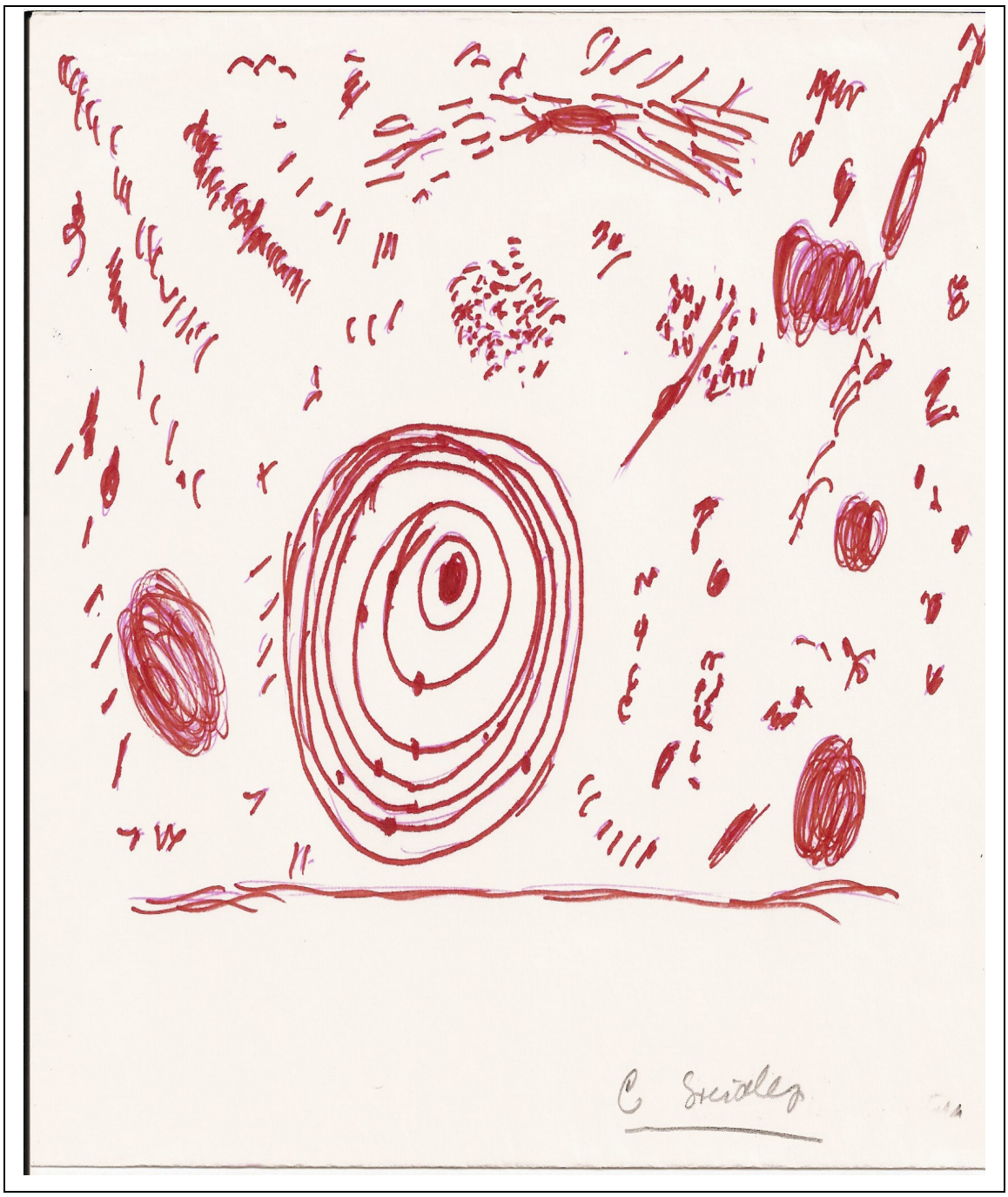


Figura 28b. Representación del universo elaborada por uno de los 79 miembros de la muestra indagada

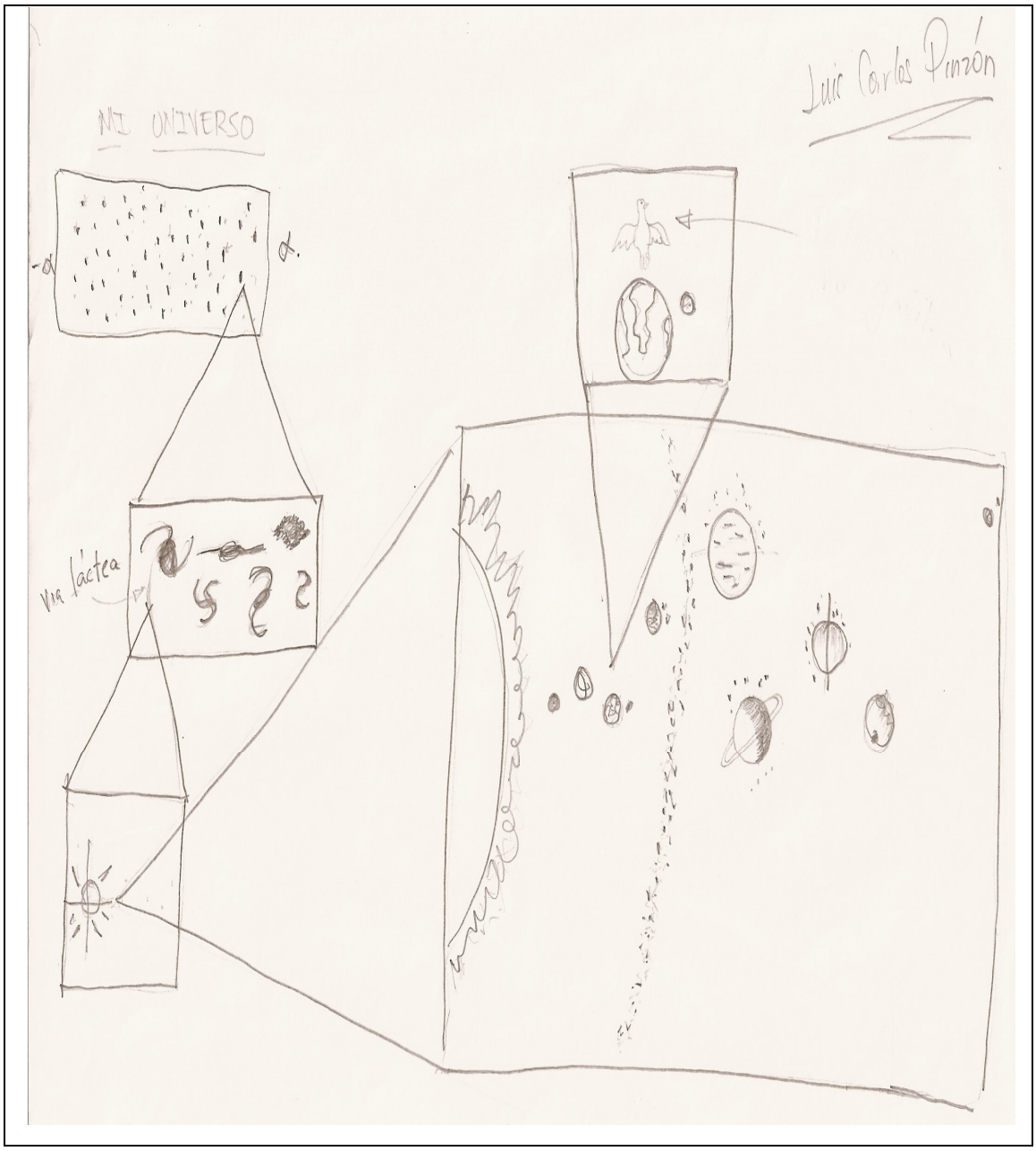


Figura 28c. Representación del universo de uno de los sujetos que no participaron en la etapa de aplicación de la estrategia

Este ejercicio fue realizado casi al final de la investigación lo que sugiere pensar, en términos del dinamismo y recursividad de los modelos mentales, que nuevos elementos y nuevas relaciones han sido incluidas en éstos y por lo mismo son más completos y coherentes, más estables, transformados quizá en esquemas

conceptuales, lo que se percibirá en una mayor capacidad explicativa. Las representaciones analizadas, se muestran en las figuras 28a, 28b y 28c.

El profesor RG, inicia la puesta en común de opiniones y juicios de valor en torno a las representaciones. Expresa que él "*percibe en los modelos características que le permiten catalogarlos como universo antropocéntrico, universo heliocéntrico-colage y universo organizado".* Categorización bastante análoga a la que hicimos de estas representaciones en el capítulo II. Describe el llamado "*universo organizado como una representación que denota un pensamiento claro frente a los constituyentes del universo y sus relaciones y el "universo heliocéntrico-colage" es, según el profesor RG, una colección de objetos que tienen como referencia máxima al sol".* La actitud del docente al analizar las tres representaciones desvela al sujeto que se asume poseedor de un conocimiento. No hace referencia al que señaló como universo antropocéntrico pero en cambio fija su atención en el llamado universo organizado respecto al cual sigue opinando: "*veo que quien hace la representación toma en cuenta la homogeneidad del universo, representa variedad de galaxias y con destreza va indicando qué representa cada cuadro".* Luego expresa: "*yo dejé muchas cosas por fuera de mi representación".* Entre los integrantes del grupo se generan opiniones referidas a la intervención del docente.

El profesor AF, después de expresar su acuerdo con las categorías asumidas por RG, le dedica tiempo al que han llamado "universo antropocéntrico" y señala: "*su autora ha enmarcado lo que le rodea y lo que de cierta manera le afecta a partir de ella misma; su conocimiento del modelo cosmológico estándar está interceptado con una representación particular que no tiene el carácter científico. Creo encontrar que hay mucho más conocimiento y desarrollo científico*

tras la tercera representación cuya categorización comparto con RG".

El profesor OM se pone de pié, toma la palabra, mira una y otra vez cada una de las representaciones y con aspecto solemne inicia su análisis desde cada elemento incluido en los respectivos modelos. Está de acuerdo con AF y con RG en la catalogación que hacen de las tres representaciones y admite que, "la *estructura conceptual de los tres autores de las representaciones difiere en términos de sus concepciones; veo mayor desarrollo conceptual en la representación de quien ha incluido no sólo galaxias, como lo hice yo, sino que va desglosando poco a poco el proceso de constitución de éstas hasta llegar a nuestro sistema solar y en él a la tierra".* Toma otra de las representaciones y opina, *"respecto al universo "colección de objetos", la autora hace parte de quienes ven los planetas embebidos en estrellas; esto es, asumen un sistema solar con muchas otras estrellas diferentes al sol. Al respecto, les cuento, que en las actividades que desarrollo con estudiantes y docentes de las diferentes instituciones de la región, me he encontrado con docentes que se admiran cuando les hablo del sistema solar y su única estrella, el sol, creo que es una concepción que tienen no sólo los licenciados sino profesionales de otras áreas del conocimiento".* Hace una pausa y continúa, *"En cuanto a la representación antropocéntrica, acojo todas las consideraciones que hizo el profesor AF respecto a ella".* Al igual que RG, este docente al emitir sus opiniones deja claro las implicaciones cognitivas que conlleva su rol como coordinador del planetario.

El profesor JC nos impresiona gratamente cuando además de expresar que hay en las tres representaciones varias concepciones del universo; recordemos que para él hay universos subjetivos, sociales, científicos…, analiza en dos direcciones la tercera

representación haciendo énfasis en las relaciones espaciales de sus componentes; "*es esta representación una expresión del concepto científico de universo al que yo me sumo pero que al hacerlo no dejo por fuera las otras posibles concepciones del universo*" frente a la diversidad y diferencia en las representaciones objeto de análisis argumenta: "*la representación del universo es una actividad que no se solicita hacer todos los días; para nosotros fue una situación nueva y rara que significó un esfuerzo mental "*.

Sobre este punto de vista el profesor JG opina que para la mayoría de los docentes "*la Cosmología es un campo extraño por lo que su conocimiento del universo no difiere mucho del común",* expresiones que denotan estar de acuerdo con el análisis que hacen sus colegas; se muestra escéptico frente a los diferentes recuadros de la tercera representación y pregunta: "*por qué los elementos han sido desglosados a través de los cuadros hasta llegar a la representación de una paloma a la que no le veo ninguna funcionalidad?"*.

En esta actividad, análisis de las representaciones y sustentación de sus respectivas posturas, se mostraron diferencias en el razonamiento de los miembros del grupo. Respecto a la tercera representación no todos percibieron al comienzo el por qué de los distintos cuadros y recuadros. Hubo necesidad de explicar un poco para que los miembros escépticos frente a esta representación comprendieran su estructura. Nos llamó la atención cómo después de la explicación el profesor JC inicia una interpretación del modelo en términos de lo que su mente ha logrado captar del modelo cosmológico estándar: "*espacialmente, tenemos una representación clara. El docente que la hizo ha incluido las galaxias como los constituyentes básicos. Veo sin embargo que este primer recuadro nos dice que el universo se extiende hasta lo infinito. ¿Estoy errado?. ¿El unverso es finito e ilimitado, no es asi?. O, ¿ será que*

estos símbolos quieren decir ilimitado?". El análisis nos mostró cómo ha ido integrando coherentemente en su léxico palabras propias del lenguaje científico, especialmente de la Cosmología, elemento que resaltamos pues al inicio habíamos percibido una expresión verbal y escrita desordenada en este docente locuaz.

3.1.3.5. A MANERA DE CONCLUSIÓN

Debemos hacer varias consideraciones sobre el proceso anterior:

En términos de las situaciones que enfrentaron los docentes, debemos poner de relieve que los documentos, videos y conferencias pusieron a los miembros del grupo en contacto con procesos científicos, hipótesis y fundamentaciones teóricas que no todos manejan, lo que nos exige hacer diferenciaciones respecto al repertorio del sujeto y sus competencias frente al tema indagado, elemento que de acuerdo con Gérard Vergnaud, direcciona sus actitudes.

Creemos que el interés del sujeto en torno al tema y la necesidad de aprenderlo y dominarlo se convirtieron en factor diferenciador.

- *Interés y necesidad del docente*. Esto es un elemento que resaltamos, pues desde nuestra óptica ello marcó una diferencia significativa entre quienes llegaron al grupo y se quedaron y los que en algún momento se retiraron; entre quienes por su afición a la Astronomía participaron en las diversas situaciones y eventos y quienes por "necesidad profesional" asumieron el proceso como una oportunidad para conocer lo que la educación formal no les enseñó. En este sentido, creemos que *interés y necesidad* direccionan y dan forma al contexto personal y profesional del individuo quien para

responder a sus necesidades profesionales y ante la falta de oportunidades desde la política de actualización y perfeccionamiento que ofrece el gobierno, se involucra en procesos fuera de sus responsabilidades laborales, fuera del horario de trabajo y lejos de representarles algún otro beneficio que su propia cualificación. Por ello nos reafirmamos en la convicción que la permanencia en el proceso, la desigualdad en el progreso de sus representaciones y la participación y aportes de parte los distintos miembros del grupo se debió tanto *a la idiosincrasia de sus representaciones mentales, como al interés, necesidades, actitud y nivel de compromiso con el proceso; en términos de Ausubel (1993), a la predisposición para aprender, lo cual es uno de los componentes básicos del aprendizaje significativo.*

Como ejemplo ilustrativo señalamos en primer lugar el caso del profesor JC quien lidera en su Institución Educativa un trabajo relacionado con el conocimiento del cosmos. Para el docente aludido asistir a las conferencias, participar en los conversatorios, observar los videos, leer los documentos, compartir sus convicciones y conceptualizaciones era una oportunidad que debería aprovechar tanto para sus actividades de aula como para seguir siendo catalogado entre sus colegas como el líder de un proceso de renovación conceptual y actitudinal frente al ejercicio docente.

A pesar de sus limitaciones en cuanto al campo conceptual relativo a la Física desarrollada a lo largo del pasado siglo, sin mencionar el tiempo que debe invertir para desplazarse desde su lugar de trabajo hasta la ciudad de Barranquilla donde se llevan a cabo las reuniones de puesta en común[23], podemos detectar avances significativos en cuanto al manejo de términos y conceptos relativos a los modelos

[23] Debemos recordar que el profesor trabaja en una institución oficial de carácter municipal. Que el municio de Candelaria está ubicado en el cono sur del departamento; es uno de los más distantes de Barranquilla

cosmológicos recientes. En sesiones de socialización el profesor ha expresado: "*he leído un documento sobre Einstein y su teoría de la relatividad y me he asombrado por las afirmaciones que allí se hacen y porque he podido entenderlas;(…). También hace alusión a* otro de los documentos que la investigadora entregó para que lo leyeran: *"debo reconocer que "conocimiento de sentido común" era una expresión que no tenía la relevancia que hoy tiene en mi desempeño frente a los estudiantes ".* En otra ocasión argumenta: *"tengo que admitir que a través del documento sobre modelos cosmológicos, he podido establecer diálogo con mis colegas de Física, aspecto que era bastante improbable antes de leerlo, pues considerábamos muy distintos los campos de aplicación de cada ciencia"*

¿Deberíamos aventurarnos a opinar que la estrategia metodológica ha propiciado una importante evolución en la representación de JC sobre el universo?. La próxima etapa nos dará mayores elementos para reafirmarnos en esta postura o revalidarla.

Otro ejemplo es la situación de OM, para quien "saber las cosas relacionadas con el cosmos" es un imperativo categórico pues es la imagen de una institución que ha depositado en él la responsabilidad de liderar un proceso de divulgación científica, hecho que lo mantiene al tanto de los progresos relativos a las teorías y fenómenos relacionados con la Astronomía, la Cosmología y las ciencias afines. Hemos expresado la seriedad con que ha asumido ese rol y el respaldo que el docente le ha ofrecido a este proceso. Aunque no tenemos de éste suficientes documentos que nos permitan hablar de evolución en su representación del universo, (hasta el momento las contribuciones del docente han sido orales), si hemos notado más intervención, mayor seguridad cuando tiene que fundamentar sus juicios respecto a la situación que se analiza y mejores juicios de valor.

¿Por qué no elabora documentos?. ¿Desvela ello falta de motivación o interés?. ¿Es válido suponer que OM dispone del repertorio y de las competencias necesarias para enfrentar las diferentes situaciones que la aplicación de la estrategia le presentó y por lo mismo no cree necesario entregar documentos?. Esperamos hallar respuesta a estos interrogantes.

Como ya dijimos, la formación profesional del docente y la especialización que actualmente cursa son elementos que determinan y direccionan contenidos y material de estudio e investigación que día a día debe manejar. El ejercicio de su función como "Coordinador Académico del Planetario" le obliga "saber", "estar informado", "manejar" y "saber dar respuestas válidas" a quienes le preguntan sobre fenómenos o sucesos relativos a la Cosmología. Su rol así lo exige.

Por otro lado, es lógico pensar que, desde el ejercicio de su profesión, él ha logrado conformar en su mente una estructura conceptual coherente, invariantes operatorios, que le ha posibilitado responder a las situaciones planteadas con mayor seguridad que el resto de los miembros del grupo.

Si comparamos los casos de los profesores OM y JC, encontramos similitud en la exigencia que su función laboral les impone; sin embargo, podríamos asumir que la formación profesional de OM conjuntamente con el cargo que desempeña y la especialización que cursa han generado en la mente del profesor una estructura conceptual que le permite entender, comprender y generar juicios en torno a las situaciones estudiadas, volver a la representación que mentalmente maneja y recomponerla para usarla de nuevo, en contraste con lo que la formación profesional de JC le aportó, hecho que estaría en concordancia con lo que han afirmado los autores que

hemos tomado como fundamento de nuestra propuesta. ¿Contradice esta parte lo que habíamos afirmado sobre el peso que tiene la educación formal en las representaciones externas que los sujetos elaboraron sobre el universo?. Creemos que no, por el contrario, de acuerdo con expresiones de los propios docentes, su conocimiento del universo proviene de sus actividades extracurriculares y de las exigencias que su desempeño profesional les ha hecho.

Hemos de señalar, que si la formación profesional de JC no lo puso en contacto con principios, leyes, teorías, de la Física Moderna, de tal manera que éste pudiese anclar en su mente los subsumidores o invariantes operatorios o constructos o esquemas,…, relacionados con esta temática, pone en evidencia dos factores de gran influencia en la estructuración de las representaciones del universo que hacen los sujetos:

Hemos encontrado cómo la *ecología conceptual* facilita o impide la evolución-reestructuración-enriquecimiento de las representaciones mentales y cómo la *necesidad* del docente le impulsa a buscar espacios de cualificación que le posibiliten adquirir mayor dominio conceptual sobre temas y procesos relativos al universo, esto es, frente a situaciones nuevas, construir modelos mentales sobre éstas más coherentes y válidos. Para el profesor JC, la asistencia al grupo le implica desplazarse desde Candelaria [24] hacia Barranquilla para asistir a una sesión de más de tres horas, después de haber cumplido su jornada de trabajo y regresar a su casa cuatro o cinco horas más tarde sin que medie ningún otro estímulo que su cualificación profesional en esta área del conocimiento.

Para los miembros del grupo, excepto para OM, el proceso llevado a cabo constituyó una oportunidad para exigirse leer e investigar sobre

[24] Uno de los municipios del departamento del Atlántico más distantes de su capital, Barranquilla.

temas que están fuera del día a día de su ejercicio profesional, pues la formación recibida no les proporcionó conocimientos sobre el universo, elemento que corrobora nuestra apreciación sobre el poco efecto que la educación formal tiene en la estructuración de representaciones mentales científicamente válidas en torno al universo. En todo caso, los docentes fueron conscientes que no contaban con el bagaje científico necesario y suficiente para asimilar las situaciones a que se enfrentaron, aspecto que desveló titubeos e inseguridad por parte de algunos miembros del grupo; como dice Vergnaud(1993, p.2), "… *no contar con el repertorio y las competencias necesarias obliga a los docentes a un tiempo de reflexión y exploración, a vacilaciones y tentativas frustradas*…"

El profesor JG es un profesor cuya puntualidad a las reuniones y el cumplimiento de las tareas le aportaron muchos elementos que nos posibilitan hablar de un enriquecimiento conceptual que marca diferencia sensible entre sus representaciones. Los documentos y testimonios orales que el profesor aportó en el proceso (ver cuadro 6, figura 22 y figuras 26a, 26b y 26c), dan cuenta de su desarrollo. Su disposición para asistir a las socializaciones es indicio que el docente le otorgó importancia a las reuniones, situaciones y eventos, que lee e investiga para cumplir con las tareas. Siendo profesor de Biología, algunas veces le ha tocado la responsabilidad de enseñar a sus alumnos el concepto de Universo.

La participación del profesor OM, semejante a la de RG en cuanto a la oralidad nos reafirma en la opinión que hicimos sobre sus representaciones al principio del proceso. Asumimos que hubo enriquecimiento conceptual por los elementos que saltaron a la vista en sus argumentaciones frente a las situaciones y eventos que hubo que enfrentar. Los dos docentes reflejan en sus aportaciones un bagaje científico aunque RG reconoce no tener las bases

conceptuales firmes (los subsumidores a la luz de Ausubel) para su aprehensión.

Nos atreveríamos a pensar que en la mente de RG existen conceptos en acción que él combina y recombina para dar respuesta a las situaciones, esto es, construir modelos mentales frente a las situaciones nuevas; sin embargo, no podemos decir que exista un manejo conceptual sobre teorías y principios de la Física y la Cosmología, un conocimiento de éstas plenamente estructurado.

En *síntesis,* desde la concepción biologicista que Johnson-Laird) y Gérard Vergnaud(1993) le atribuyen al proceso de generación del conocimiento y con base en los documentos, podemos asumir que en las representaciones de los sujetos se ha generado evolución, enriquecimiento a lo largo de las situaciones y eventos que han exigido de éste explicaciones, anticipaciones e inferencias; si bien es cierto que los autores mencionados reconocen la parsimonia de la evolución al admitir que las preconcepciones que tiene el sujeto son difíciles de cambiar, debemos recordar con Toulmin (1977), que nuestras facultades conceptuales son producto de la herencia pero somos capaces de transformar lo heredado; "… *nuestro pensamiento reflexivo individual puede innovar, modificar y con el tiempo reemplazar esos conceptos heredados en cuyo caso, tanto los conceptos originales como sus reemplazantes serán producto de un proceso cultural y expresión de nuestras capacidades innatas".(Op. cit. pp. 53, 54).*

- A esta altura del proceso tenemos elementos para seguir reafirmándonos en la opinión que antes hemos emitido en torno a la influencia que tiene la formación profesional del sujeto en la evolución de sus representaciones, dado que ésta ha sido determinante en cada uno de los casos referenciados. Sin

embargo aún falta mayor información para darle validez a la conjetura.

- **3.1.4: RECURSIVIDAD, EXPLICITACIÓN**. *Es la etapa que le posibilitará al docente volver a su modelo revisarlo, CONTRASTARLO y verificar su funcionalidad.*

3.1.4.1.– ACCIÓN:

Solicitar a los docentes usar su "modelo del universo" para hacer explicaciones a situaciones y eventos propios de la Cosmología incluyendo argumentos que las sustenten. Desde su modelo del universo cada representador debe verificar su funcionalidad en términos de la capacidad del modelo de proporcionar explicaciones coherentes a las nuevas situaciones que se enfrenten

3,1.4.2- JUSTIFICACIÓN

Esta última fase busca poner en acción la recursividad del modelo. Como lo hemos expresado antes, para Johnson-Laird(1983), los modelos mentales pueden ser estructuras dinámicas, inestables e incompletas generados frente a una situación concreta y situados en la memoria de trabajo; pero también pueden ser estructuras estables localizados en la memoria de largo plazo los que los semejaría a los esquemas conceptuales de Vergnaud(1966). Podemos expresar con base en el pensamiento del autor citado que, la aprehensión de un modelo del universo científicamente válido requiere de tiempo suficiente y de un sin número de situaciones cuya variedad y riqueza posibilite a los sujetos construir representaciones y/o transformar las que tienen de acuerdo con su funcionalidad frente a las explicaciones e inferencias que haya que hacer en una determinada situación.

La funcionalidad es pues, una condición inherente a los modelos mentales que le permite al sujeto detectar si existe o no correspondencia entre las predicciones generadas por el modelo y los eventos externos a los que se enfrenta. Greca y Moreira(2.003), resaltan el hecho que si los modelos mentales construidos le resultan útiles al sujeto para una variedad de situaciones, es posible que todo o parte del modelo sea guardado en la memoria de largo plazo acrecentando el bagaje de conocimientos del sujeto, convirtiéndose entonces en esquemas de asimilación.

Con base en estas consideraciones y para direccionar la discusión, formulamos los siguientes interrogantes:

- Si tuviesen que explicar a sus alumnos el origen y la existencia de agujeros negros o la existencia de otros mundos, ¿cómo lo harían desde su modelo?.
- ¿Cómo lo harían utilizando el Modelo Estándar?.

*3.1.4.3- ¿*QUÉ ENCONTRAMOS?.

Frente al problema planteado, los docentes del grupo comentan las situaciones particulares que les ha tocado vivir con sus alumnos y colegas.

El profesor RG inicia su intervención con una reflexión en torno a los múltiples errores conceptuales que estudiantes, profesores y otros profesionales manejan sobre los agujeros negros y conceptos relacionados con el universo y sus constituyentes y expresa: *"a los alumnos les encanta trabajar conceptos de frontera en Cosmología como agujeros negros, pero hay que reconocer que su interés nace de la TV y no de la misma escuela";* hace referencia explícita a la necesidad que tenemos los docentes de estar al día respecto a estos temas pues*, "ellos apasionan a los alumnos y traen a clases una*

serie de ideas extraídas de la televisión muchas veces distorsionadas por lo que el docente debe trabajarlos con estrategias que posibiliten anclar en la mente de los alumnos conceptos claros y válidos científicamente, lo que exige de ellos estar al día respecto a los avances científicos de la época; estar culturalmente alfabetizados".

Este comentario desvía por un rato la discusión en torno a las pocas oportunidades que han tenido los docentes del grupo, de cualificarse en este campo del conocimiento. El profesor JC comenta: "*hasta el momento, desde las políticas de cualificación no nos han ofrecido cursos relativos a la Cosmología y la Astronomía".* La investigadora retoma la pregunta e invita al docente a seguir su exposición frente al problema planteado, llamado que el profesor acoge socializando su montaje. "*es simple, comenta, consiste de un paño fondo blanco a cuadros, previamente enmarcado, una bola de hierro pesada y una bolita de cristal. La bola de hierro (gran masa) se coloca en el centro del paño y se suelta para que los alumnos vean lo que pasa; naturalmente se va al fondo haciendo una especie de agujero y curvando la tela (distorsionando el espacio), tanto más cuanto más pese el objeto que se coloca en ella. Posteriormente se suelta desde el extremo del marco una bolita de cristal la cual se desplaza describiendo trayectorias curvas cada vez más cerradas en torno al hueco de la gran masa de hierro, hasta que se va al fondo de éste"*. Queda un instante en silencio y dice: "*es una forma peyorativa pero ilustra el concepto".* Frente a esta sentencia del profesor RG, la investigadora le pregunta: ¿cabe en tu modelo de universo este montaje y las explicaciones que has dado?. El profesor responde: *"He asumido en mis representaciones externas del universo el Modelo Cosmológico Estándar, se que está en crisis por los nuevos descubrimientos; así que, asumo válido mi montaje frente a la representación que tengo del universo".*

El profesor OM toma la palabra para socializar frente a todos el proceso que sigue: "*exploro el pensamiento de los estudiantes y me doy cuenta que su interés es grande por conocer sobre agujeros negros";* y agrega, "*detecto en la exploración algunos conceptos erróneos que tienen los alumnos como que los agujeros negros se tragan en forma súbita los objetos a su alrededor similarmente como lo hace una aspiradora*". Recrea entonces algunos casos basándose en las lecturas que ha realizado en torno a este tema y aludiendo su experiencia como coordinador académico del planetario; "*todos los docentes hablan de agujeros negros, les gusta abordar este tema, pero en el fondo, los docentes ignoran lo que son los agujeros negros"*

El profesor RG interrumpe para traer a colación el "efecto espaguetti" ilustrado por Carl Sagan en su obra Cosmos. Así mismo tanto este docente como los profesores JG, AF y OM referencian otras obras del mismo autor como "El mundo y Otros demonios", para ilustrar y fundamentar su exposición, elemento que resaltamos como indicio del progreso experimentado en la conceptualización.

El profesor OM retoma la palabra y se pregunta: *¿Cómo ilustrarlos en torno al concepto de agujero negro*?, y expresa: "*para explicarles cómo se originan hecho mano a las características que tienen los cuerpos celestes similares a las de los seres humanos en cuanto nacen, crecen y mueren para ilustrarles el hecho que un agujero negro se origina con la muerte de una estrella".* Para el profesor OM esta idea "*posibilta a los estudiantes entender mejor las características de los agujeros negros al tiempo que van "sacando fuera" de su mente muchos mitos en torno a éstos".*

El profesor AF que había permanecido callado pide la palabra para comunicar sus ideas y expresa: "*me baso en el concepto de*

evolución y trato de dejarles claro a los estudiantes que los agujeros negros son un estado en el proceso evolutivo de las estrellas". En torno a este respecto señala, "*no sólo los estudiantes sino muchos de sus colegas creen que los agujeros negros son "estrellas pesadas*". Hasta aquí los profesores que han intervenido admiten que su modelo del universo tiene mucho que ver con el Modelo Cosmológico Estándar, hecho que tratan de ilustrar utilizando expresiones propias de la cosmología de punta. El profesor AF se refiere, por ejemplo, "*a la necesidad que tienen los exploradores del universo de detectar las ondas gravitacionales para mostrar que éstas son la causa de las agrupaciones másicas del universo"*

El profesor JG, con su forma de ser callado y parco sólo interviene en las exposiciones de sus compañeros para hacer comentarios puntuales sobre la situación de su entorno laboral en una institución para sordomudos. Para este docente "*el lenguaje de señas limita mucho el conocimiento a impartir y más aún si de conocimiento científico se trata"*. Como los profesores anteriores, este docente nos dice que "*sus representaciones del universo están realizadas al tenor del Modelo Cosmológico Estándar*" y continúa: "*temas tan específicos como agujeros negros requerirían de una estrategia metodológica especial que no exija prioritariamente el lenguaje de señas*" ; frente a esta aseveración el profesor MM, el cual referenciamos antes, conceptúa: "*pienso que tu más que nadie, tienes que buscar estrategias didácticas basadas en imágenes, para que tus alumnos sordomudos tengan la oportunidad de conocer leyes y fenómenos de la Cosmología"*

¿Podríamos aventurarnos a decir que todos los docentes del grupo han asimilado propiedades y procesos propios del Modelo Cosmológico Estándar del universo y más aún, de las teorías

cosmológicas más recientes? . La próxima etapa nos proporcionará los elementos que se requieren para afirmar o negar esta cuestión.

3.1.5. ANÁLISIS, CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES

En primer lugar haremos una evaluación comparativa de la representación inicialmente elaborada y la que elaboraron al final del proceso, para sacar conclusiones y hacer recomendaciones y paralelamente, formular juicios valorativos sobre los niveles de conceptualización alcanzados. Para ilustrar al lector, haremos mención a otros documentos que conjuntamente con los ya referenciados, proporcionan evidencias sobre el desarrollo (enriquecimiento conceptual) de los profesores; es decir, haremos acopio a los elementos que constituyen la "traza" de la evolución, transformación de las representaciones mentales sobre el universo de cada uno de los sujetos involucrados en el proceso.

Posteriormente, haremos referencia a los resultados de una entrevista que se hizo a los integrantes del grupo con el objeto de acopiar evidencias sobre las apreciaciones que tienen del proceso desarrollado en términos de lo que éste pudo influir en su conceptualización sobre el universo.

En síntesis, el análisis comparativo de las dos representaciones, conjuntamente con los datos arrojados por los otros documentos ya analizados y la entrevista en profundidad, nos permitirá emitir juicios de valor y de conocimiento en torno a la funcionalidad de la estrategia.

3.1.5.1- CON BASE EN DOCUMENTOS ELABORADOS:

CASO 1: Profesor JC

De acuerdo con las dos representaciones que sobre el universo hizo el profesor, podemos vislumbrar indicios de un desarrollo conceptual que empieza a mostrar alguna fundamentación (ver cuadro 11 y figura 29).

Si bien es cierto que la representación pictórica del universo, entregada al final del proceso, no podría incluirse en el grupo de representaciones que tienen mayor coherencia con las teorías

Representación inicial
El universo es el descubrimiento de sí mismo, En los Demás. Es la Existencia pasajera de la vida, De mundos, vivencias, que coincide con el Cosmo De los demás. Conclusión, no podemos existir sin el otro, somos viajeros del espacio y el tiempo en un mundo que llamamos Nuestro Universo y Que necesariamente compartimos con los demás para no morirnos de tristeza y Soledad. Qué es el universo? Estas ideas nacen de todos lo que nos Rodea o Existe (Filosófico), que se hace científico con el conjunto de astros Profesor Ciencias Sociales

Cuadro 11. Representación inicial del universo del profesor JC

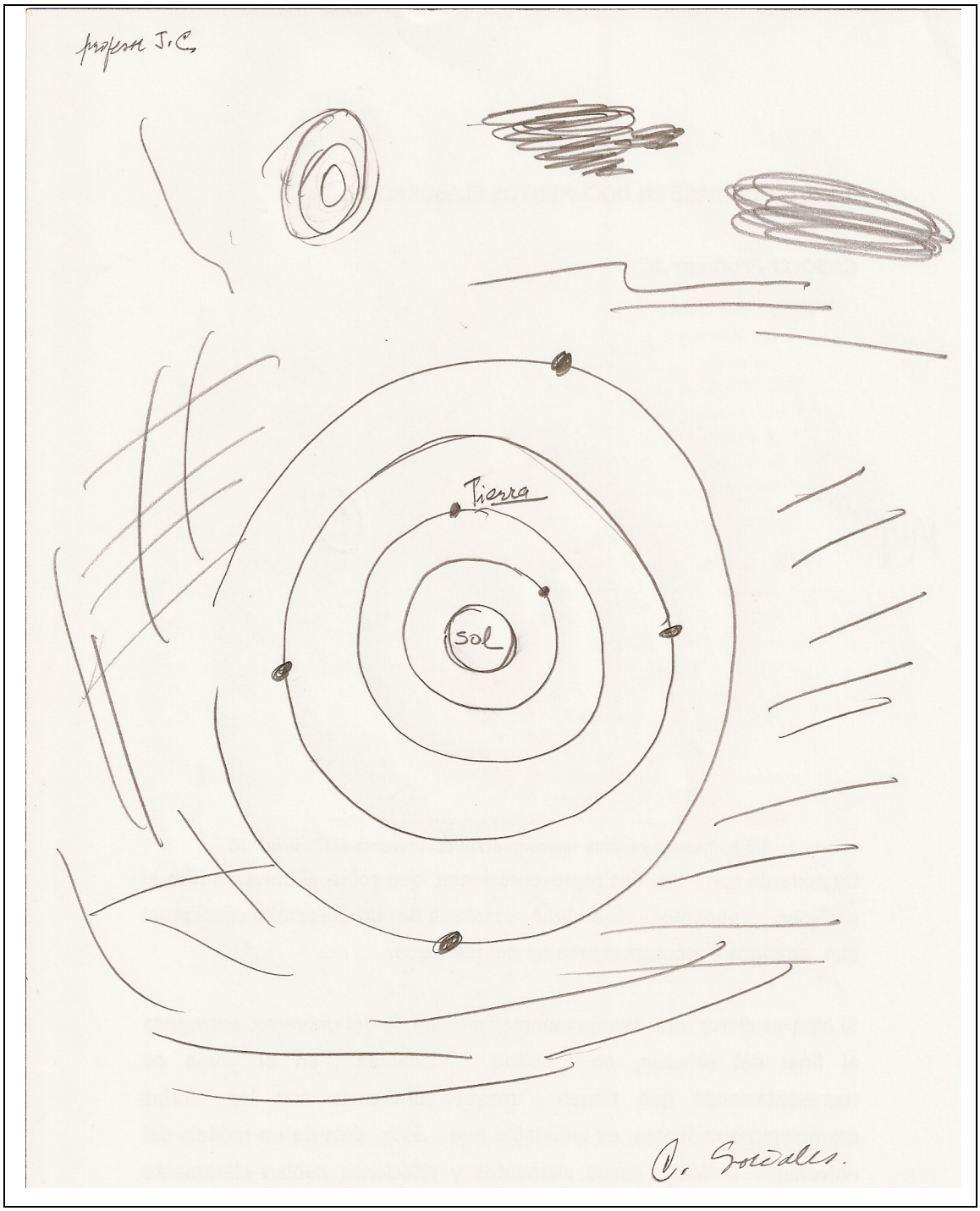


Figura 29. Representación del universo del profesor JC hecha al final del proceso

cosmológicas recientes, es indudable que ésta desvela un modelo del universo definido, cuyos elementos y relaciones hablan claramente sobre la conceptualización que subyace detrás de ese universo que

JC nos ha representado, inferencia que no podíamos hacer frente a la primera representación.

Tanto Johnson-Laird(1983), como Gérard Vergnaud(1996), admiten que las situaciones a las que se enfrente el sujeto le posibilitan incorporar en su estructura mental elementos que van enriqueciendo esas estructuras; pero ponen de manifiesto que como resultado de este proceso el sujeto puede elaborar modelos mentales confusos, no acabados y en muchas ocasiones contradictorios. Vergnaud, asume además que, de acuerdo con la ecología conceptual que maneja el sujeto éste podrá desempeñarse con mayor o menor grado de seguridad frente a situaciones nuevas; si no tiene un referente conceptual apropiado, el sujeto dudará, cometerá errores y en muchas ocasiones desistirá de su empeño para resolverlas. El autor citado considera que eso es normal en el progresivo dominio de un campo conceptual, que la trayectoria del sujeto en ese campo es no lineal y presenta rupturas y contradicciones.

En este docente se dan algunos elementos interesantes que ponemos de relieve a continuación:

- Como ya lo expresamos, la formación profesional de JC no le permitió estructurar en su mente subsumidores o invariantes operatorios o constructos o esquemas,…, relacionados con la Cosmología y ciencias afines.

- Consideramos que para el profesor es una necesidad dominar conceptos relativos al universo, pues enseña esta temática a los estudiantes de quinto grado desde las Ciencias Sociales y a los de undécimo desde la Filosofía, además promueve el conocimiento del universo en actividades extracurriculares. Dominarlos significa en nuestra perspectiva que el docente debe *tener*

representaciones mentales adecuadas de los modelos científicamente válidos desde los cuales puede elaborar modelos mentales y modelos conceptuales sobre el universo científicamente coherentes, con los que implementa su enseñanza a niños y jóvenes y fundamenta sus labores extracurriculares. No tenerlos implica formar parte de quienes, por su incipiente conocimiento del universo, se convierten en propagadores de errores conceptuales sobre el tema.

- Tanto las representaciones lingüísticas y pictóricas realizadas como las expresiones del profesor en los espacios de socialización, dejan claro que en la mente del docente coexisten tres clases de representaciones para el universo de las cuales él echa mano dependiendo de la situación que le toque enfrentar; así, el profesor habla de universo poético- existencialista, universo filosófico y universo científico. Johnson-Laird considera que en la mente de los individuos pueden coexistir diferentes representaciones aunque sólo una represente de manera activa la situación en el sentido de involucrar lo esencial de los conceptos (Moreira, 1995). Para el caso del profesor JC, su concepción heliocéntrica del universo seguramente es la que direcciona las actividades curriculares y extracurriculares que realiza en la institución educativa donde trabaja.

La semblanza de la realidad laboral y conceptual de JC, nos permite considerar que es necesario continuar el proceso de investigación iniciado proporcionándole un acompañamiento académico que le permita estructurar en su mente representaciones mentales sobre el universo científicamente válidos; este acompañamiento es en últimas lo que están requiriendo los procesos que buscan mejores niveles de calidad para la educación implementada en las aulas de

las instituciones educativas de nuestro país, cuyos resultados siguen en suspenso.

Resultados[25] recientemente publicados a través de medios de comunicación en relación con la cobertura y calidad de la educación en Colombia, nos permiten traer a colación el pensamiento de Fernández Pérez (1999), quien conceptúa: "*para que la mejora de los niveles de calidad de la educación toque el suelo legitimador de la realidad de las aulas es preciso que los profesores hayan sido tocados, pues son ellos los que deciden lo que se va a hacer en la interacción didáctica de la comunicación incesante que acontece en las aulas".* Y, continúa, "*Para que los profesores animados a iniciar procesos de experimentación y/o validación de estrategias y métodos no vuelvan a la rutina de la escuela hay que proporcionarles las condiciones necesarias y suficientes para su desempeño". (Fernández Pérez, pp.123)*

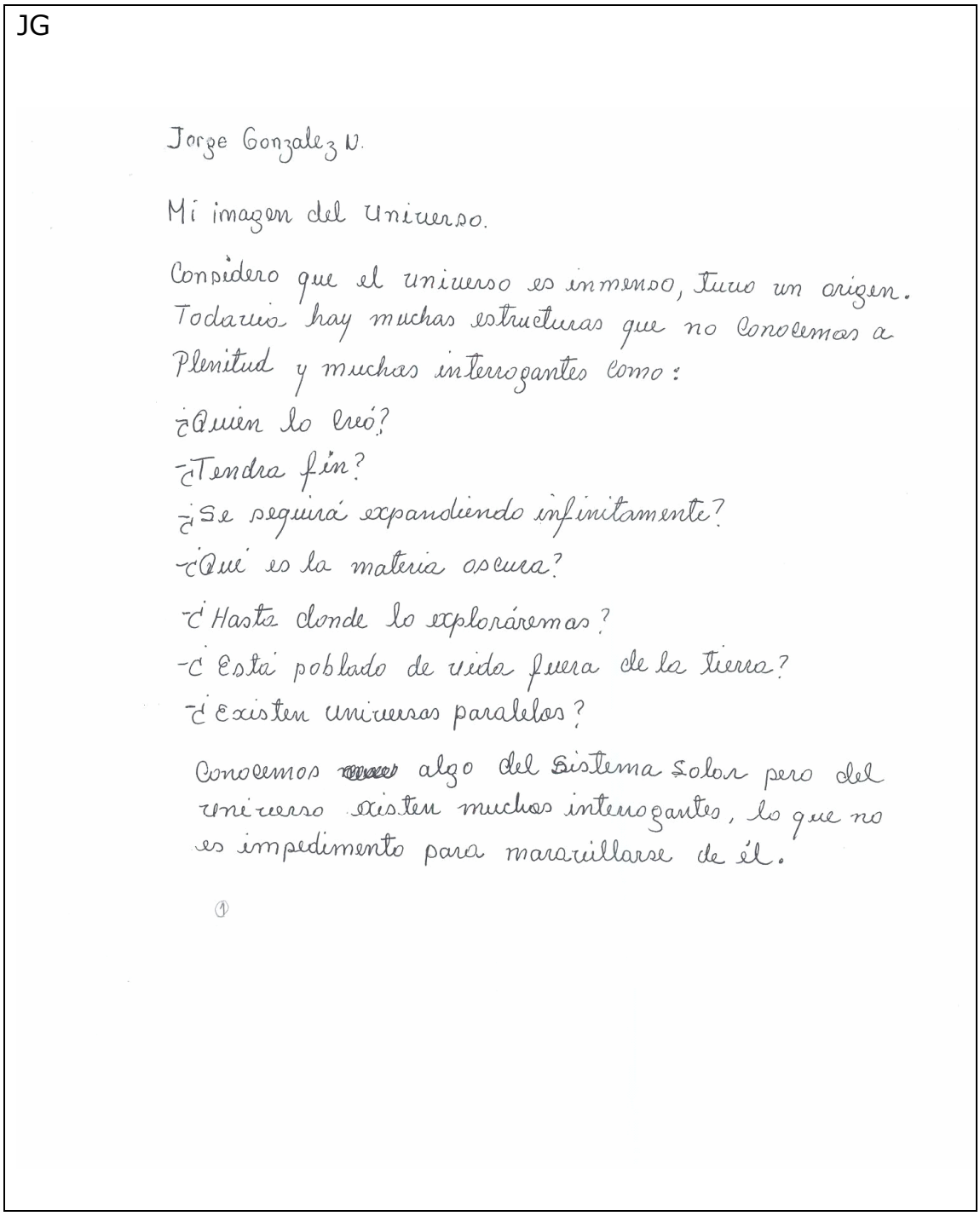
CASO 2: Profesor JG

Como antes dijimos, fue prolija la producción del profesor JG; su puntualidad en las sesiones igual que la responsabilidad en el cumplimiento de las tareas permitió acopiar mayor cantidad de documentos y de exposiciones verbales desde las cuales podemos emitir juicios de valor y conocimiento en torno al proceso evolutivo de sus representaciones.

La producción que hizo el docente en términos de sus representaciones a medida que avanzó el proceso, amerita mostrarlas. Vale la pena hacer referencia a las cuatro

[25]Estudios realizados desde la Contraloría General de la Nación sobre los niveles de calidad de la educación en el país. 2.006. Bogotá Colombia.

JG



Jorge Gonzalez V.

Mi imagen del Universo.

Considero que el universo es inmenso, tuvo un origen. Todavia hay muchas estructuras que no Conocemos a Plenitud y muchas interrogantes como:

¿Quien lo creó?
-¿Tendra fin?
-¿Se seguirá expandiendo infinitamente?
-¿Qué es la materia oscura?
-¿Hasta donde lo exploraremos?
-¿Está poblado de vida fuera de la tierra?
-¿Existen universos paralelos?

Conocemos algo del Sistema Solar pero del universo existen muchas interrogantes, lo que no es impedimento para maravillarse de él.

①

Figura 30. Representación del universo de JG hecha al inicio del proceso

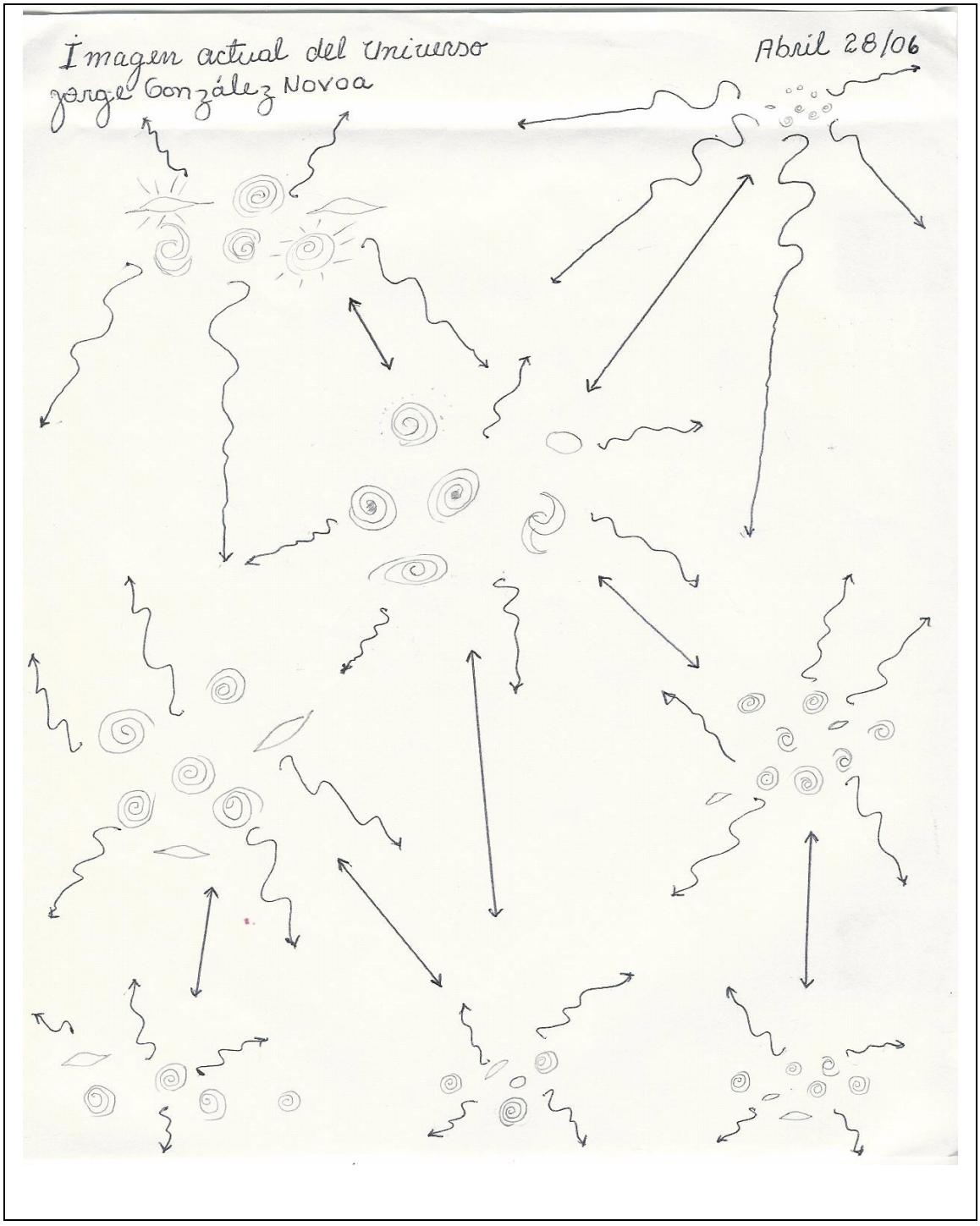


Figura 31. Representación del universo del profesor JG, elaborada al final del proceso

representaciones del universo de JG: las dos primeras lingüísticas y las dos últimas pictóricas (ver figuras 22 y 31). En la primera (ver figura 30), el docente plantea interrogantes a través de los cuales

puede inferirse que tiene alguna información en torno a eventos y procesos característicos del cosmos; sin embargo, sus preguntas y afirmaciones no revelan un modelo mental del universo plenamente estructurado; En la segunda representación (ver cuadro 6), lingüística como la primera, hay proposiciones claras; los elementos incluidos y las propiedades definidas marcan diferencia con la primera representación; ¿refleja esta segunda representación lingüística, que en la mente de JG se está conformando una representación del universo más estructurada, más coherente científicamente?. La afirmación que hace de no tener un modelo que le permita saber si el universo es plano o curvo, refleja que el docente ha venido incluyendo en sus representaciones mentales elementos y relaciones que hablan en voz alta de evolución-transformación-enriquecimiento conceptual.

La tercera representación es pictórica, dibujada en el tablero (ver figura 22); responde a la imagen que el video "Universos paralelos" dejó en su mente. La última representación también es pictórica (figura 31), sus componentes y estructura dan cuenta de una imagen del universo más coherente con los modelos cosmológicos recientes; podríamos ubicarla en el grupo de representaciones acéntricas cuyos elementos están bien identificados como bloques fundamentales del cosmos y cuyas propiedades de homogeneidad y expansión quedan claramente definidas. Un universo en expansión, constituido por cúmulos cuya semejanza da cuenta de homogeneidad a gran escala.

La secuencia de los mapas conceptuales (ver figuras 26a, 26b y 26c), ilustra cómo el docente va dando forma y va estableciendo relaciones válidas entre los elementos que incluye en su representación.

Creemos, después de los 17 encuentros realizados, que hubo enriquecimiento conceptual, que el docente logró incluir en su estructura mental la información pertinente para la conformación de una representación sobre el universo más completa y coherente.

De hecho hay que señalar que la formación profesional en ciencias posibilitó que el profesor JG asimilara más elementos conceptuales y estableciera relaciones científicamente válidas entre éstos, lo que nos lleva a validar con Ausubel, Johnson-Laird y Vergnaud el efecto que tiene la ecología conceptual en el enriquecimiento-evolución, estructuración y anclaje de nuevos conceptos científicos en la mente de los sujetos.

El léxico incluido en sus expresiones verbales denota que el profesor además de leer los documentos estuvo atento y captó mucho de los conocimientos expuestos en videos y/o conferencias a las que asistió.

Otro elemento es el cambio en el formato representacional que hizo entre las dos primeras y dos últimas representaciones, podríamos decir que además del desarrollo conceptual, el docente desarrolló habilidad para expresar a través de representaciones pictóricas lo que en su estructura mental guarda respecto al conocimiento del universo.

CASO 3: Profesor AF

Frente a las dos representaciones del universo que el profesor ha elaborado, una al principio y otra al finalizar el proceso, podemos hacer las siguientes inferencias: La primera es lingüística, contiene expresiones que claramente inducen al lector a imaginarse un

universo no vacío, lleno de algo que el docente llama materia y/o energía; además, sus constituyentes primarios se expanden no a la luz del Modelo Estándar del Universo sino a la luz de las más recientes hipótesis cosmológicas; esto es, aceleradamente, lo que lleva al docente a pronosticar la muerte térmica del universo (Ver Cuadro 12).

La segunda representación es pictórica y refleja, como la primera, ideas claras en torno al universo. Sin embargo, en ésta hay un origen, la forma radial nos indica que el universo se expande; el tamaño de los constituyentes del universo, definidos después de un período de expansión, muestra que el docente referencia las distintas etapas que la Teoría Expansionista del Universo asume en su historia; las galaxias y cúmulos constituyen sus bloque fundamentales, el orden y la gradación en el crecimiento de éstas nos posibilitan decir que el docente incluye la homogeneidad como propiedad inherente al cosmos(Ver figura 32).

La imagen que tengo del universo es la de una realidad enorme en cantidad de materia y energía inmensa que se expande al parecer de manera cada vez más veloz lo cual puede hacer pensar que hacia el futuro los grandes componentes (galaxias y conjuntos de galaxias) se separarán al igual que los elementos constitutivos más pequeños hasta el punto de generarse una muerte térmica siempre y cuando no se descubran hechos o realidades (mayor cantidad de materia) que puedan revertir esta tendencia. Sin embargo, es tan grande y compleja la totalidad de lo existente y es tan poco conocida por el hombre que no es descartable que formas de existencia inimaginadas aparezcan como mundos viables tan diferentes a lo que hemos ido "conociendo"
Profesor de Ciencias Sociales

Cuadro 12. Representación lingüística del universo elaborada por el profesor AF al inicio del proceso

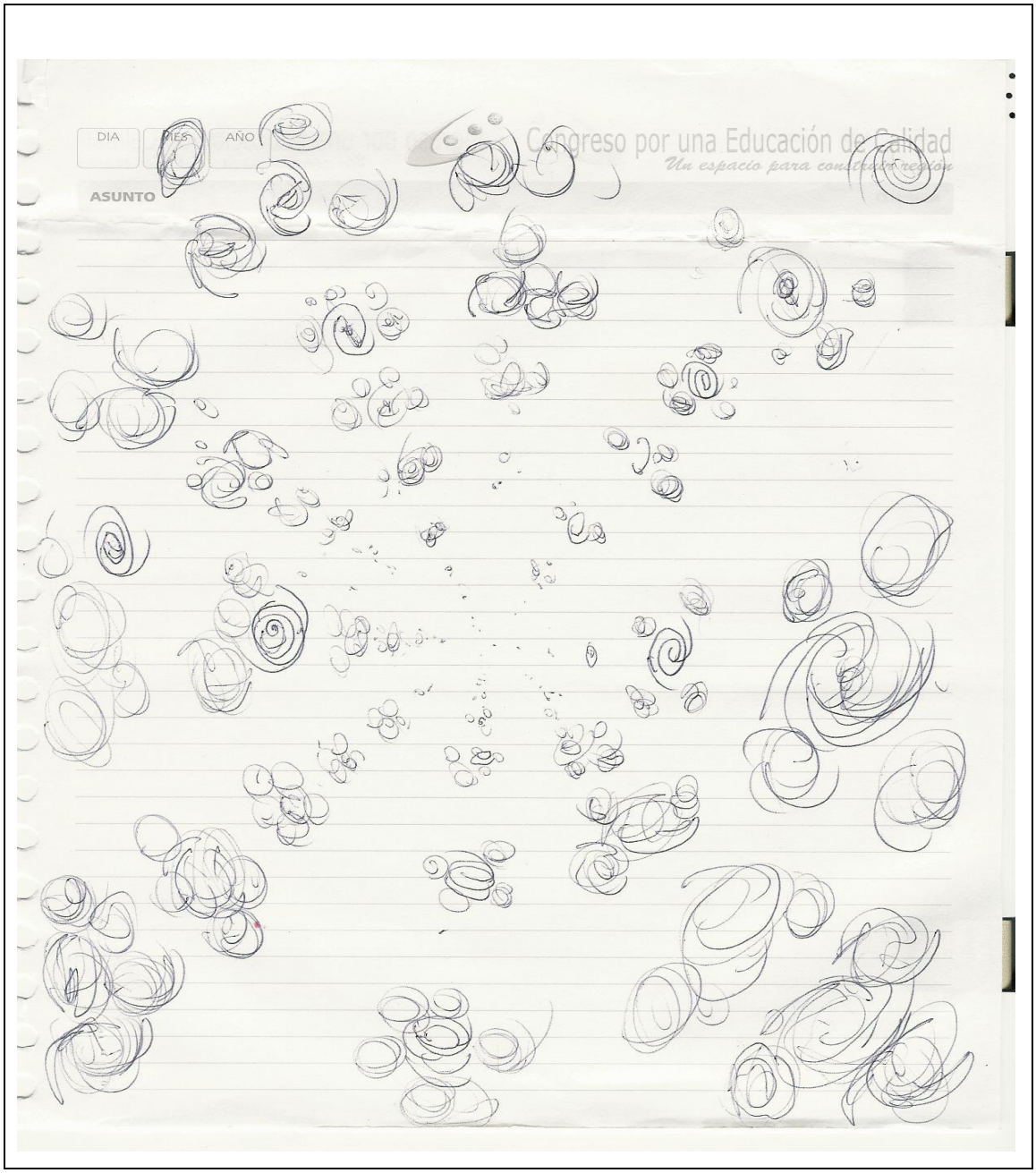


Figura 32. Representación pictórica del universo elaborada por el profesor AF al final del proceso

Aunque hay en la primera representación datos que no están incluidos en la última, consideramos que esta representación pictórica proporciona al investigador bases para pensar que en el docente hubo un reordenamiento conceptual. Las expresiones verbales del profesor soportan nuestra suposición. "*Aunque estoy*

consciente que no manejo las teorías y procesos que hay detrás de los modelos cosmológicos, con mi participación en el grupo he logrado aprender mucho no sólo en torno a este tema sino en torno a temas tan variados que tocan la Pedagogía, Filosofía, Historia…"

Como lo dijimos en páginas anteriores el profesor AF es licenciado en Ciencias Sociales; es un docente cuya cultura y profesionalismo con que responde a los retos que el ejercicio de su profesión le plantea, le ha llevado a incursionar en diferentes áreas del conocimiento. Sus actividades extracurriculares relacionadas con la Astronomía y la Cosmología en el grupo juvenil de ciencias que coordina en la institución educativa donde trabaja le han proporcionado en primera instancia la necesidad de buscar fuentes de información y espacios de formación y perfeccionamiento y luego, como consecuencia lógica, una base conceptual que aunque incipiente le ha permitido estructurar en su mente representaciones del universo capaces de evolucionar, enriquecerse hasta convertirse en modelos mentales estables y válidos a la luz de las cosmologías recientes o quizá, como Greca y Moreira(2.003) lo expresaron, para convertirse en esquemas conceptuales situados en la memoria de largo plazo.

Frente a esta realidad tenemos necesariamente que reafirmarnos en la hipótesis que hemos emitido inicialmente: la educación formal contribuye muy poco para que los educandos frente a nuevas situaciones, logren estructurar en su mente modelos mentales robustos, coherentes, funcionales y científicamente válidos; en cambio, debemos reconocer que desde la educación no formal e informal el profesor AF por afición o por exigencia de su rol como coordinador de un grupo juvenil de ciencias ha tenido que buscar contacto con el conocimiento relativo al cosmos lo que le ha permitido incorporar en su estructura mental representacional

conceptos relacionados con el universo desde los cuales aborda las tareas y situaciones que requiere resolver. En términos de las teorías representacionales, específicamente con Greca y Moreira(2.003), deberíamos inclinarnos a pensar que el docente ha logrado *"construir modelos mentales abarcadores, articuladores y consistentes con los modelos conceptuales que posiblemente evolucionan hacia esquemas de asimilación…"* aunque en sus intervenciones el docente expresa que no tiene el conocimiento, dominio de las teorías, leyes y principios científicos que los fundamenten, su desempeño frente a las situaciones y/o eventos abordados no desvelan esta debilidad conceptual.

Las dos representaciones son pictóricas, como se muestra en las figuras 33ª y 33b, la primera fue realizada al inicio del proceso y la segunda al final; en ambas el representador asume las galaxias y cúmulos como los bloques fundamentales del universo; en ambas hay galaxias en espiral, elípticas, circulares,…, pero existe una gran diferencia entre ellas cuando tomamos en cuenta que la segunda representación asume que el universo tuvo un origen y que evoluciona; además se evidencia la idea de homogeneidad a través de las diversas etapas de la evolución.

Caso 4. Profesor RG



Figura 33a. Primera representación del universo del profesor RG

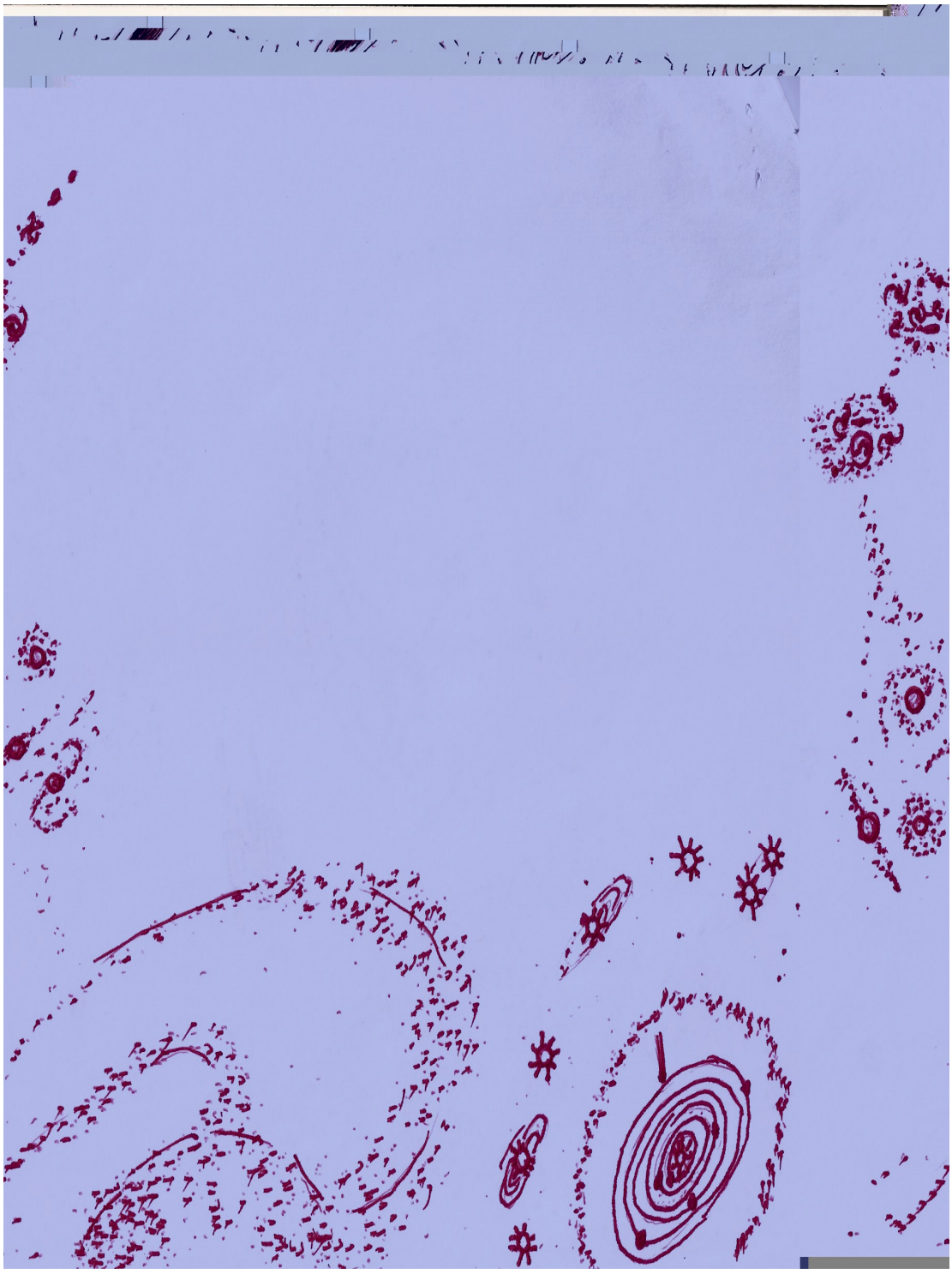


Figura 33b. Representaciones del universo del profesor RG, hechas al inicio y al final del proceso

Si tenemos en cuenta que el enriquecimiento conceptual lo hemos definido en términos de los elementos y las relaciones que entre éstos establecen los representadores, debemos admitir que la segunda representación de RG tiene mayores elementos y relaciones entre éstos, que no encontramos en la primera representación. Las dos últimas etapas hacen sendas referencias a nuestra galaxia y al sistema planetario en el que el sol es el centro, los planetas giran en órbitas no circulares, hay espacio para el cinturón de asteroides y estrellas extraplanetarias uniformemente distribuidas.

Frente a las dos representaciones de RG y tendiendo en cuenta su relación con la Astronomía y la Cosmología a través de sus actividades como miembro de la Fundación Amigos de la Astronomía, como conferencista del Planetario y gestor y promotor de las actividades del grupo juvenil de ciencias de la institución donde trabaja, podríamos pensar que las situaciones que enfrentó en el proceso de aplicación de la estrategia fueron similares a muchas de las situaciones por él abordadas en su trabajo extracurricular; ello nos pone frente posibles esquemas que hay detrás del modelo mental del universo que el docente ha logrado estructurar, condicionando dicho modelo.

En sesiones plenarias el docente ha expresado que si bien *no domina las teorías y principios que hay detrás de los modelos cosmológicos recientes, el proceso que ha vivenciado le ha dado la oportunidad de enriquecer la visión que tenía del universo.*

Haciendo un análisis más fino de cada una de las representaciones y del mapa conceptual entregado, debemos reconocer que aunque la primera representación contiene elementos que la ubican en los niveles más avanzados respecto a la categorización que hicimos en

el capítulo II, la segunda ofrece más elementos relacionados con la historia y la evolución del universo mirados desde las teorías más recientes. Aunque el mapa conceptual desvela relaciones que existen entre los elementos concebidos como parte del universo, creemos que no revela la conceptualización que verbalmente nos ofreció el docente en las sesiones de encuentro. Hay que acudir a la entrevista en profundidad para establecer nuestro criterio respecto a la evolución conceptual del docente.

Caso 5. Profesor OM

La primera representación de OM desvela un universo acéntrico cuyos componentes, las galaxias, se encuentran uniformemente distribuidas, como puede verse en la figura 34a; la representación habla de homogeneidad pero no de expansión. Anteriormente ya hemos hecho referencia al hecho que el docente entregó una especie de complemento a esta representación, escrita a computador, lo que la diferencia de las representaciones realizadas por los otros miembros del grupo quienes debieron elaborarlas in situ. En este caso OM tuvo oportunidad de pensar, consultar documentos, analizarlos, para elaborar la representación donde incluyó elementos y relaciones de mucha coherencia con el modelo cosmológico estándar. Fue elaborada al inicio del proceso de intervención, lo que nos indujo a pensar que OM tenía en su estructura cognitiva subsumidores científicamente válidos que le permitieron un aprendizaje significativo en torno al universo. La representación hecha al final del proceso es esquemática, es un mapa conceptual en el que de arriba – abajo el docente ha representado los diferentes modelos cosmológicos que en la historia de la humanidad fueron hitos: geocéntrico, heliocéntrico y el universo al que no se le asigna un centro preferencial, como se muestra en la figura 34b. En la rama

derecha del diagrama el profesor incluye el contenido de su primer mapa conceptual al que ya hicimos un análisis cualitativo, interpretativo. ¿Revela este mapa el nivel conceptual de su representador?.



Figura 34a. Representación pictórica del universo elaborada por OM al inicio del proceso

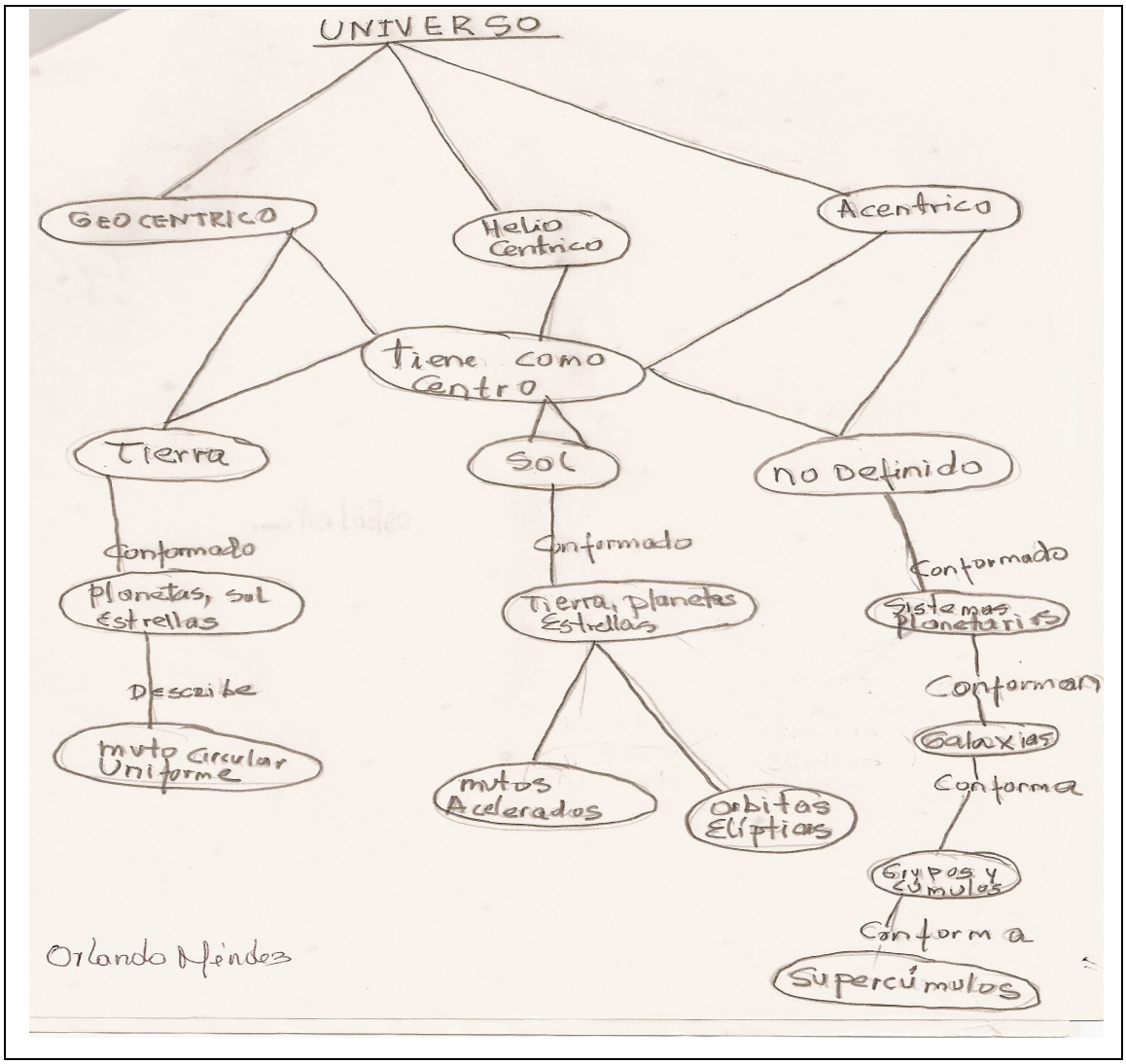


Figura 34b. Representaciones del universo del profesor OM, hecha al final del proceso

Aunque el mapa no hace referencia al modelo de universo que el docente podría tener a esta altura del proceso, pues se limitó a hacer un mapa sobre uno de los documentos entregados, nos atrevemos a pensar, basado en sus expresiones, que el profesor OM es uno de los miembros del grupo que ha venido "depurando" sus referentes conceptuales; respecto a esto el profesor dice: " *he logrado mayor claridad en aspectos que creía tener entendidos".* En referencia a esto Franchi(1999*)*, citado por Moreira(2.003), afirma, "*el conocimiento lo aprende el sujeto formando parte de sus*

estructuras cognitivas por un proceso de integración adaptativa con las situaciones que vive, proceso que se desarrolla a lo largo del tiempo". La entrevista nos dará elementos para hacer nuevas inferencias al respecto.

3.1.5.2- ENTREVISTA A LOS DOCENTES REALIZADA EN EL GRUPO

La entrevista realizada al grupo, es la etapa final de la estrategia metodológica y fue pensada como elemento que posibilitaría a la investigadora reafirmar o revalidar los conceptos emitidos en torno a:

- La **evolución o permanencia (estabilidad),** de las representaciones mentales de los individuos sobre el universo a lo largo de la aplicación de la estrategia metodológica.

- **La conceptualización científica** que subyace detrás de las representaciones y su coherencia con las teorías cosmológicas recientes, elemento que constituye el fundamento que nos permite tomar distancia frente a la relación establecida entre la ecología conceptual de los individuos y su incidencia en la construcción de modelos mentales y esquemas conceptuales.

Puesto que el objetivo de la entrevista era que los docentes en forma espontánea y de viva voz expresaran sus comentarios en torno al proceso desarrollado, les hicimos el siguiente comentario - pregunta.

Amigos: Desde Agosto de 2,004 hemos venido participando en un proceso a lo largo del cual, la lectura de documentos, proyección de videos, asistencia a

conferencias, análisis crítico de representaciones propias y ajenas, participación en conversatorios, (…), nos han colocado en la necesidad de dar explicaciones a situaciones y problemas, emitir juicios de valor y fundamentar nuestras posturas desde la Pedagogía, la Psicología y la Ciencia, entre otras. Partimos de la representación del universo que cada cual hizo al inicio del proceso; con base en ésta y como producto de nuestra participación en el desarrollo de las distintas actividades*, ¿creen ustedes que se dió alguna evolución conceptual, algún enriquecimiento-transformación cualitativa de su representación mental sobre el universo?. ¿En qué basan sus afirmaciones?.* Pueden comparar las dos representaciones hechas si ustedes así lo creen conveniente.

El profesor OM interviene casi de inmediato para expresar con seguridad y entusiasmo las siguientes ideas: "*he experimentado avances importantes en los fundamentos conceptuales que venía manejando. Siento que he ampliado muchos de los conocimientos que tenía sobre el universo pues antes ponía límites donde no los había. El estudio de los diferentes documentos ha posibilitado este crecimiento"*

La investigadora le pregunta, aprovechando el entusiasmo con que el docente habla: ¿Por qué no has elaborado más documentos?, a lo que responde: *"Mis estudios, mi trabajo y las circunstancias en que éste me ha envuelto*[26] *no me han permitido hacerlo. No ha sido por falta de interés en el proceso sino por falta de tiempo".*

El profesor RG interviene poniendo a sus palabras una connotación trascendental, como si quisiera hacer un juicio de responsabilidades a su participación en el grupo. "*He tenido en mi conceptualización un*

[26] A OM le tocó vivir la ruptura del convenio Fundación Amigos de la Astronomía-Combarranquilla. Ello significó cambio en su trabajo pues él estaba vinculado a la Fundación y tuvo que concursar para quedar vinculado a Combarranquilla, proceso que le obligó cumplir con algunos requerimientos exigidos por esta institución .

avance importante. Aunque reconozco que existen muchas cosas que aún no domino sí me siento mejor preparado". Y agrega, "*antes que me pregunte lo mismo que a OM, quiero decirle, sin que esto suene a excusas insulsas, que la circunstancia en la que nos ha puesto la institución*[27] *a quienes trabajamos en ella, nos ha robado tiempo, tranquilidad y nos ha infundido algo de temor en torno a nuestra estabilidad laboral"*.

Para bajar el nivel de preocupación del docente frente a su poca producción escrita, yo le expreso que ha sido de mucho valor el aporte oral que a través de sus intervenciones ha legado al grupo y que comprendo que la prioridad de cada uno de los miembros del equipo es el trabajo que les proporciona los medios de subsistencia para ellos y sus familiares.

El profesor MM, quien, como ya dijimos, ha venido participando activamente en el proceso, se vinculó al grupo en el 2.005, se ausentó un tiempo y luego se reintegró a las actividades desde mediados del año 2.005, conceptúa: "*yo no sabía en lo que me metía*; *he tenido que investigar, leer*, *tomar distancia frente a lo que pensé manejar…", "procesos como el que aquí desarrollamos deberían ser más comunes en nuestro gremio pues nos posibilita intercambio de saberes y experiencias en un ambiente sin tensiones ni presiones*".

El profesor AF comenta que ya en un e-mail me había expresado sus sentimientos y pensamientos al respecto. Se refiere el docente a una respuesta que me envió con ocasión de unos artículos que

[27] RG pertenece a una institución educativa de estrato social alto que se ha venido adecuando a las exigencias de la globalización, de la modernidad y de la época del conocimiento. Pasó de calendario A (el año escolar comienza en febrero y culmina en noviembre) a calendario B(el año escolar comienza en agosto y culmina en junio; tornándose bilingüe). Al asumir como institución bilingüe, exige a los docentes ser bilingües, por lo que está estudiando inglés a marcha forzada.

debían leer y que no habíamos podido discutir, de la cual tomo el siguiente fragmento: "…*bueno, sólo me falta leer dos artículos del paquete. Me parece que aunque son temáticas tratadas por prominentes especialistas de una disciplina diferente (en mi caso) a mi área de formación y en la que uno no tiene una base teórica suficiente, hay ideas gruesas asimilables y de bastante interés. Por ejemplo, al calor de la lectura uno consulta sobre la quiralidad y los patrones rizados y piensa que lo aprehendido le ayuda en la comprensión del texto pero, en el fenómeno de la polarización siento que a pesar de que pueda ser un tema sencillo, no alcanzo la claridad deseable en el manejo del tema. En todo caso, lo importante es que la lectura de esos trabajos le aportan a uno importantes datos e ideas que facilitan una actualización sobre los avances que se vienen realizando en este terreno, hacia donde apunta el trabajo de los cosmólogos en los últimos años y cuál es -a grandes rasgos- el debate crucial en esa comunidad científica. Le manifestaba que quisiera centrarme en la nueva teoría que presenta Magueijo en su artículo. Voy a seguir subrayando frases y haciendo anotaciones para continuar comentándole puntos de interés y aspectos donde pueda quedar medio "varao" en este enorme y complejo campo de estudio". "Esperamos con ansiedad conocer ese material sobre la enseñanza de las ciencias; ofrecimiento que nos hace expresar nuestros agradecimientos por la generosidad y el apoyo para con todos".*

En la entrevista, el profesor expresa lo siguiente: "*reitero mis sentimientos respecto al proceso; lamento no tener las bases conceptuales que tienen los que se forman en ciencias pero siento satisfacción cuando al leer un documento científico soy capaz de entender su contenido a pesar de que mi formación profesional fué muy poco lo que me aportó en este campo*".

El profesor JC opina que para él *ha sido un proceso sumamente productivo* pues cree haber experimentado "*un aprendizaje cooperativo en un ambiente que rompió fronteras entre las ciencias".*

RG vuelve a tomar la palabra para hacer alguna referencia en torno a lo expresado por su colega y hablar también en nombre de JG. La investigadora aprovecha su intervención y le pregunta si ha sido falta de interés el que en este momento no cuente con más documentos suyos. Al ver reflejado en el rostro del profesor el impacto que le causó la pregunta, la generaliza para todos los asistentes.

El y el profesor JG manifiestan casi al unísono que la pregunta ofende. Para ellos, dice JG, "*el proceso forma parte del goce que sentimos cuando miramos al cielo".*

RG nos informa que compró unos binoculares para disfrutar el cielo que hoy es más hermoso porque lo conoce más; y añade, "*después de la disolución de la Fundación, acabar con el grupo es enterrarnos"*[28]

Conjuntamente con el profesor RG, el resto del grupo me solicitan continuar con el proceso pues están convencidos de la riqueza conceptual que ha dejado en cada miembro la interacción con los pares, la socialización de lecturas, el intercambio de saberes y, sobre todo, el acopio de material poco circulante en el día a día del ejercicio profesional.

¿Qué podemos concluir de la entrevista y de todo el proceso desarrollado?.

[28] El convenio entre Combarranquilla y la Fundación Amigos de la Astronomía quedó disuelto a partir de Enero de 2.006.

- Al estructurar y desarrollar la estrategia metodológica, ésta no fue concebida como la "varita Mágica" que lograría anclar en la mente de los docentes los conocimientos, modelos o esquemas propios de la cosmología Moderna; estábamos conscientes que, desde la perspectiva de las teorías representacionales, la evolución-enriquecimiento de los modelos que tenían en su mente los sujetos involucrados en la estrategia, sería un proceso lento, parsimonioso, condicionado por la estructura conceptual, atravesado por obstáculos y circunstancias propias del quehacer de los docentes. Ello nos obligó a volver una y otra vez a temas tratados y debates realizados, como si estuviésemos anclando los subsumidores necesarios para adentrarnos en el conocimiento del cosmos. Sin embargo, podemos señalar que,

- Los docentes le reconocen *legitimidad* al proceso como elemento que actuó en forma decisiva en sus conceptualizaciones a pesar que cada cual expresa que pudo haber aprovechado mejor la oportunidad de dialogar con pares académicos de otras instituciones y otros saberes sobre un tema no "trajinado" en el día a día de su desempeño profesional. Señalan convencidamente que aprendieron muchas cosas en torno al universo y que ahora están mejor preparados para entender fenómenos y eventos del cosmos. Para los miembros del grupo, el hecho de solicitarle a la investigadora seguir con los encuentros, es señal de su valoración. Frente a los temas colaterales tratados como complemento del enriquecimiento conceptual, han manifestado su satisfacción, pues ahora los aportes de psicólogos, pedagogos y científicos antes desconocidos, forman parte de su ecología conceptual.

Hubo, como en todo proceso social, elementos a favor y obstáculos que es preciso mencionar. Como elementos favorables debemos

reconocer en primera instancia que lo más importante fue la *constancia (permanencia)* de los cinco miembros del grupo y su entusiasmo; el *sitio (ambiente)* donde se realizaron los encuentros, éste nos brindó comodidad, tecnología y medios para fundamentar, desarrollar y socializar los temas objeto de estudio y análisis. Ya hemos mencionado el apoyo que el coordinador del Planetario nos brindó desde el principio y a lo largo del proceso. Otro elemento favorable fue *la empatía* generada entre los miembros del grupo y con la investigadora durante el proceso. Esta empatía posibilitó "sacar fuera" de cada cual las debilidades conceptuales sin el temor a ser señalados por el colega, opinar, sin el temor de caer en el ridículo, debatir puntos de vista sin el temor a ser etiquetado, expresar sin temores el no haber podido cumplir con lo pactado y compartir sentimientos (afectos y desafectos), en torno a una situación o evento. Creemos que los materiales proporcionados por la investigadora al igual que la socialización en colectivo potenciaron la evolución conceptual de los participantes.

Algunos de los obstáculos encontrados fueron: *Escaso tiempo* disponible por parte del profesorado; la *cultura oral* del docente le dificultó elaborar documentos escritos, llevar registros sistemáticos sobre sus actividades, elemento que negó a la investigadora la posibilidad de conocer algo en torno a las actividades que desarrollan en el aula de clases sobre el conocimiento del universo. Hábito de lectura poco desarrollado, lo que hizo aún más lento el desarrollo de las actividades y, por último*, falta de textos y documentos* apropiados al nivel y formación de los asistentes.

De todas formas, creemos que la aplicación de la estrategia metodológica puso de relieve la necesidad de emprender un proceso de acompañamiento de largo aliento mediante el cual el docente tenga no sólo la oportunidad de interactuar con "un experto" sino

de acopiar bibliografía (información pertinente) sobre el tema objeto de indagación; esto nos lleva a sugerir la necesidad de facilitar al docente espacios de cualificación llevados a cabo por personas o equipos con capacidad para producir material en caso de que éste no se encuentre al alcance del profesor.

4. ¿CUÁL ES EL **VALOR AGREGADO** QUE NUESTRA INVESTIGACIÓN PRODUJO Y APORTA A LO QUE YA SE SABE SOBRE REPRESENTACIONES MENTALES Y EN ESPECÍFICO SOBRE REPRESENTACIONES MENTALES DEL UNIVERSO?

4.1. Desde la fase exploratoria.

En la primera fase de la investigación (fase exploratoria), admitimos que las representaciones del universo de cada uno de los sujetos implicados en la investigación no fueron *modelos situacionales hechos ad hoc,* argumento que nos exigía indagar si las representaciones fueron producto de la combinación y recombinación de invariantes operatorios o quizá de los "primitivos conceptuales" que habían en la cabeza de los representadores, lo que justificaría la búsqueda de diferencias entre las distintas representaciones dado la diversidad en el nivel de formación de la muestra y la aplicación de estrategias para su transformación y/o evolución.

De acuerdo con las teorías de Johnson-Laird y de Gérard Vergnaud, debíamos encontrar modelos de universos cuyos elementos y relaciones incluidas para explicarlo, estuvieran en concordancia con la ecología conceptual de sus representadores; sin embargo, los modelos de universo mostraron una divergencia significativa frente a los resultados esperados. ¿Cómo explicar esta aparente contradicción?.

Temas relacionados con el Cosmos son poco abordados en la vida escolar y/o profesional del individuo, lo que indica que las ideas sobre el origen y estructura del universo ancladas en su mente provienen del contexto cultural, de la TV, la Internet y la educación no formal e informal. Esto significa que las representaciones no han evolucionado por efecto de la educación formal porque no han sido requeridos para abordar, resolver, explicar fenómenos, eventos, situaciones, temas relacionados con el Cosmos; por esto:

- Representaciones externas y posibles modelos mentales que estarían por detrás de éstas, de personas de diversa formación profesional y diferente nivel educacional fueron similares en su contenido y en las relaciones establecidas entre los elementos que involucraron;

- Representaciones externas y posibles modelos mentales subyacentes a éstas, de personas con formación profesional en ciencias o afines no fueron los que mostraron mayor coherencia con los modelos cosmológicos recientes; y,

- Representaciones externas de universos cuyos elementos y relaciones denotaron mayor nivel de conceptualización eran de personas cuya afición o ejercicio profesional los ha puesto en la necesidad de estudiar, aprender, abordar situaciones y hechos relacionados con el universo.

La diversidad de modelos (clasificados en seis categorías), la riqueza y variedad de profesiones y oficios de los representadores y la escasa relación encontrada entre uno y otro podría llevarnos a pensar que estamos frente a representaciones sociales del universo; sin embargo, sería preciso ahondar en las características de las representaciones de individuos que pertenecen a los distintos

universos consensuados de la muestra para acopiar más argumentos al respecto. Validaremos esta conjetura en futuras investigaciones.

4.2- Desde la aplicación de la estrategia metodológica

En concordancia con las teorías que fundamentaron la etapa experimental de la investigación y de acuerdo con el objetivo del proceso implementado, asumimos los modelos mentales como estructuras cognitivas idiosincrásicas, dinámicas, incompletas, que evolucionan porque son recursivamente modificables cada vez que el sujeto detecta falta de correspondencia entre sus predicciones y los hechos del mundo real. Desde este referente emitimos la hipótesis que si lográbamos evidenciar "alguna evolución- transformación-enriquecimiento" en las representaciones externas de los universos por la aplicación de la estrategia metodológica podíamos asumir que estábamos frente a los modelos mentales de Johnson-Laird que las generaron; pero, si a pesar de la intervención no podía evidenciarse evolución-enriquecimiento, podíamos estar frente a los esquemas conceptuales estables de Vergnaud.

Los resultados de la etapa exploratoria mostraron que para los profesores "representar externamente el universo que tienen en sus mentes era una situación que antes no habían enfrentado"; esto es, estaban frente a una situación nueva que requirió de ellos procesos metacognitivos en cuanto debían externalizar, a través de una representación lingüística, pictórica o de ambos fomatos, su imagen del universo nunca antes requerida; desde el referente teórico, lidiaríamos entonces con modelos mentales, los cuales actúan frente a una situación nueva y no con los esquemas conceptuales que responden a patrones comunes a través de invariantes, evocándose frente a situaciones similares, lo que les dota de estabilidad. Sin embargo, la aplicación de la estrategia evidenció que entre los

miembros del grupo existían diferencias notorias frente a este hecho, lo que hemos consignado en los ítems respectivos.

Desde la etapa exploratoria pudimos comprobar que la ecología conceptual de los individuos (para el tema del universo), no tenía correspondencia con las representaciones externas que éstos entregaron, lo que nos llevó a inferir que era *en la evolución de las representaciones* donde la ecología conceptual incidía posibilitándola u obstaculizándola, elemento que consideramos novedoso en cuanto a las predicciones hechas desde las teorías representacionales.

Los resultados de la intervención expuestos a través de los diferentes ítems del capítulo, mostraron una diferencia significativa en la evolución de las representaciones. De todas formas, hay que reconocer que la efectividad de la estrategia no se dio con la misma intensidad en todos los miembros del grupo, lo cual es apenas natural si recordamos que la ecología conceptual de los individuos es determinante en la evolución conceptual y, que las condiciones laborales (el contexto) de los sujetos implicados en la investigación es completamente desigual.

Otro elemento que en nuestra investigación saltó a la vista como determinante en el enriquecimiento conceptual de los individuos fue "la necesidad de aprendizaje" que éstos pudieran tener frente al tema considerado. La necesidad impulsa el interés y ambos determinaron el comportamiento (actitud) del docente frente a las actividades programadas en el desarrollo del acompañamiento.

Teniendo en cuenta que los modelos mentales pueden ser considerados como conocimiento funcional pues éstos reflejan la comprensión que tiene el individuo de un evento, situación, sistema…, de cómo funciona y por qué funciona de esa manera,

tenemos que admitir que la formación en ciencias ofrecida a los estudiantes en los diferentes niveles de la educación en nuestro país, no les posibilita elaborar modelos mentales y mucho menos esquemas conceptuales sobre el universo científicamente válidos. Entonces, existe la necesidad de adelantar políticas educativas que coadyuven para que la educación científica ofrecida a los educandos desde el nivel primario hasta el postgrado les permita anclar en su estructura mental conocimientos relativos a la ciencia desarrollada a lo largo del presente y pasado siglo.

Por último, creemos que la aplicación de la estrategia metodológica no sólo validó principios de las teorías que le sirvieron de soporte sino que el acompañamiento de la investigadora en el crecimiento conceptual de los profesores puso de relieve todo un espectro de factores que gravitan en torno al quehacer docente en el aula[29], los cuales deberían ser tenidos en cuenta si se desea que las políticas educativas en torno a la calidad de la educación alcancen las metas propuestas.

En este sentido resaltamos la efectividad de la estrategia y la funcionalidad de las teorías de los modelos mentales de Johnson-Laird y de los Campos conceptuales de Gérard Vergnaud tomadas como soporte en el diseño y ejecución de la estrategia, así como la propuesta de Greca y Moreira que integra aspectos de las dos.

[29] Para los docentes, las condiciones de trabajo siguen presentándose como uno de los elementos de des estímulo que sumado a los bajos salarios, al poco o ningún tiempo que en las instituciones educativas se destina para que los docentes estudien, investiguen, se reúnan, conformen colectivos, la poca estima que directivos y administrativos dan a las labores distintas a dictar clases, constituye un panorama poco atractivo en cuanto a la búsqueda de procesos didácticos innovadores en el marco de una enseñanza científica, tecnológica y socialmente actualizada.

BIBLIOGRAFÍA

- ABERBUJ, E. (2000). *Con el cielo en el Bolsillo.* Madrid: Ediciones De la Torre.
- AFONSO, R. y otros. (1995). Una aproximación a las Representaciones del Alumnado sobre el Universo*. Enseñanza de las Ciencias*, 13(3), pp. 327-336.
- AGUIAR, O. (2001). Cambio conceptual (o cognitivo) en la Educación en Ciencias. Revisión crítica y nuevas direcciones para la investigación. *Pesquisa em Educación em Ciencias, N°1.*
- ALEMÁÑ, B. (1997). Errores comunes sobre relatividad entre profesores de enseñanza secundaria*. Enseñanza de las Ciencias*, 15 (3), pp. 301-308.
- ALEMÁÑ, B. y PEREZ SELLES, J.F. (2000). Enseñanza por cambio conceptual; de la Física Clásica a la Relativística. *Enseñanza de las Ciencias,* 18 (3), pp. 463-472.
- ANDRÉ, E.D.A. (1998). *Etnografía de la práctica escolar.* San pablo*:* Papirus Editora.
- ANDRÉS, M. y Pesa, M. (2004). Conceptos en acción y teoremas en acción en un trabajo de laboratorio de Física*. Trabajo presentado en el Segundo Encuentro Iberoamericano sobre Investigación Básica en Educación en Ciencias*. Burgos, España.
- ARNAU, A. (1994). El universo material*. Mundo Científico*, 14(151), pp. 950-959.
- ARONS*,* A. (1990). *Evolución de los conceptos de la Física.* México: Trillas.
- AUSUBEL, D. y otros. (1993). *Psicología Educativa. Un punto de vista Cognoscitivo.* Trillas: México.
- BACHELARD, G. (1971): *Epistemología.* Barcelona: Editorial Anagrama, Colección Argumentos.
- BARROW, J.D. y SILK, J. (1980): Estructura del universo primitivo*. Investigación y Ciencia*. N° 45, pp. 74-86.

- BENNET, Ch. y Otros. (2001). Un cartógrafo Cósmico. *Investigación y Ciencia* N° 294, pp. 64-65.
- BOIDO, G. (1996). *"Noticias del planeta tierra. Galileo Galilei y la revolución científica".* Buenos Aires: A – Z Editora.
- BORGES, T.(1996). *Mental Models of Electromagnetism*. Tese de doutoramento, Department of Science and Tecnology Education, Reading University, U.K.
- BORGES, T.(2004). Um estudo de modelos mentais. *Investigación en la Enseñanza de las Ciencias*. Universidad Federal Minas Gerais. Colegio Técnico. Brasil.
- BRUNER, J.(1999). *Realidad Mental y Mundos Posibles. Los actos de la imaginación que dan sentido a la experiencia.* Madrid: Gedisa.
- BRUNER, J. (1987). *La importancia de la Educación.* Madrid: Paidos.
- BRUSH, S.G.(1992). Cosmología, teorías y observaciones. *Investigación y Ciencia* N° 193, pp. 26-33.
- BUCHER, M.A. y SPERGEL, D.N.(1999). Inflación en un universo de baja densidad*. Investigación y Ciencia*. N° 270, pp. 30-37.
- BUZÁN, T. y BUZÁN, B.(1996). E*l libro de los mapas mentales. Cómo utilizar al máximo las capacidades de la mente.* Barcelona: Urano.
- CALDWELL, R. y KAMIONKOWSKI, M.(2001). Ecos de la Gran Explosión. *Investigación y Ciencia*. N° 294, pp. 58-63.
- CAMINO, N. (1995). Ideas previas y cambio conceptual en Astronomía. Un estudio con maestros de primaria sobre el día y la noche, las estaciones y las fases de la luna. *Enseñanza de las Ciencias*. 13(1), pp. 81-96.
- CAÑAS, A. (2005). Los mapas conceptuales, Una ventana a la mente del estudiantado. *Revista Internacional Magisterio*. N° 18. pp. 28-31.

- CARPENTER, T. y Otros. (1982). *Adittion and subtraction. A cognitive Perspective.* Hillsdale, N.Y: Lawrence Erlbaum, pp 39-59.
- CID, F. (1997). *Enciclopedia Historia de la ciencia. Vol 4*. Edad contemporánea. Barcelona: Planeta.
- CRAIK, K. (1963). *The nature of explanations.* Cambridge: University express.
- CRAIG, J. L. y otros.(1999). Exploración del espacio tiempo mediante supernovas*. Investigación y Ciencia*. N° 270, pp. 8-13.
- CHAMORRO, B. A. (2000). *Concepción Física Contemporánea del Universo.* España: Universidad del país Vasco.
- CHALMERS, A.(1999). *¿Qué es esa cosa llamada Ciencia?*. Madrid: Siglo XXI.
- DE MANUEL, J.(1995). ¿Por qué hay veranos e inviernos?. Representaciones de estudiantes (12 – 18) y de futuros maestros sobre aspectos del modelo sol – tierra*. Enseñanza de las Ciencias*. 13(2), pp. 227-236.
- DE VEGA, M.(1984). I*ntroducción a la Psicología Cognitiva.* Madrid: Alianza editorial. Capítulo 5. Las Imágenes Mentales, pp. 213-313.
- DRIVER, R. y otros. (1994). *Dando sentido a la Ciencia en secundaria.* Madrid: *Visor.*
- DRIVER, R. y OLDHAM, V. (1986). A Constructivistic approach to currículo development in Science. *Studies in Science Education.* Vol 13, pp. 105-122
- DRIVER, R.(1986):Psicología Cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias.* 4 (1), pp. 3-15.
- EISENK M.W. y KEANE, M.J. (1994). *Psicología Cognitiva. Un manual introductorio.* Porto Alegre: Artes Médicas, pp. 179-219..
- EINSTEIN, A. (1985). *El significado de la relatividad.* Barcelona: Planeta Agostini. (Escrito por Einstein en 1932).

- ESCUDERO, C. y Otros. (2004). *Teoremas en acción y conceptos en acción en clases de física introductoria en secundaria.* Brasil: Instituto de Física. Universidad Federal Río Grande do Sul. FAGUNDES, H.V.(2002). Modelos Cosmológicos y la aceleración del universo. *Revista Brasilera de Enseñanza de la Física*. 24(2), pp. 247-253.
- FARRINGTON(1961). Citado por PEDUZZI, L.O.Q.(2001). *Historia de la ciencia.* Documento de trabajo. Doctorado Internacional en la Enseñanza de las Ciencias. Universidad de Burgos. España.
- FELDMAN, C.(1983). *Epistemology and Ontology in Current Psichology Theory*. Asociación Norteamericana de Psicología. Citado por Bruner(1997). en *Realidad Mental y Mundos Posibles*. España:Gedisa.
- FERNANDEZ, P.M. (1999). *La Profesionalización del Docente. Perfeccionamiento, investigación en el aula, análisis de la práctica.* Madrid: Siglo XXI. España Editores.
- FRANCHI, A. (1999). *Consideraciones sobre la teoría de los campos conceptuales.* En Moreira(2.004). *La teoría de los campos conceptuales de Vergnaud, la Enseñanza de las Ciencias y la investigación en el área". Instituto de física, UFRGS.*
- FURIÓ, MÄS, C.J. (1994). Tendencias actuales en la formación del profesorado de Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*. 12(2), pp. 188-199.
- GARDNER, H. (1983). *Frames of Mind. The Theory of Multiple Intelligence.* N.Y: Basics Books.
- GARCÍA, G. (1989). Sobre masa y Energía. *Revista española de Física*. Vol 3, pp. 59 – 62.
- GIL, D.(1993). Contribución de la Historia y de la Filosofía de las Ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza-aprendizaje por investigación*. Enseñanza de las Ciencias*. 11(2), pp.197-212.
- GIL, D.(1987).$E=mc^2$. La ecuación más famosa de la Física. Una incomprendida. *Revista Española de Física.* Vol 2, pp. 53-55.

- GIL, D.(1994). Diez años de investigación en Didáctica de las Ciencias: Realizaciones y perspectivas*. Enseñanza de las Ciencias.* 12(2), pp.154-164.
- GIL, D. y otros.(1986).La metodología científicay la Enseñanza de las Ciencias: Unas relaciones controvertidas. *Enseñanza de las Ciencias.* 4(2), pp. 111-121.
- GONZALEZ, C.(1977). ¿Para qué enseñar Física en países en vías de desarrollo?. *Anales del Congreso sobre Enseñanza de las Ciencias"*. Chile.
- GOODMAN, N. (1978). *Los lenguajes del arte.* Barcelona: Seix Barral.
- GRECA, I.M. y MOREIRA, M.A.(1998). Modelos mentales y aprendizaje de la Física en electricidad y magnetismo. *Enseñanza de las Ciencias*. 16(2), pp. 289 – 304.
- GRECA, I.M. y otros. (2001). Una propuesta para la enseñanza de la Mecánica Cuántica*. Revista Brasilera de Enseñanza de la Física*, pp. 444 – 457.
- GRECA I. M. y MOREIRA, M.A(1995): *Un estudio sobre Representaciones mentales, imágenes, proposiciones y modelos mentales respecto al concepto de campo electromagnético en alumnos de física general, estudiantes de postgrado y profesionales.* U.F.R.G.S. Porto Alegre, Brasil.
- GRECA, I.M. y HERSCOVITZ, V.E.(2002). Construyendo Significado en Mecánica Cuántica. *Enseñanza de las Ciencias*. 20(2), pp. 327-338.
- GRECA, I.M. y MOREIRA, M.A.(2.003). *Sobre cambio conceptual, obstáculos representacionales, modelos mentales, esquemas de asimilación y campos conceptuales.* Instituto de Física. Universidad Río Grande do Sul.
- Greca, I.M.(1999). *Representaciones Mentales.* Texto de apoyo N° 7. programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias. Universidad de Burgos, España.

- GUTIERREZ, E.E. y otros.(2000). Qué piensan los jóvenes sobre radiactividad, estructura atómica y energía nuclear?*. Enseñanza de las Ciencias*. 18(2), pp. 247-254.
- GUTHRIE(1987). Citado por PEDUZZI, L. (2001). *Historia de la ciencia.* Documento de trabajo. Doctorado Internacional en la Enseñanza de las Ciencias. Universidad de Burgos. España.
- HULL, L.W.H.(1973). *Historia y Filosofía de la Ciencia.* Barcelona: Ariel editora.
- JAMES, P. y PEEBLES, E.(2001). El sentido de la Cosmología. *Investigación y Ciencia*. N° 294, pp. 80-81.
- JODELET, D.(1986). *La Representación social: Fenómenos, Concepto y Teorías*. en Moscovici, S. Psicología Social. Barcelona: II Paidós, pp. 469-494.
- JONASSEN, D. (2004). *Operationalizing Mental Models: Strategies for assessing Mental Models to support meaningful Learning and Design-Supportive Learning Environments.* Pennsylvania State University. USA
- JOHNSON-LAIRD, P.(1987). *Modelos en Ciencia Cognitiva.* Barcelona: Norman D. Editora Perspectivas de la Ciencia Cognitiva.
- JOHNSON–LAIRD, P.(1983). *Mental Model.* Cambridge University.
- JOHNSON–LAIRD, P.(1988|1990): *El ordenador y la mente. Introducción a la ciencia cognitiva.* Barcelona: *Paidos.*
- JOHNSON-LAIRD, P y otros.(1998): *Mental Models: a gentle guide for outsiders.* Princeton University, USA.
- JORDI, J. y HERNANZ, M.(2001). *"Explosiones de Novas, pirotecnia estelar". Astronomía y Universo*. N°24, pp. 22-30.
- KRAUSS, L. M.(1987). Materia Oscura del Universo. *Investigación y Ciencia.* N° 125, pp. 30-41.
- KRAUSS, L.M. (1999). Antigravedad Cosmológica. *Investigación y Ciencia.* N° 272, pp. 23-29.

- KRAUSS, L.M. (2003). The history and fate of the universe. A guide to the accompany the Contemporary Physics Education. Project cosmology chart. *The Physics Teacher.* 41(3), pp.146-155.
- KUHN, T.S. (1963). *La esrtructura de las revoluciones científicas.* México: Fondo de Cultura Económica.
- LAGRECA, M. y MOREIRA, M.A.(2004). *Representaciones mentales de los alumnos em mecánica clásica: Tres casos.* Brasil: Instituto de Física. Porto Alegre.
- LARIOS DE RODRÍGUEZ, B. y Otros. (2*004). Exploración, análisis* y caracterización *de las representaciones mentales que tienen los docentes de ciencias sobre el universo y los modelos cosmológicos que lo explican.* Tesina. UBU. España*.*
- LARIOS, N. y otros. (1996). *Escuelas y maestros en transformación*. Secretarías de Educación, Fundación Restrepo Barco. Bogotá
- LEMOS N. (2001). $E=mc^2$. Origen y Significado. *Revista Brasilera de Enseñanza de la Física*; pp 3 – 9.
- LOKUGE, I. y otros. (2004). *Structuring Information UIT Mental Models, A Tour of Boston.* Cambridge University. MIT.
- LOPEZ, M.C. (2000). *Ah, pero el universo es plano?.* Departamento de Física. Universidad Autónoma de Madrid, España.
- MAGUEIJO, J. (2001). "Una nueva teoría del universo. *Investigación y Ciencia.* N° 294, pp. 82-83. Barcelona.
- MILES y HUBERMAN. (1994), citado por VALLES M. S.(1999). *Técnicas cualitativas de investigación social*. Madrid: Editorial Síntesis.
- MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL, (MEN). (1996). *Estándares curriculares en Ciencias Naturales y Educación Ambiental.* Bogotá.

- MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL (M.E.N). (2004). *Formación en ciencias. El desafío. Lo que necesitamos saber y saber hacer*. N°7. Proyecto MEN Ascofade, Bogotá.
- MOREIRA, M.A. (1994). R*epresentaciones mentales en el aprendizaje de la Física. Imágenes, proposiciones y modelos mentales.* U.F.R.G.S, Porto Alegre, Brasil.
- MOREIRA, M.*A.(1999). Modelos Mentales.* Programa Internacional de Doctorado en la Enseñanza de las Ciencias. Texto de apoyo número 8. Universidad de Burgos, España. U.F.R.G.S, Brasil.
- MOREIRA, M.A. (2003). *La teoría de los campos conceptuales de Gérard Vergnaud, la Enseñanza de las Ciencias y la investigación en el área.* Instituto de Física. Universidad Río Grande do Sul.
- MOREIRA, M. A. y GRECA, I.(1993). *Cambio conceptual: Análisis crítico y propuestas a la luz de la teoría del aprendizaje significativo".* Ponenecia en el Tercer Seminario Internacional sobre Concepciones Alternativas y Estrategias Educacionales en Ciencias y Matemáticas. Ithaca, Cornell.
- MOREIRA, M.A.(2.000). *Aprendizaje Significativo: Teoría y Práctica.* Visor, Madrid.
- MOREIRA, M.A(1994): Cambio Conceptual: crítica a modelos actuales y una propuesta a la luz de la teoría del aprendizaje significativo*. Science & Mathematics Education for the 21th Century: Towards Innovatories approaches. Concepción, Chile. Actas, pp. 81-92.*
- MORTIMER, E.F.(1993). Conceptual change or conceptual profile change?. *Science & Education*. 4 (3), pp. 23 – 45.
- MORTIMER, E.F.(1996). C*onstructivismo, cambio conceptual y Enseñanza de las Ciencias: para donde vamos?.* Facultade de Educacao da UFMG. Belo Horizonte, Brasil.
- MULLER, R.A.(1978). "La radiación cósmica de fondo y el nuevo movimiento del éter*". Investigación y Ciencia. N*° 22, pp. 28-39.

- NARDI, R. y PESSOA, A.M.(1991). *Um estudo sobre a evolucao das nocoes de estudantes sobre espaco, forma e forca gravitacional do planeta terra.* UNESP. Sao Paulo, Brasil.
- NARDI, R. y PESSOA, A.*M.(1994*). Historia de la ciencia por aprendizaje- algunas semejanzas detectadas a partir de un estudo psicogenético sobre el concepto de campo de fuerza. *Enseñanza de las Ciencias.* 12(1), pp. 101 – 106.
- NOVAK, J.D. y GOWIN, B.(1999). *Aprendiendo a Aprender.* Barcelona: Martínez Roca.
- NUSSBAUM, J. y NOVICK, D.(1982). Childrens conceptions of the earth as a cosmic body – a cross age study*. Science Education*. 63(1), pp. 83 – 93.
- ONTORIA, A.(2005). Los mapas conceptuales, otra forma de aprender. *Revista Internacional Magisterio*. N° 18, pp. 22-26. Bogotá.
- OSTERMANN, F. y MOREIRA, M.A.(1999). *A Física na formacao de profesores do ensino fundamental.* Editora da Universidade. U.F.R.G.S.
- OSTERMANN, F. y MOREIRA, M.A.(2000). Física Contemporánea en la escuela secundaria. Una experiencia en el aula involucrando formación de profesores. *Enseñanza de las Ciencias.*18(3), pp. 391-404.
- OSTRIKER, J. y STEINHARDT, P. (2001). El Universo y su Quintaesencia. *Investigación y Ciencia*. N° 294, pp. 67-74.
- PEDUZZI, L.O.Q. (2001): *Historia de la Ciencia.* Documento de trabajo. Doctorado Internacional en la Enseñanza de las Ciencias. Universidad de Burgos, España.
- PEDUZZI, L.O.Q(1994): Física Aristotélica: ¿Por qué no considerarla en la enseñanza de la mecánica?. Conferencia presentada en *Science and Mathematic Education for the 21st. Century: Towards innovatory approaches conception.* Chile.

- PEREZ, H. y SOLVES, J. (2003). Algunos problemas en la enseñanza de la relatividad. *Enseñanza de las Ciencias*. 21(1), pp. 135-146.
- PEREZ, S.G.(1998). *Investigación cualitativa, retos e interrogantes.* Madrid: Morata.
- POSNER, G. y Otros.(1982). Acomodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change. *Science Education.* Vol 66, pp. 211-227.
- PORLAN, R. y Otros.(1998).Conocimiento profesional y epistemología de los profesores, II: estudios empíricos y conclusiones. *Enseñanza de las Ciencias*. 16(2), pp. 271-288.
- POZO, J.I.(1992). *El Aprendizaje y la Enseñanza de hechos y conceptos.*En: C.Coll.; J.I. Pozo; B. Sanabria y E. Valls (Eds), *Los contenidos en la Reforma Enseñanza y Aprendizaje de conceptos, procedimientos y actitudes.* Madrid, Santillana/ Aula XXI.
- POZO, J.I.(1994). *Teorías Cognitivas del Aprendizaje.* Madrid: Morata.
- POZO, J.I. (2001). *Humana Mente. El mundo, la conciencia y la carne.* Madrid: Morata.
- POZO, J.I.(1999). Mas allá del cambio conceptual, el aprendizaje de la ciencia como cambio representacional. *Enseñanza de las Ciencias* 17(3), pp. 513-520.
- POZO, J.I. y GOMEZ, C.(2002). La adquisición del conocimiento científico una prótesis cognitiva?. *Innovación y Ciencia*. Vol V números 3 y 4. Bogotá.
- PHYLYSHYN, Z. (1984). C*omputación and Cognición.* Madrid: Debates.
- REES, M. (2000). Exploración del universo. *Investigación y Ciencia*. N° 280, pp. 22-27.
- RODRIGO, M.J. y ARNAY, J. (1997). *La Construcción del Conocimiento Escolar*. Barcelona: Paidós.

- RODRÍGUEZ, E. (1998). *Práctica Docente Reflexiva.* Barranquilla: Editorial Mejoras.
- RODRÍGUEZ, G y Otros.(1992). *Metodología de la investigación educativa.* Buenos Aires: *E*diciones Aique.
- RODRÍGUEZ, P. M. y MOREIRA, M. A. *(2004). La teoría de los modelos mentales de Johnson Laird y sus principios: Una aplicación con modelos mentales de célula en estudiantes del curso de orientación universitaria.* Instituto de Física. Universidad Federal Río Grande do Sul. Brasil*.*
- RODRÍGUEZ, P.M. y Otros. (2001). *La teoría de los Modelos Mentales de Johnson Laird y sus principios: Una aplicación con modelos mentales de célula en estudiantes del curso de orientación universitaria*. Universidad la Laguna. Tenerife, Canarias. España.
- RUIZ, P. y Otros.(1999). Supernovas y Expansión acelerada del universo*. Investigación y Ciencia.* N° 270, pp.14-20.
- RUIZ, P.(2001). La Energía Oscura*. Investigación y ciencia*, N° 294, pp. 76-79.
- SAGAN, C. (1987): *Cosmos*. Barcelona: Planeta.
- SANTOS, C. E(2.001): La Segunda Herejía de Einstein. No creía en los agujeros negros*. Revista española de Física.* 15(2).
- SCHÖN, D.A. (1995). *Formación de Profesionales Reflexivos.* Barcelona: Paidos.
- SEGURA, D. (2002). La enseñanza de las ciencias en Colombia*. Innovación y Ciencia*. Vol V, N° 3 y 4, pp. 26-33. Bogotá.
- SOARES, C.(2002).*Representaciones Sociales*. Módulo presentado en el marco del Doctorado Internacional en la Enseñanza de las Ciencias. Burgos. España.
- SOARES, C. y otros. (2004): *La resolución de problemas en contenidos de ondas en la perspectiva de los Campos Conceptuales: Una tentativa de inferir la construcción de modelos mentales e identificar invariantes operatorios*. Trabajo presentado

en el segundo encuentro iberoamericano sobre Investigación Básica en educación en Ciencias. Burgos, España

- SOLVES y otros(2.002): Algunas consideraciones sobre la masa. *Revista Española de Física.* 16(1), pp. 47 – 51.
- STUDART, N. (2005). Einstein y el año de la Física*. Revista Brasilera de Enseñanza de la Física.* 27 (1), pp. 1-4.
- TEDESCO, J.C. (2004). *La enseñanza de las Ciencias y la formación del profesorado*. Conferencia. Encuentro Internacional sobre Innovación e Investigación, Bogotá.
- TOLEDO, B. y otros. (1997). Análisis de la transición de la Física Clásica a la Relativística desde la perspectiva del Cambio Conceptual. *Enseñanza de las Ciencias.* 15(1), pp. 79-90.
- TOULMIN, S. (1977). *La Comprensión Humana. El uso colectivo y la evolución de los conceptos.* Madrid: Alianza Editorial.
- VAN DIJK, T.J.(1992). *Cognición, Discurso e Interacción*. San Pablo: Editorial Contexto.
- VEGA, N. A. (2001). Representaciones del profesorado de primaria acerca del día y la noche. *Enseñanza de las Ciencias.* 19(1), pp. 31-44.
- VERGNAUD, G.(1993). Teoria dos campos conceituais*.* In Nasser L. (Ed). *Anais do 1° Seminário Internacional de Educacao Matemática do Rio de Janeiro*, pp. 1-26.
- VERGNAUD, G y otros.(1990). *Epistemology and Psychology of Mathematics Education.* Cambridge University Press. Cambridge, pp.14-20.
- VERGNAUD, G. (1996). Education: The best part of Piaget!s heritage. *Swiss Journal of Psychology.* Vol 55, N°2-3, pp.112-118.
- VERGNAUG, G.(1998). A Comprehensive Theory of Representation for Mathematics Education. *Journal of mathematical behavior* 17(2), pp. 167-181.

- VERGNAUD, G.(1990). Théorie des Champs Conceptuels*.* *Recherches en Didactique des Mathématiques*. pp. 131-165.
- VERGNAUD, G. (1982). *A classification of cognitive tasks and Operations of Thought Involved in Addition and Substration Problems.* Cap. 4. Centre d !Etude des processus cognitifs et du Langage. En CARPENTER y otros.(1982). Addition and Substraction. A Cognitive Perspective.
- VILLANI, A. y PACCA, J.L.A.(1987). Students espontaneous ideas about the speed of light. *International Journal of science Education*. Vol1, pp. 55-66.
- VOSNIADOU, S. y BREWER, W.(1994): Modelos Mentales del ciclo día–noche. *Ciencia Cognitiva*, Vol 18, pp. 123-183.

ANEXOS

ANEXO 1

MODELOS COSMOLÓGICOS A TRAVÉS DE LA HISTORIA.

"Si en una noche sin luna, mirando las estrellas uno no se hace
preguntas y se sobrecoge, es que no tiene corazón!".
Juan Pérez Mercader

Por: Berenice Larios de Rodríguez.(*)
Fundación Amigos de la Astronomía.
Planetario Barranquilla
Barranquilla, Colombia.

PRESENTACIÓN

La autora del presente trabajo pretende encontrar lo que aún subsiste de las viejas teorías del universo y los procesos que han posibilitado la actual visión cosmológica del hombre, para lo cual se hurgará en los pliegues de la historia de la ciencia, especialmente de la Astronomía, para encontrar rasgos de los modelos cosmológicos a través de los cuales el hombre ha pretendido descubrir y entender los misterios del universo que lo rodea y hallar lo que ellos tienen en común en la búsqueda de un hilo conductor entre las cosmologías más recientes y antiguas.

Igualmente, plantea el tema de la imagen de mundo y las posibles cosmologías que la enseñanza en las escuelas, colegios y universidades ha dejado en los estudiantes, como elementos de reflexión en torno a lo que de las cosmologías antiguas o actuales hoy por hoy permean los conocimientos que en Física y Astronomía se implementan en las aulas de clases.

INTRODUCCIÓN

El hombre siempre se ha planteado preguntas en torno al universo y siempre se ha sobrecogido al contemplarlo. El origen, la evolución, la naturaleza del universo y la búsqueda de explicaciones para los fenómenos naturales, ha generado a través de la historia de la humanidad un sinnúmero de hipótesis y conjeturas planteadas inicialmente desde lo místico, religioso y filosófico y posteriormente a través de teorías científicas más coherentes y estructuradas, en la aventura por confirmarlas o negarlas.

¿De qué está formado el universo?, ¿cómo evolucionan las componentes del universo?, ¿qué fuerzas lo dominan?, ¿existe un solo universo material o muchos de diferente naturaleza?, ¿el universo ha existido siempre o tiene un origen y tendrá un final?, ¿estamos solos en el universo?..., son preguntas que en la historia del desarrollo de la ciencia han generado controversias, despertado encarnizados debates, originado avances teóricos y tecnológicos que a la vez han permitido formular nuevas preguntas cuya solución han sido un reto para el mundo científico de todos los tiempos.

Historiadores de la ciencia y científicos, entre los que mencionamos a L.W.H.Hull(1973), Arnau(1994) y Peduzzi(1998), señalan que en el siglo VI los griegos comenzaron a sustituir los mitos por la razón y a percibir la existencia de principios generales que orientaron la formulación de sus hipótesis y la estructuración de sus teorías, en sus tentativas por conocer el mundo en que vivían, la naturaleza de la materia y la existencia del cosmos; para los autores citados, este es el punto de partida del desarrollo de la ciencia.

En el siglo VI antes de Cristo, los griegos no estaban unidos políticamente; vivían en estados – ciudad independientes, como Atenas, Corinto, Esparta, Mileto y Samos. La ciencia griega nació entre los Jonios del Asia Menor, cuando sus empresas mercantiles les pusieron en contacto con Egipto, Fenicia y Babilonia.

El pensamiento de los primeros filósofos jónicos estuvo direccionado por su curiosidad en torno a la naturaleza del mundo. De qué esta hecho?, fue la pregunta que entonces se hicieron y que ha permanecido vigente a lo largo de las cosmologías influenciando no sólo la filosofía y la religión sino también la física y la química. Para los antiguos griegos las innumerables sustancias diferentes de que se compone el mundo no son tan diversas como parecen, sino que en realidad son distintas formas de un solo elemento fundamental (el apeirón), o combinaciones diferentes de los cuatro elementos (tierra, agua, aire y fuego) considerados por Empédocles y Aristóteles. Esta idea se convirtió en un principio general de la física y la química; sin embargo, la idea de la existencia de un solo mundo material enunciada en primera instancia por Anaxágoras y confirmada por Galileo cuando apuntó su telescopio hacia los astros ha venido siendo validada de tal forma que hoy por hoy cuando ya se tiene certeza sobre la materialidad de los astros, se buscan datos concluyentes sobre la materialidad del espacio interestelar.

Para darle al lector una idea más clara, el tema que nos ocupa se ha dividido en períodos con características bien definidas marcadas por la época en que se desarrollaron. El primero va desde el siglo VI antes de Cristo hasta la edad media. Demarcamos como un período con

connotaciones específicas el que va desde el siglo XVI hasta principios del siglo XX y el último, el más fecundo, trata sobre las cosmologías del siglo XX y lo que se espera en el presente siglo.

COSMOLOGÍAS DE LA ANTIGÜEDAD.
Del Siglo VI antes de Cristo hasta la invención del telescopio.

TALES DE MILETO es el primero de los filósofos de la naturaleza, el científico jonio más importante y también el primer científico griego de relevancia; matemático, astrónomo y filósofo, intentó construir una cosmología racional en la que el agua tenía el papel de sustancia fundamental. Sostenía que toda cosa material es en último término agua. Para él la tierra es un disco plano que fluctúa sobre el agua. La Bóveda celeste es el límite superior del mundo; de su límite inferior, es decir, sobre lo que se asentaba el océano nada se sabe por la poca información sobre la obra de este filósofo. Se infiere que pues siendo el agua la sustancia primigenia no precisaba de nada que la soportase siendo posiblemente considerada como infinita en su extensión.

ANAXIMANDRO alumno destacado de Tales quien también como su maestro es de la ciudad de Mileto, impugna la escogencia del agua como materia primordial pues la materia seca se diferencia de la húmeda por la ausencia del agua. Cómo puede ser explicada la naturaleza de los cuerpos secos si carecen del elemento primordial?. Propuso como sustancia un algo misterioso, indefinido e ilimitado que no debe poseer las características de caliente – frío, húmedo – seco. El "Apeirón" no es ni el agua ni cualquier otro de los llamados elementos, sino algo diferente, de naturaleza ilimitada, del cual todos los cielos surgen y los mundos contenidos en ellos. *Esta idea mística de lo "indefinido" como sustancia misteriosa que impregna el universo constituirá con el paso de los siglos uno de los paradigmas de la filosofía e incluso de la propia ciencia, que más ha perdurado en el tiempo*. (Arnau ,1994).

Anaximandro concibe que el firmamento gira alrededor de la estrella polar, por lo que dibujó el cielo como una esfera completa y no como el arco semiesférico que cualquiera puede observar por las noches; la esfera albergaría las estrellas y en el interior quedarían la luna y el sol. En el universo de Anaximandro las dimensiones de las esferas celestes guardan relaciones fijas, concepción retomada más tarde por el Pitagorismo. La tierra es en la cosmología de Anaximandro uno más de los innumerables mundos que proliferan en este medio; concebida como un cilindro aplastado habitado en su parte superior, que se mantiene por sí misma en el centro de esa esfera rotatoria en la que las estrellas estaban fijas. Con Anaximandro la noción de esfera invadió la Astronomía. La idea de las esferas celestes

impregnó la obra de Ptolomeo (siglo II), un modelo celeste que constituyó el principal paradigma astronómico hasta la revolución copernicana en el siglo XV. Después de Anaximandro los filósofos continuaron en la búsqueda de una sustancia primigenia, pero la buscaron entre las sustancias más familiares.

Para ANAXÍMENES y DIÓGENES DE APOLONÍA, la fuente elemental de todas las cosas no era el agua; eligieron el aire o pneuma(*), aparentemente tan abundante como el agua y al que se creía poseedor del germen de toda creación y por tanto de la naturaleza divina. El alma del mundo es el aire, idea que no es sorprendente ya que el hombre muere cuando deja de respirar. ANAXÍMENES supone que la tierra es una gran hoja que flota en el aire.

JENÓFANES eligió la tierra y HERÁCLITO DE EFESO escogió el fuego como elemento primordial del mundo. Atento al papel estratégico de este elemento en la fundición de los metales y en la fabricación de un sinnúmero de objetos. Este pensador concibe todo lo que existe bajo la óptica de la transformación. Todo cambia, todo se altera, nada es permanente. El fuego es más representativo del dinamismo del mundo y los cambios que en él se operan, que los otros constituyentes de la materia imaginados por los milesianos.

ANAXÁGORAS, originario de Clazomenas, Jonia, defendió la existencia de un solo mundo material; es decir, admitió la similitud entre el cielo y la tierra. Siendo muy joven viajó a Atenas donde enseñó durante 30 años y llegó a ser maestro del propio Pericles, gobernante de la democracia ateniense y de Eurípides. Felip Cid(1977), lo destaca como un cosmólogo algo matemático y un tanto físico, víctima por seguir los dictados de su razón y de su conciencia. En las concepciones de Anaxágoras, nada nace ni muere; para él, el universo originariamente fue un inconmensurable caos de semillas ordenado por la mente (nus), que les proporcionó orden y forma por medio de un movimiento de rotación. Arnau(1994), Hull(1973) y Cid(1977) registran el evento del meteorito que cayó en Egos Pótamo en el año 467, como punto referencial a las interpretaciones que hizo Anaxágoras; por su aspecto flamante interpretó que procedía del sol, _____

(*)- Arnau(1994) opina: "Anaxímenes eligió el aire (0 pneuma).... pàg 952. Mundo Científico. Peduzzi (2.002), asume que el pneuma para los estoicos es una especie de fluido con propiedades análogas a una mezcla de aire y fuego. Hull (1973), afirma que los estoicos validaron la vieja idea jónica del elemento único del universo y expresa que ese elemento era más o menos el fuego de Heráclito pero concebido como un ser racional e identificado con Dios.

por lo que éste debía ser una gigantesca masa incandescente. Para él las estrellas y los planetas también eran cuerpos físicos sólidos, rocas incandescentes, constituidas por el elemento fuego que se hacían visibles durante la noche. Pensaba que todos los astros del firmamento se habían generado mediante los mismos tipos de procesos que rigen en la tierra, a partir de un universo caótico. Afirmaba que la luna tenía montañas y valles igual que

la tierra y notó que la parte iluminada de la luna es siempre la que está enfrentada al sol por lo que dedujo que la luna es fría y brilla con luz reflejada; explicó adecuadamente sus fases y eclipses. La corporeidad de los astros era una idea que iba en contra de las creencias religiosas de los atenienses, por lo que fue juzgado por sus ideas; fue necesaria la intervención del mismo Pericles para que Anaxágoras sobreviviera al juicio: pasó en el exilio el resto de su vida. Sabemos que 20 siglos después vinieron otros juicios por ideas semejantes. Bruno, condenado a la hoguera y Galileo condenado a vivir el resto de sus días encerrado en la torre de Arcetri.

En la Grecia Continental, EMPÉDOCLES asumió la tarea de fundir en una sola la teoría de los cuatro elementos. Aire, tierra, agua y fuego fueron considerados como las sustancias fundamentales de la creación. Los elementos de Empédocles daban "movimiento" a un universo que se mantiene en un "ciclo cósmico" en el que es dominado alternativamente por los principios de amor y odio. Un universo dinámico y eterno, dos propiedades del mismo que han sido retomadas en muchas teorías cosmológicas desde entonces.

Hacia el año 530, PITÁGORAS dejó Samos y se dirigió a Crotona, una ciudad griega de la bahía de Tarento en la que enseñó y fundó una sociedad científica. Las bases filosóficas de su escuela son diferentes a la escuela materialista de Mileto. Como los milesianos, creían en la existencia de una sustancia material, pero para ellos "*los números constituyen el verdadero elemento de que está hecho el mundo. Llamaban uno al punto, dos a la línea, tres al la superficie y cuatro al sólido; los puntos se unen para formar líneas, las líneas se unen para formar superficies y éstas para formar volúmenes. A partir de uno, dos, tres y cuatro, se podía construir el mundo*". (Farrington 1961, citado por Peduzzi (1994)). Para los pitagóricos, las diferencias entre las diversas especies deben ser buscadas en la forma, en las distintas estructuras geométricas de los cuerpos especificadas por los números; es decir, los pitagóricos cambian la materia por la forma, que al final de cuentas es común para todas las cosas. Para ellos, "la estructura es la realidad fundamental y esta estructura puede ser expresada en términos de cantidad". (Guthrie,1987), citado por Peduzzi ,1994).

La Astronomía pitagórica era especulativa igual que la de los jonios. Para ellos, la regularidad de los fenómenos, tales como el día y la noche y el movimiento diurno de las estrellas, evidenciaba orden, simetría y belleza. La tierra, en analogía con el sol, era considerada esférica. Los 5 planetas incluidos bajo esta designación eran Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno, además del sol y la luna; los planetas eran considerados de naturaleza divina que ejecutaban el más simple y simétrico de los movimientos alrededor de la tierra, el movimiento circular uniforme; un movimiento que dominará todas las discusiones sobre sistemas astronómicos hasta los tiempos modernos. Pitágoras también concibió la existencia

de una música celestial, imperceptible al oído humano, asociada al movimiento de los planetas. En la cosmología contemporánea, la teoría de las supercuerdas busca la nota fundamental de la sinfonía del universo.

El Pitagórico FILOLAO es el primero en retirar la tierra del centro del universo y colocar en su lugar un fuego en torno al cual orbitan la tierra y los demás planetas. En su movimiento diurno la tierra presenta siempre la misma faz al fuego central, igual que lo hace la luna con la tierra. El fuego u "hogar del universo" es invisible para los habitantes de la tierra ya que es su parte inhabitada la que mira hacia el fuego central. Asume la existencia de una antitierra colocada siempre en oposición a la tierra.

HERÁCLIDES DE PONTOS, concibió la tierra en el centro del universo, girando en torno a un eje que pasa por su centro; en su rotación completa una vez por día, explicaba el movimiento periódico de las estrellas que mantenían sus posiciones relativas fijas. Con su ingenioso modelo, Heráclides ofreció una explicación para el variante brillo de Venus que evidenciaba movimientos alternos de acercamiento y alejamiento del planeta respecto a la tierra. Asumió que el sol giraba en torno a la tierra una vez por año y que Venus y Mercurio giraban en torno al sol.

ARISTARCO DE SAMOS, es considerado el mayor astrónomo de la antigüedad; sus puntos de vista cosmológicos fueron mucho más avanzados que los de muchos otros astrónomos antiguos y se basaron en una viva e imaginativa observación y no en prejuicios estéticos o morales. Coloca al sol inmóvil en el centro del universo; a su alrededor, en órbitas circulares giran la tierra con la luna revolucionando en torno a ella, y los demás planetas. Las estrellas son fijas. Además de su rotación en torno al sol, la tierra gira con velocidad angular constante en torno a un eje que pasa por su centro, completando una vuelta en 24 horas. Este modelo sólo tuvo repercusión en el siglo XV pues, como era de esperarse, en la época de Aristarco el lugar natural aceptado para la tierra es el centro del universo en torno a la cual giran todos los cuerpos celestes, idea sostenida por Aristóteles.

Los planteamientos cosmológicos de Tales y los milesianos igual que los de Pitágoras y los pitagóricos influenciaron el desarrollo de la ciencia en general y de la Astronomía en particular. Muchas de las preguntas relevantes en la época antigua encontraron satisfactoria explicación desde los diferentes modelos concebidos; sin embargo subsistían problemas sin solución como el de los movimientos irregulares de Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno, cuya comprensión desafiaba el pensamiento y la creatividad de matemáticos, astrónomos y filósofos de la Atenas floreciente de los siglos V y IV antes de nuestra era, entre quienes merecen destacarse Platón y Aristóteles.

Con la posible excepción de Aristóteles, PLATÓN es el griego más celebrado. Platón no fué matemático sino un filósofo que influenciado por Pitágoras concibió el orden en el universo en términos de las matemáticas y la geometría. Nació en el seno de una familia aristocrática de Atenas, discípulo y amigo de Sócrates a la muerte del cual (399), abandonó Atenas por algún tiempo. Influenciado por las ideas de simetría y belleza del universo pitagórico Platón fué partidario de la concepción de un mundo limitado por una gran esfera en la cual se hayan incrustadas las estrellas en posiciones fijas unas respecto a otras. Mas allá de esta esfera no hay materia ni espacio; no hay nada. Concibe la tierra inmóvil en el centro del universo, por ella pasa el eje de la esfera celeste que gira del este para el oeste originando los días y las noches. Igual que los pitagóricos Platón considera los cuerpos celestes de naturaleza divina; postula que los movimientos irregulares de los planetas resultan de una combinación de movimientos circulares uniformes pues solamente formas tan perfectas como el círculo o la esfera, pueden estar asociadas a las revoluciones de estos astros. En la cosmología platónica es muy notable su opción por el flujo lineal indefinido del tiempo contra la estructura periódica de la duración. De acuerdo con Platón, los astros a intervalos regulares repiten las mismas configuraciones. La autoridad de Aristóteles adoptando la forma lineal del tiempo asegurará el triunfo de esta representación revisada solamente en el siglo XVII, aunque la física moderna siguió operando con el tiempo platónico y aristotélico hasta el advenimiento de la relatividad einsteniana.

La escuela platónica subsistió muchos años bajo el nombre de la Academia, fundada por Platón y en ella predominaron los estudios metafísicos. EUDOXO DE CNIDO, uno de los primeros y más destacados de sus discípulos es considerado fundador de la Cosmología Experimental. El gran mérito de Eudoxo consistió en la elaboración "con todo detalle" de un modelo del movimiento de los astros respetando los resultados de la observación. Este trabajo implicó una verdadera habilidad matemática así como una comprensión correcta del lugar de las matemáticas en el edificio de la ciencia. Abandonó el hábito de la especulación en Astronomía por la razón racionalizante. Según él, el movimiento de cada astro está asociado a la rotación simultánea de un conjunto de esferas concéntricas respecto a la tierra donde cada una gira uniformemente sobre un eje sujeto a la esfera siguiente. Combinando adecuadamente el número, tamaño de las esferas así como las direcciones de los ejes de rotación y las correspondientes velocidades angulares buscaba describir adecuadamente el movimiento de cualquier astro en el cielo. Fueron veintisiete las esferas móviles concebidas en el modelo de Eudoxo. Tres para el sol, tres para la luna, cuatro para cada uno de los otros planetas más la esfera de las estrellas fijas. Posteriormente Calipo, discípulo de Eudoxo incrementó en 34 ese número.

ARISTÓTELES nació en Estagira. Fue discípulo de Platón en la Academia hasta la muerte de su maestro. En el año 335 fundó el Liceo como una nueva escuela y centro de investigación. En la filosofía de Aristóteles se rechaza la idea de vacío. Concibe un firmamento perfecto de formas esféricas y movimiento circular uniforme y, para evitar el concepto de vacío concibe el cielo constituido por una sustancia inmaterial, liviana y sutil que llenaría las esferas celestes; un quinto elemento o quintaesencia, como literalmente la denominaron en la edad media. El universo de Aristóteles es finito y esférico con la tierra inmóvil en su centro y la esfera de las estrellas fijas como límite, más allá de esas esferas se encuentra la última, el último cielo, con el primer motor, Dios, que pone y mantiene en movimiento la esfera de las estrellas y de los planetas, más allá no hay nada. Con Aristóteles llegan a 55 el número de esferas necesarias para describir el mundo físico. Basado en los períodos aparentes de revolución de la luna, el sol y de los planetas en torno a la tierra, los clasificó de acuerdo con la distancia de separación respecto a este planeta. Así pues, Luna, Mercurio, Venus, Sol, Marte, Júpiter y Saturno es el orden concebido por el estagirita; debido a su cercanía con la tierra, la Luna era el único cuerpo celeste en el cual se podían detectar imperfecciones conforme su apariencia manchada, lo cual no representaba anomalía pues en verdad la Luna era una especie de marco divisorio entre la región terrestre del cambio, decadencia y muerte, y la región celeste de la permanencia y la incorruptibilidad. Según Aristóteles, cualquier "cambio" en la región sublunar resulta de un propósito intrínseco o predeterminado que las cosas tienen para comportarse de la manera como se comportan.

Hemos expresado que la Grecia antigua no estaba preparada para asimilar las ideas de avanzada propuestas por Anaxágoras; sin embargo, tampoco la Europa medieval estaba preparada para asimilar las revolucionarias ideas de aquella pléyade de pensadores y filósofos que flirtearon con la materialidad de los cielos, lo cual explica el hecho que las filosofías griega y medieval, así como la propia ciencia hasta hace muy poco, se hundieran en la concepción errónea de un universo platónico, de un firmamento mágico heredado de la obra aristotélica, la cual abarcó prácticamente todas las regiones del conocimiento. Reconocido y honrado en Macedonia, Pella, Atenas, Estagira... Aristóteles constituye un hito en la historia de la Biología, la Astronomía, la Física, la Fisiología, la Lógica, la Filosofía..., su autoridad filosófica impuso su concepción del firmamento. La fe en la teoría aristotélica gestó al empirista que construye un esquema intelectual según lo que ha observado en la naturaleza. La victoria del empirismo en las ciencias de la naturaleza se ha prolongado incluso hasta nuestros días.

En el año 338 antes de Jesucristo, Alejandro se convirtió en señor de Grecia, conquistó Egipto e India y fundó la ciudad de Alejandría, poblada por griegos, egipcios y judíos y destinada a ser el nuevo centro de la cultura griega, la ciudad más grandiosa del mundo. Se

fundó el Museum en donde por 200 años la ciencia griega floreció con asombroso brillo y gran vigor. Los fundadores del Museum estaban bajo la inspiración de Aristóteles. Allí se le leía, se le admiraba y sus nuevos métodos fueron difundidos. La Astronomía liberada de los lazos filosóficos se convirtió en un nuevo campo de investigación; surgió entonces un tipo de astrónomo dispuesto a no seguir perdiendo el tiempo en la construcción de imaginarios universos. Al igual que Aristóteles había observado las plantas y los animales, los nuevos astrónomos se dedicaron a resolver problemas claramente planteados mediante la observación sistemática; usaron su imaginación para crear "métodos" en vez de utilizarla, como sus especulativos predecesores, para "inventar" hechos. De este esplendoroso periodo florecieron matemáticos y astrónomos como Aristarco de Samos, mayor astrónomo de la antigüedad a quien ya nos referimos, Euclides y sus Elementos, Eratóstenes autor del calendario conocido como juliano y quien calculó la circunferencia de la tierra, Arquímedes, Apolonio, Hiparco, Herón... La ulterior influencia de la obra de los alejandrinos en Matemáticas y Astronomía fue realmente importante. Hull(1973), afirma que " *fue tan moderno su espíritu que los científicos del siglo XVI y XVII pudieron seguir con toda naturalidad sus obras tomándolas en el estado en que ellos la dejaron; y continúa, ... Hiparco había sido perfectamente capaz de trabajar con Tycho Brahe de igual a igual y Arquímedes habría hecho lo mismo con Newto*n".

Peduzzi(1998), opina que, la generación de nuevos datos observacionales conjugada a una Astronomía esencialmente matemática propiciaron condiciones para la elaboración de un sistema astronómico que dominó hasta el siglo XV la descripción de los cielos; "El SISTEMA PTOLEMAICO"

CLAUDIO PTOLOMEO , trabajó en la primera mitad del siglo II de nuestra era llegando a ser el astrónomo más considerado de Alejandría. Su obra puede compararse con la de Euclides en Geometría. Su contribución no consiste en la aportación de nuevas ideas sino en la organización de las ideas de sus predecesores en un tratado sistemático que reunía toda la Astronomía griega conocido con el nombre árabe de ALMAGESTO, un tratado matemático en que Ptolomeo presenta una teoría completa, coherente, con amplio poder predictivo sobre el movimiento de la luna el sol y los planetas. La Astronomía de Ptolomeo es compatible con la doctrina aristotélica de una tierra inmóvil y referencial para todos los movimientos. El cielo esférico, gira en el día del este al oeste para un observador situado en el ecuador, hecho confirmado por la regularidad con que día tras día aparecen y desaparecen las estrellas que no cambian de posición unas en relación a las otras. Las estrellas se encuentran distribuidas en una bóveda esférica concéntrica a la tierra. Con el fin de explicar las diferentes estaciones del año, las fases de la luna, el movimiento retrógrado de los planetas, sus variaciones de brillo y períodos diferentes, retoma y desarrolla la idea de Hiparco de un cuerpo que se

mueve en un círculo cuyo centro se mueve en otro círculo, llamado epiciclo-deferente o excéntrico a través del cual se podía entender no sólo el movimiento retrógrado de los planetas sino también describir las variaciones de velocidad del sol en su órbita. El ecuante fue otro importante artificio empleado por Ptolomeo para reconciliar la teoría de los epiciclos con los datos observados.

El sistema ptolemaico, progresivamente modificado satisfizo las necesidades de los astrónomos hasta la época de Copérnico. En el siglo XV ya este sistema se había complicado tanto que estaba haciéndose inmanejable. L.W.H.Hull (1973) opina que el mismo Ptolomeo aceptó, por ejemplo, que "*el movimiento diario de los planetas era más fácil de explicar si se suponía que la tierra gira alrededor de su eje como lo había indicado Heráclides*". Los puntos de vista de Aristarco, aún más avanzados, no fueron siquiera considerados por Ptolomeo.

El recorrido realizado desde el siglo VI antes de nuestra era hasta la edad media con el modelo Ptolemaico, nos señalan modelos que, como lo anota Peduzzi(1998), "*pretendieron representar los movimientos del sol y los planetas basados en observaciones dispersas e irregulares de estos astros*".

Sin embargo, si en las representaciones preptolemaicas se nota la ausencia de un modelo estructurado, coherente, con capacidad predictiva, en torno al cual se desarrollara un programa de investigación, desde el punto de vista lakatosiano, que a su vez constituyera una tradición investigativa con estructura interna, objetivos y métodos bien definidos, es porque no hubo un paradigma dominante; aunque muchas de las aportaciones de los antiguos siguen presente en los modelos cosmológicos recientes, ellas han sobrevivido gracias a la dinámica interna del desarrollo de la ciencia desde la cual ideas desechadas en alguna época puedan ser retomadas en otra. El modelo de Claudio Ptolomeo tuvo influencia hasta la edad media debido a la coherencia y estructura interna del modelo, su capacidad explicativa y predictiva, elementos necesarios en un programa de investigación. El modelo ptolemaico respondía a la necesidad de la era cristiana de tener un sistema filosófico sobre el cual apoyar su fe. San Agustín fué el encargado de armonizar las ideas cristianas con la filosofía griega, concretamente con la obra de Platón y de Aristóteles. La idea de unos cielos perfectos encajaba claramente en la idea cristiana que también diferenciaba nítidamente dos mundos; el terrestre, el mundo material en el que el hombre vive su imperfección y el celeste, el mundo sutil y divino en el que los astros se mueven elegantemente con movimientos circulares. El cristianismo agustinista se impuso en Europa como sistema religioso y cultural en los primeros siglos de nuestra era y mantuvo su predominio a lo largo de la edad media, lo que consolidó por tanto tiempo el modelo ptolemaico como descripción fiel del universo. Con Aristóteles y Ptolomeo podemos hablar de un paradigma dominante

hasta el siglo XVI, una ciencia en estado normal cuya preocupación era proveer al modelo las herramientas suficientes para explicar los fenómenos o anomalías presentadas.

Los romanos preservaron por algún tiempo la cultura griega pero no añadieron nada intelectualmente nuevo. Aún hoy se admira la proeza de la ingeniería romana pero no se conoce una sola idea científica romana. En la Edad Tenebrosa (500 – 1000), la iglesia contribuyó para la construcción de una Europa en la que finalmente pudo renacer el pensamiento científico. La fuerza intelectual que se necesitaba estaba latente en las poblaciones de Occidente después de la caída de Roma, pero hacía falta siglos de gradual educación antes de que pudiera cosecharse algo. Estos siglos arrojan muy pocos éxitos científicos comparados con el período griego o con el renacimiento pero sirvieron para establecer un mínimo de derecho y orden.

Aunque no hubo un cambio general de concepciones durante los siglos XII, XIII y XIV, antiguas ideas griegas llegadas de tercera mano a Occidente iban haciendo silenciosamente su camino en una Europa cada vez más dispuesta a recibirlas. La conquista de Constantinopla por los turcos en 1453 posibilitó una amplia divulgación del conocimiento griego preservado por los árabes. La avasalladora fase del renacer de la cultura clásica coincidió con hechos trascendentales como los viajes de descubrimiento y la invención de la imprenta, con la cual se sustituyeron los manuscritos por libros impresos en una nueva dinámica de difusión del saber científico y literario. Peduzzi expresa que "*el culto a las letras y las artes reviste de nuevos colores un nuevo período de la historia de la humanidad (El Renacimiento), que deja tras de sí la Edad Media cuyas características esenciales son una nueva amplitud de puntos de vista y concepciones y el desarrollo de un conocimiento secular, un conocimiento y una enseñanza no practicados exclusivamente por sacerdotes ni limitados a temas aprobados por la iglesia*". Un período de tolerancia de la Iglesia para con las filosofías innovadoras a tal punto que un canónigo, NICOLÁS DE CUSA, elabora un sistema astronómico, señalado por Felip Cid(1977), en la enciclopedia de la historia de la ciencia como "*una cosmología filosóficamente subversiva*", que desencadenó un proceso lento y progresivo de ruptura irreversible con el conocimiento establecido.

Las motivaciones básicas que vertebran el pensamiento del cusano expuesto en su obra "De Docta Ignorantia" (1440), eran de orden místico.

El universo de Cusa es ilimitado, indefinidamente extenso, carece de centro, pues pueden serlo todos sus puntos con igual derecho; en consecuencia, las ideas de arriba, abajo, derecha, izquierda, delante, detrás, básicas dentro de la física aristotélica, pierden todo su significado en relación a su relatividad. Al no poder establecer distinción alguna entre las

diferentes regiones del espacio, todos los cuerpos que lo ocupan deben desplazarse en él animados por un movimiento de idéntica naturaleza. La tierra no tiene por qué ser un lugar inferior en relación con los demás astros; todos los cuerpos que hay en el cosmos gozan de idéntica nobleza por lo tanto la disociación entre mundo celeste incorruptible y perfecto y mundo terrestre mutante y perecedero, desaparece.

El carácter tan tremendamente revolucionario en todos los órdenes de las tesis del cusano fue sin lugar a dudas el principal motivo de su rechazo o ignorancia. Entre sus contemporáneos sólo parece haberle tenido en cuenta Leonardo da Vinci y entre sus sucesores Giordano Bruno y Kepler; este último desde un enfoque que puede considerarse científico.

La revolución copernicana que a continuación abordaremos, señala una ruptura paradigmática (en términos de Kuhn (1963)) en Astronomía y ciencias naturales. Sin embargo, podríamos preguntarnos: a inicios del siglo XXI, qué imagen de mundo tiene el hombre de hoy?. Cuales son las cosmologías dominantes en las aulas de las instituciones educativas en cuyo seno se implementa la preparación científica de los profesionales de la educación en específico y otras profesiones relacionadas con la ciencia?. ¿Qué imagen de mundo deja en los estudiantes lo que se les enseña en los currículos de ciencias?. Para Peduzzi (1998), igual que para una pléyade de investigadores sobre concepciones alternativas, preconceptos, Ptolomeo sigue vivo, sigue reinando en las estructuras conceptuales de quienes consciente o inconscientemente están anclados en la cosmología y física de Aristóteles y la Astronomía Ptolemaica. Afirma el autor citado que "*las concepciones intuitivas forjadas por la experiencia asumen una relación directa entre fuerza y movimiento afirmando que no hay movimiento sin fuerza*"; y Moreira(2.000), admite que son concepciones alternativas que han sido aprendidas significativamente y que son difíciles de erradicar; el movimiento absoluto, tiempo y espacio absoluto y expresiones tan naturales como, el sol sale y se pone, son apenas algunos referentes que indican la coexistencia de concepciones insertas en las antiguas cosmologías que quizá conviven en las estructuras mentales con cosmologías más recientes y renovadas que admiten la materialidad de los astros y su similitud con la tierra. Qué hacer frente este panorama?.

Nuevas orientaciones en investigación educativa han planteado el estudio de los modelos mentales de estudiantes y profesores, asumiendo que éstos, los modelos mentales, tienen un núcleo acorazado en el cual hay que penetrar si se quiere transformar las representaciones mentales que se manejan actualmente sobre los modelos cosmológicos del universo.

COSMOLOGÍAS HASTA PRINCIPIOS DEL SIGLO XX

NICOLÁS COPÉRNICO, polaco de nacimiento, clérigo activo, sirvió a su país como economista y como diplomático. Su universal cultura es típica del Renacimiento. La elaboración de las líneas generales de su sistema astronómico parecen remontarse a la época en que publicó su "Commentariolus", entre 1506 y 1508 en el que consigna el principio fundamental del movimiento absoluto, es decir, el movimiento circular uniforme, y una crítica de los sistemas astronómicos imperantes en la época. Rechaza el sistema epicíclico y señala que quienes aceptan tal tipo de mecanismos necesitan introducir los ecuantes para poder explicar en forma satisfactoria los movimientos de los planetas. Copérnico aborda en el Commentariolus una descripción cualitativa de su sistema heliocéntrico; Propone siete postulados básicos que tienen como objetivo eliminar las dificultades que presenta el sistema Ptolemaico.

- No existe un centro único para todas las esferas o círculos celestes.
- El centro de la tierra no es el centro del universo, sino sólo el centro de la gravedad y de la órbita lunar.
- Todas las esferas giran alrededor del sol, que es su centro y, en consecuencia, el sol es el centro del universo.
- La razón entre la distancia de la tierra al sol y la que existe desde la tierra a los confines del universo es despreciable, lo que hace que la primera sea imperceptible frente a la altura del firmamento.
- Todo movimiento que parece realizar el firmamento no provienen de él mismo, sino del movimiento de la tierra. La tierra junto con los elementos que la rodean, gira sobre sí misma completando cada día una revolución, mientras que el firmamento y el cielo superior permanecen inmutables y en reposo.
- Los que se nos presenta como movimientos del sol son simples apariencias debidas a los movimientos de la tierra y de nuestra esfera, con la que giramos alrededor del sol como cualquier otro planeta. La tierra tiene, por lo tanto, más de un movimiento.
- Los movimientos directo y retrógrado de los planetas son aparentes, simples consecuencias del movimiento de traslación de la tierra. Por consiguiente el movimiento de la tierra basta por sí mismo para explicar las desigualdades aparentes de los cielos. Una vez establecidos estos axiomas, intentaré demostrar brevemente cómo puede salvarse de modo sistemático la uniformidad de los movimientos. Sin embargo, y en aras de la brevedad, he creído mejor omitir en este resumen las demostraciones matemáticas que reservo para mi obra mayor.

Copérnico en esta última línea se refiere a su obra posterior "De Revolutionibus", texto matemático en su esencia en el que se propone revisar la solución comúnmente aceptada del problema del movimiento de los planetas.

De lo anterior se puede afirmar que la obra de Copérnico incluye dos etapas: la primera de corte cualitativo condensada en el "Commentariolus" en la que adopta elementos de la obra de Ptolomeo como la esfera de las estrellas fijas, pero la deja quieta y coloca al sol en su centro. Supone que los planetas se mueven en círculos concéntricos alrededor del sol a partir del cual coloca a Mercurio, Venus, Tierra, Marte, Júpiter y Saturno, la Luna gira a su vez alrededor de la tierra, los planetas más cercanos al sol giran más de prisa que los lejanos; así, Mercurio completa su órbita en tres meses, mientras que Júpiter necesita aproximadamente doce años. La aparente rotación diurna de los cielos en torno del Polo se explica suponiendo que es la Tierra la que cada día realiza una rotación completa alrededor de su propio eje. La Tierra tiene además un tercer movimiento, el pequeño cambio de dirección de su eje, llamado de precesión, descubierto por Hiparco.

Thomas Kuhn afirma que "*un científico normal debe concentrar sus esfuerzos en la detallada articulación del paradigma en que trabaja y efectuar el trabajo interpretativo necesario para explorar la naturaleza en profundidad*". Chalmers (1999, pág104). Este es el mérito de Copérnico. Su idea no fue original. Su verdadera contribución consiste en los años de paciente trabajo que dedicó a los detalles. Sabía que la teoría no convencería a nadie mientras no explicara todos los detalles de los movimientos planetarios por insignificantes que fueran. Constituye la segunda parte de su gran obra. Copérnico aceptó sin discusión la idea griega de que la geometría celeste tenía que estar dominada por las figuras del círculo y la esfera. Ello se reflejó en la necesidad de seguir admitiendo los famosos epiciclos para reconciliar en detalle la teoría con los hechos. De todos modos, estaba bastante seguro de las virtudes de su idea central y perseveró en su trabajo. Su gran contribución fue el exponer en forma detallada las consecuencias astronómicas que se derivan del movimiento terrestre; la elaboración de un sistema matemático global y coherente que explicara los movimientos celestes partiendo del supuesto de que la tierra se mueve. El "De Revolutionibus", se publicó en 1543, el año de su muerte. Los principales defensores de las ideas de Copérnico fueron Giordano Bruno, Kepler y Galileo.

GIORDANO BRUNO, defensor del heliocentrismo de Copérnico, va mucho más allá al afirmar que existen infinitos sistemas solares semejantes al nuestro esparcidos por el universo e innumerables mundos habitados como nuestra tierra. En el grandioso escenario bruniano, la vida, inteligente o no, no puede ser un privilegio único de nuestro planeta. Subrayó la tesis de las grandes distancias estelares y afirmó audazmente la infinitud del universo físico. En su libro "Acerca del infinito, del universo y de los mundos" defendió la materialidad de los astros enfrentándose valientemente a la teoría ptolemaica de los dos mundos pero negó la materialidad del espacio interestelar al que calificó de "Vastísimo seno etéreo". Puede

vislumbrarse en el pensamiento de Bruno trazas del pensamiento de Nicolás de Cusa, pero su cosmovisión tiene mucho de su marca personal. Sus extensiones de la tesis copernicana aunque interesantes y fecundas eran acientíficas y al asociarlas con herejías que no tenía por qué seguirse necesariamente de la teoría copernicana, trajo innecesaria hostilidad contra ella.

TYCHO BRAHE (1546, 1601), danés de familia noble; su fama se debe a su habilidad y a su paciencia en la observación. Aunque estudió derecho en la universidad de Copenhague, se dedicó a la Astronomía. Lo que le atrajo de esta ciencia fue su poder de predicción. Elaboró tablas mucho más precisas que las existentes hasta entonces; las medidas angulares de Tycho son las mejores que jamás haya hecho el hombre sin ayuda óptica y su confiabilidad llega casi al minuto de arco; fabricó instrumentos y fue muy reconocido como observador. No aceptó nunca la teoría copernicana. Imaginó su propio sistema donde la tierra estaba fija en el centro del universo, esto es, en el centro de la esfera de las estrellas fijas, mientras que el sol y la luna giraban en torno a ella. Las órbitas de los demás planetas tenían como centro no la tierra fija sino el sol móvil. Durante el tiempo que trabajó en el observatorio de Praga (cerca de dos años), tuvo como ayudante al joven Kepler quien completó las nuevas tablas planetarias tras la muerte de Tycho, con el nombre de Tablas Rudolfinas y con ello tuvo acceso a los resultados que hicieron posible su propia concepción astronómica. Hull (1974)

JOHANNES KEPLER, adoptó y defendió la noción central de que la tierra gira con los demás planetas alrededor del sol y se decidió eliminar los procedimientos geométricos que afectaban el sistema copernicano. Intentando entender los movimientos de Marte, Kepler se vio obligado a considerar la posibilidad de un movimiento que no fuera ni uniforme ni circular. Marte es más fácil de observar que Mercurio o Venus, pues a diferencia de éstos, es visible durante largos períodos por la noche; además, por ese entonces, los movimientos de Marte estaban más detalladamente estudiados que los de Júpiter o Saturno a causa de que Marte completa más rápidamente su órbita que los planetas aludidos. Marte era pues el tema indicado para su primera investigación asociada al problema de determinar órbitas y velocidades para este planeta y la Tierra, de modo que pudiera deducirse de ellas el movimiento aparente de Marte tal y como había sido registrado por Tycho; elaboró hipótesis tras hipótesis sobre la disposición de las órbitas y las velocidades de los planetas, cada una de ellas sometida a laboriosa comprobación, lo cual le permitió conocer cada vez con más detalle el comportamiento de Marte según la hipótesis que estaba comprobando. Sus suposiciones iniciales fueron respetuosas de los movimientos circulares y uniformes de la idea tradicional, sin embargo, solamente cuando supuso en primera instancia movimientos no uniformes y posteriormente no circulares consiguió la victoria. En 1609, luego de años de trabajo anunció dos leyes que regulan el movimiento de Marte: 1)- La órbita es una elipse con el sol en uno de sus focos. 2)- La línea que une los centros de Marte y del Sol, barre

áreas iguales en tiempos iguales. Para 1619, Kepler estaba convencido que sus dos leyes regían el movimiento de los demás planetas y había descubierto la tercera ley que afirma que el cuadrado del período de un planeta es proporcional al cubo de su distancia media al sol.

Aproximadamente en cien años, un sabio enciclopédico (Copérnico), un observador incomparable (Tycho Brahe) y un matemático ingenioso (Kepler), resolvieron uno de los problemas planteados más de veinte siglos atrás por los griegos. Sin embargo, el sistema ptolemaico con su tierra fija y con sus artificiales epiciclos no se desechó inmediatamente aunque estaba claro que el elegante esquema heliocéntrico que enfrentaba se presentaba como mejor alternativa. Puede decirse que el mundo culto no aceptó fácilmente el punto de vista heliocéntrico pues sus posibilidades no fueron comprendidas al principio más que por un grupo de hombres de excepcional inteligencia; sin embargo, el nuevo paradigma poco a poco fue ganando adeptos en el renovado espíritu científico de la época a pesar de tener una serie de interrogantes y objeciones científicas que debía resolver; por ejemplo, si la tierra se mueve, cómo es que no se percibe su movimiento?; cómo es que el movimiento no le arrebata la atmósfera?; cómo es que los cuerpos caen verticalmente en vez de ser desviados en su caída por el movimiento de la tierra?...y otras tantas preguntas cuyas respuestas no se podían encontrar a la luz de la mecánica existente. Todas esas dificultades fueron superadas por Galileo y Newton principalmente.

Mientras que Kepler trabajaba en su proyecto, el florentino GALILEO GALILEY LINCEO, matemático, físico y astrónomo, le dio el golpe definitivo a la idea de los cielos perfectos. Con su enorme capacidad de acción se lanzó a un ataque general contra la ciencia aristotélica en todos sus puntos vulnerables y se comprometió abierta y explícitamente con la teoría copernicana a la cual le abrió caminos al barrerle obstáculos por todos lados.

La posibilidad del telescopio fue mostrada a la humanidad por Hans Lippershey, un óptico de Middleburg, en 1608. Galileo recibió la noticia de que en los Países Bajos habían sido inventados unos tubos que con las lentes adecuadas, producen una imagen agrandada de los objetos. Con esas pocas referencias el ingenio de Galileo construyó el sorprendente aparato con el que revolucionó la Astronomía por sus descubrimientos sensacionales en 1609 y 1610, es decir, coetáneamente con la publicación de las dos leyes de Kepler. Galileo abrió una nueva dimensión en el mundo del saber con sus observaciones radicalmente nuevas y precisas; además, abrió la era de la Astronomía Telescópica. Al mirar al cielo con un telescopio, Galileo disfrutó la emoción de ver, por primera vez, un universo más próximo y familiar; la Luna lo conmovió al descubrir en ella montañas, valles y cráteres similares a los que hay en la tierra como Anaxágoras intuyera 2.000 años antes; así, en contradicción con las enseñanzas escolásticas heredadas de Aristóteles, la Luna no era la esfera celestial

perfecta en la que se había creído desde entonces, parecía marcada por la misma imperfección y materialidad que nuestro planeta; la tierra no era la única desordenada e irregular y no sólo la Luna, sino que el resto del universo parecía no ser tan diferente, pues su telescopio le permitió observar una gran mancha en Júpiter conocida hoy como La Gran Mancha Roja, y muchas manchas en el propio sol que van cambiando de aspecto con el tiempo hasta que desaparecen y se crean otras nuevas. Dio a conocer en el "Mensajero Celeste" una parte de su aventura como explorador del firmamento en la cual observó que Júpiter el mayor de los planetas, es cortejado por satélites que giran a su alrededor; las fases de Venus reveladas por el telescopio sugerían que este planeta gira en torno al sol del cual recibe su luz, como Copérnico lo había postulado, desvaneciendo la idea de que todo el firmamento gira alrededor de la tierra. Estas ideas en franca oposición a las ideas ptolemaicas aceptadas por la iglesia, le valieron a Galileo para ser condenado a vivir en arresto lo que le faltaba por vivir.

Poco a poco se fue aceptando que los planetas y el sol no eran tan perfectos como se había pensado, incluso sus movimientos parecían gobernados por las mismas leyes dinámicas que rigen en la tierra. Galileo se vio igualmente sorprendido por el gran número de estrellas que se hacían visibles al telescopio; señaló la existencia de ochenta y nueve estrellas en la constelación de Orión y especificó unas treinta en la constelación de las Pléyades, invisibles a ojo desnudo. Pudo establecer con la ayuda del telescopio u óculo, como él le llamaba, que la Vía Láctea es un conglomerado de innumerables estrellas reunidas en grupo y las nebulosas dispersas por la galaxia son innumerables estrellas admirablemente esparcidas cuyos rayos escapan a nuestra vista por la gran distancia que las separa de nosotros.

Los avances del siglo XVII plantearon varias vías de desarrollo a la ciencia. La ciencia teórica y práctica tuvo avances importantes. En el campo de la tecnología, en el siglo XVIII se avanzó tanto en la perfección de los instrumentos de observación como en los métodos de observación de la Astronomía, mejoras asociadas con los nombres de James Bradley (1693, 1762) quien confirmó el descubrimiento de Roemer de la velocidad de la luz y Sir William Herschel (1738, 1822) quien construyó sus propios telescopios, los mejores de la época y los empleó en la exploración del hemisferio septentrional de los cielos; Herschel amplió el cocimiento cuantitativo del sistema solar con el descubrimiento de Urano en 1781; descubrió también varias nebulosas. En 1838, F. W. Bessel, director del observatorio prusiano de Königberg hizo la estimación de la distancia de la tierra a la estrella 61 Cigni, calculándola en unas 600.000 veces la distancia tierra sol, mostrando el firme fundamento del universo copernicano. El método de paralaje de Bessel reveló las distancias de muchas estrellas próximas. Todas las observaciones importantes practicadas desde el siglo XVII reforzaron la

convicción de que el universo es de dimensiones fabulosas, imagen del mundo aportada por Bruno, condenado a morir en la hoguera, y adoptada hoy por los hombres de ciencia.

La revolución copernicana planteó el paradigma heliocéntrico el cual enfrentaba problemas teóricos que no pudieron ser resueltos por la Mecánica de Aristóteles que por tantos siglos sirvió de base al sistema geocéntrico de Claudio Ptolomeo; era necesario estructurar una teoría coherente que diera respuesta a los interrogantes surgidos. GALILEO Y NEWTON aportaron una nueva y adecuada mecánica científica; GALILEO, en los últimos ocho años de su vida, en el retiro forzado de Arcetri, se ocupa de los problemas mecánicos que había abandonado cuando se lanzó a su cruzada copernicana; en los "Discursos y Demostraciones Matemáticas en torno de dos nuevas ciencias", publicado en 1638, lejos de Roma, nace la física moderna.

ISAAC NEWTON se acercó a los problemas del movimiento planetario equipado con ideas precisas acerca de la velocidad, la aceleración, el momento y la fuerza; ideas derivadas de los conceptos más fundamentales de espacio, tiempo y masas mensurables. La teoría planetaria de Newton no se difundió hasta la publicación de "Los Principios Matemáticos de la Filosofía Natural" en 1687. Los problemas que se propuso resolver fueron los siguientes:

1)- Una sola fuerza dirigida hacia el sol, puede dar razón del movimiento según las leyes de Kepler?.

2)- Debe ser ésta, una fuerza constante o variable?.

3)- Es la hipótesis de una tal fuerza una hipótesis razonable?.

4)- Cual es la naturaleza de esa fuerza si efectivamente existe?. Esta última cuestión fue la primera a que se dedicó Newton, desde 1665 y 1666, cuando aún no había terminado sus estudios.

La necesidad de contar con una fuerza dirigida hacia el sol resultó patente en cuanto intentó correlacionar la nueva astronomía con la nueva mecánica. En el universo copernicano la tierra es uno más entre los cuerpos celestes que le son similares y comparten su estatuto cosmológico; puesto que los objetos situados cerca de la tierra son atraídos por ésta, parecía razonable suponer que los objetos situados cerca de Júpiter, por ejemplo, son atraídos por este planeta y los que están cerca al sol son atraídos por el sol y así para los demás astros. La gravitación producida por la genialidad de Newton fue considerada no como un atributo único de la tierra, sino como una propiedad de cualquier cuerpo material. Por tanteo Newton llegó a dar forma matemática precisa a lo que más tarde fue la famosa Ley de la Gravitación Universal la cual suministra ciertamente la fuerza necesaria para mantener planetas y satélites en sus órbitas. Los Principia enuncian explícitamente las leyes del movimiento y la de la gravitación universal y muestran cómo puede predecirse el movimiento de los cuerpos

regidos por esos principios. Los resultados se aplican entonces al sistema solar; así se demuestra que si se desprecian las ligeras perturbaciones ejercidas por unos planetas sobre otros, el sistema obedece exactamente las leyes de Kepler. El estudio de las perturbaciones dio lugar al descubrimiento de Neptuno; se halló que teniendo en cuenta todas las perturbaciones producidas por Júpiter y Saturno, las posiciones calculadas para Urano diferían de las observadas; aunque pequeñas, era una discrepancia que no debía ser ignorada. Adams y Leverrier independientemente calcularon la posición de un planeta desconocido a partir de los efectos observados en Urano, planeta que posteriormente sería descubierto por Galle.

Los inmediatos sucesores de Newton, los grandes mecanicistas del siglo XVIII atribuyeron a la ley de la gravitación universal una fecundidad casi inagotable.

Desde fines del siglo XVII y hasta fines del siglo XX se produjo además otro proceso de desarrollo en torno a las ideas sobre la naturaleza de la luz; Newton concibió la luz como fluido corpuscular; Cristian Huygens (1596, 1687) concibió la luz semejantemente al sonido, como una onda que se propaga en el espacio, cuestión que necesariamente conllevaba a proponer un medio iterestelar pues ninguna de las ondas conocidas por entonces era capaz de propagarse en el vacío. Huygens y sus seguidores supusieron que el espacio está ocupado por un material al que denominaron éter lumínico; Ampère(1775, 1836), asimiló el éter como el fluido que llena todo el espacio, prácticamente incompresible y que pasa a través de todos los cuerpos, representación que recuerda el apeirón de Anaximandro. El modelo del éter fue variando de acuerdo con la necesidad de explicación de los fenómenos eléctricos y magnéticos observados. A fines del siglo XIX el fluido cósmico de Huygens servía de vehículo para la propagación de las ondas electromagnéticas de Maxwell cuyo trabajo suministró una elegante teoría matemática que enlazaba todos los fenómenos de la luz, la electricidad y el magnetismo. Entre 1881 y 1887 Albert Abraham Michelson y Edward Morley trabajaron en un proyecto experimental cuyo objetivo era la detección de esa misteriosa sustancia llamada éter; el experimento no dio los resultados esperados lo cual echaba al suelo todas las teorías sobre la existencia de un éter lumínico que no daba señales de su existencia; posteriormente Einstein consideró el éter como una idea que lastraba la concepción del universo, que al amanecer del nuevo siglo, respondía a la cosmología copernicana con la ventaja de estar sustentada por la física newtoniana con sus concepciones de espacio y tiempo absolutos, masa no variable, fuerzas, tensiones, oscilaciones y por la ley universal de la gravitación; por partículas y ondas claramente definidas y diferenciadas; por órbitas elípticas y por la física de Maxwell para quien la luz es una onda electromagnética que viaja en el espacio a la velocidad de 300.000Km/seg.

A pesar de todo el desarrollo teórico y tecnológico de los siglos XVIII y XIX, el universo de principios del siglo XX contenía trazas de las cosmologías de la antigüedad; por ejemplo, aún subsistía la concepción aristotélica del espacio lleno por un fluido cuyas características escapaban a los intentos de detección; para los científicos era preciso hallar justificación a los resultados experimentales negativos en cuanto a la existencia de ese sustrato invisible que llenaba el universo.

Si bien es cierto que el telescopio permitió espiar los aspectos y los movimientos de los astros luminosos, poco aportó sobre la naturaleza del espacio que queda entre ellos; éste suele aparecer oscuro e indevelable para el ocular. Ello significa que los enigmas del espacio interestelar sumado a las cuestiones surgidas como consecuencia de los avances teóricos en el mundo de las partículas elementales cuya relación con el macrounvierso venía siendo evidenciada, constituyeron retos para el mundo científico del siglo XX. La imagen cosmológica de un universo totalmente impregnado de un fluido inmaterial atravesaba un momento crítico, en tanto el éter su existencia y propiedades se presentaba a la ciencia como un problema anómalo que amenazaba la estabilidad de las teorías soportadas en ese misterioso fluido, tras el fracaso del experimento de Michelson y Morley. El mundo científico enfrentaba otra crisis paradigmática, al tenor de la obra de Kuhn; el paradigma mecánico no explicaba a satisfacción cuestiones surgidas desde diversas vertientes: en el reino nunca visto del átomo y en las profundidades insondables del universo intergaláctico en el cual el viejo enigma del excéntrico comportamiento del planeta mercurio aún desvelaba a los astrónomos. Frente a la problemática que enfrentaba la física de fines del siglo XIX, los científicos buscaban en el mundo mecánico de Newton, argumentos que dieran explicación satisfactoria a los resultados experimentales encontrados y a los eventos naturales observados, pero éste no explicaba a satisfacción las cuestiones planteadas. Como en la revolución científica de los siglos XVI y XVII, los generadores de la física moderna aportaron desde diversos ámbitos los fundamentos de ese edificio inacabado. Abordaremos en adelante el paradigma einsteniano, el cual implica un cambio de perspectiva en cuanto a la forma de abordar los fenómenos y percibir y representar el cosmo.

COSMOLOGÍAS DEL SIGLO XX

Un hecho irrefutable planteaba el experimento de Michelson y Morley: "*La velocidad de la luz no es afectada por el movimiento terrestr*e". ALBERT EINSTEIN (1879, 1955), físico alemán de origen judío, autor de la teoría de la relatividad especial y general, quien también explicó con éxito el movimiento browniano y el efecto fotoeléctrico por cuya interpretación recibió el premio Nóbel de física, pensó que si la velocidad de la luz era constante independientemente del movimiento de la tierra, también debería serlo independientemente del sol, luna,

estrellas, meteoros o cualquier otro sistema que se mueva en cualquier otro lugar del universo; así que entendió esto como la revelación de una ley universal; afirmó que "*las leyes de la naturaleza son iguales para todos los sistemas que se mueven uniformemente*".

Para Einstein el universo es un lugar desasosegado; estrellas, nebulosas, galaxias y todos los sistemas gravitacionales del espacio están en incesante movimiento los cuales sólo pueden describirse relacionándolos unos con otros ya que en el espacio no hay direcciones ni fronteras; no hay ni espacio ni tiempo absolutos; la naturaleza no ofrece medidas absolutas de comparación. El mundo es un continuo espacio-tiempo; toda la realidad existe en el espacio y el tiempo, que son inseparables. Todas las mediciones del tiempo son realmente mediciones en el espacio y a la inversa. Segundos, minutos, horas, días, semanas, meses, estaciones y años son medida de la posición de la tierra en el espacio con relación al sol, la luna y las estrellas. Como firme creyente de la armonía de la naturaleza, se negaba a creer que cualquier sistema que se encuentre en estado de movimiento no uniforme fuese un sistema excepcional en el que las leyes de la naturaleza fueren distintas. Para Einstein el movimiento de los planetas y de las estrellas nace de su inherente inercia y los cursos que siguen están determinados por las propiedades métricas del continuo espacio-tiempo. Para cada concentración de materia en el universo, existe una correspondiente distorsión en el continuo espacio – tiempo. Cada cuerpo celeste, cada galaxia crea irregularidades a modo de reflujos alrededor de islas en el mar. A mayor concentración de materia, mayor es la curvatura en el espacio-tiempo; las distorsiones combinadas, producidas por las incomputables masas de materia, obligan al continuo a volverse sobre sí mismo, describiendo una gran curva cósmica cerrada. Así, el universo de Einstein es no euclidiano y finito; no existen líneas rectas sino geodésicas o grandes círculos. El espacio a pesar de ser finito no tiene fronteras. La curvatura del espacio está determinada por su contenido material.

Esta idea planteó un problema cosmológico resuelto por EDWIN HUBLE, astrónomo del observatorio Monte Wilson, quien observó durante años áreas enteras del espacio calculando penosamente la cantidad media de materia. La conclusión a que llegó fue que en el universo hay 0,00000000000000000000000000001 gramos de materia por centímetro cúbico. Sustituido en las ecuaciones de campo de Einstein, este valor da para la curvatura del universo el valor de 35 mil millones de años luz lo que en kilómetros da 340.000.000.000.000.000.000.000, lo que quiere decir que un rayo de luz lanzado al espacio describirá en este universo un gran círculo cósmico y volverá a su fuente de origen después de un poco más de 200 mil millones de años terrestres.

En la época en que Einstein desarrolló su cosmología no había sido observado un extraño fenómeno posteriormente visto e interpretado por Huble a principios de la tercera década del

siglo XX. Huble observó que las galaxias parecen alejarse unas de otras y que las más alejadas se distancian con mayor velocidad. El hallazgo de Huble implicaba que el universo está en expansión y se interpretó como prueba de que el universo tuvo un origen. En 1922 Alexander Friedmann desafiando el universo estático de Einstein, demostró que éste había cometido un error en los cálculos y que las propias ecuaciones de Einstein permitían la descripción de un universo que evoluciona. En 1927 el sacerdote belga y físico teórico George Lemaitre galvanizó a los cosmólogos con su propuesta de que "un átomo primigenio" denso y muy caliente estalló para crear el actual universo. La versión moderna del gran estallido o Big Bang se debe a George Gamow y sus discípulos Ralph Alpher y Robert Herman quienes al calcular la síntesis de los elementos químicos de la explosión primordial trasladaron, en la década de los años cuarenta, la idea del big bang del campo de las hipótesis al terreno de la ciencia observacional. En 1948 Alpher y Herman publicaron en la revista científica Nature su hipótesis que el espacio debía estar bañado por un mar de energía electromagnética , hipótesis que fue confirmada dieciocho años después por Arno Penzia y Robert Wilson quienes lograron identificarla y calcularon además que ésta comportaba una temperatura en torno a los 2,7ºK., hecho que dio cabida para que desde la década de los años cincuenta surgiera una aceptación mayoritariamente generalizada de la teoría cosmológica que supone que el universo tuvo su comienzo en la explosión del átomo primigenio (big bang), que el universo evolucionó desde condiciones iniciales de calor y densidad tan extremados que sólo podían existir en él la radiación y las partículas elementales; los núcleos mayores se formaron cuando los mas pequeños, comenzando por el hidrógeno, fueron creciendo mediante la captura sucesiva de neutrones; el proceso continuó hasta que se agotó el suministro de neutrones libres; más tarde el universo se expandió y se enfrió formándose por condensación las estrellas y las galaxias.

Fred Hoyle, profesor de la Universidad de Cambridge, para ridiculizar esta tesis que se oponía a la suya del universo estacionario, la llamó "teoría de la gran explosión", proporcionándole el nombre con que hoy se conoce.

La teoría cosmológica del universo estacionario supone que el universo existe desde siempre y explica que la dispersión de materia resultante de la observada expansión del universo está compensada por la continua creación de materia.

La teoría de la gran explosión ha prevalecido debido en gran medida, a la predicción, observación e interpretación de la radiación cósmica de fondo descubierta en los años 1964-1965 por Penzia y Wilson, que inunda el cielo en todas las direcciones en las frecuencias de microondas. El modelo estacionario no predijo la radiación ni pudo explicarla de manera

plausible, hecho que marcó el abandono de dicha teoría por sus seguidores a finales de los años sesenta.

La radiación de fondo planteó a la teoría de la gran explosión el problema de su excesiva uniformidad; carecía de las ligeras variaciones de temperatura y de densidad necesarias para sembrar posteriores agrupaciones gravitatorias sin la cual no habría tiempo para producir las galaxias y las estructuras supergalácticas; problema resuelto en Abril de 1992 por George Smoot y sus colegas quienes detectaron esas ligeras variaciones de temperatura en la radiación cósmica de fondo.

Era natural que en el seno de la comunidad científica surgieran nuevas preguntas o se retomaran cuestiones de vieja data: ¿realmente el universo comenzó con una gran explosión o tuvo una fase previa de contracción, una "gran implosión" (big crunch) que condujo a las altas temperaturas y densidades. Seguirá en expansión perpetua el universo o finalmente se colapsará en un agujero negro?, problema fundamentalmente relacionado con la cantidad de materia del universo pues ésta determina si el universo es cerrado o abierto. Un universo cerrado posee la densidad de materia suficiente para detener la expansión antes de que llegue al infinito. Si la densidad de materia es superior, el universo dejará un día de expandirse y empezará a contraerse y si es inferior, el universo está destinado a expandirse para siempre. Ideas que dominan actualmente el pensamiento físico.

Actualmente ignoramos si vivimos en un universo abierto o cerrado. Sabemos que vivimos en un universo evolutivo pero su último destino permanece aún en el mundo de los problemas sin solución y plantea un panorama en el desarrollo de las ciencias sujeto a los resultados de programas de investigación en el mundo de lo infinitamente pequeño y en el macrouniverso. Se habla de materia oscura, materia oculta, antimateria, teoría de cuerdas, energía oscura,... Martín Rees (2000) dice que en la actualidad, el acervo del saber avanza en tres frentes: Lo muy grande, lo muy pequeño y lo muy complejo y que, la cosmología se mueve en los tres.

Cómo evolucionó una bola de fuego amorfa, muy caliente, a lo largo de diez o quince mil millones de años hasta convertirse en un cosmos complejo, lleno de galaxias, estrellas y planetas?. Cómo se juntaron los átomos aquí en la tierra o quizá en otros mundos para constituir seres vivos lo bastante complicados como para pensar en su propio origen?. Estas preguntas son un desafío para el presente milenio. Con Arnau (1994), podemos afirmar que, al inicio del presente siglo la creencia es que, "*todo el universo observable es un solo mundo material, una misma entidad corpórea tan sustancial como la tierra que nos alimenta, como el aire que respiramos o como nosotros mismos*"

Después de 26 siglos, podría decirse que aún se tienen los mismos problemas respecto al cosmos y que su solución es más compleja en la medida en que hay muchos más elementos para tener en cuenta, que han sido aportados desde los diferentes ámbitos científicos. Las cosmologías aceptadas recientemente aunque mantienen muchas de las hipótesis de los pensadores antiguos, sus enfoques hacen de éstas cuerpos teóricos más avanzados, coherentes y fundamentados cuyas características las colocan entre los programas de investigación progresivos de la modernidad.

Para concluir, vale la pena preguntarnos si el panorama científico complejo e interesante de las cosmologías recientes ha traspasado el umbral de las aulas ciencias y conocer cuales son los elementos que los estudiantes incorporan a la estructura del universo en su conjunto o a los modelos globales que lo explican. Preguntarnos por las características del universo desde la perspectiva de los docentes. Quizá son pocos los estudiantes de ciencias que tienen la oportunidad de estudiar, analizar y comprender que la materialidad del cosmos plantea la convergencia de los problemas de los universos infinitamente grande e infinitamente pequeño. Que las investigaciones realizadas en el micro y macrouniverso están encaminadas a develar los misterios que han obsesionado al homosapiens a través de la historia: ¿ de qué está formado el universo?, ¿qué clase de materia es la más abundante?, ¿cómo evolucionan las componentes del universo?, ¿qué fuerzas lo dominan?, ¿existe un solo universo material o muchos de diferente naturaleza?, ¿el universo ha existido siempre o tiene un origen y tendrá un final?, ¿estamos solos en el universo?..., la búsqueda de respuestas a estas y otras preguntas, ha desencadenado un desarrollo vertiginoso de la ciencia en el pasado siglo que desgraciadamente no ha logrado permear las aulas de clases.

BIBLIOGRAFÍA.

- ARNAU, A(1994): "El Universo Material". Mundo Científico Nº 151, pp 950-959
- BARROW, J.D y SILK, J(1980): "Estructura del Universo Primitivo". *Scientific American*. Nº 45, pp 74-86
- BRUSH, S.G(1992): "Cosmología; Teorías y Observaciones". *Investigación y Ciencia* Nº 193, pp
- CID, F(1979): Historia de la ciencia". Tomos 2 y 3.Planeta. Barcelona.
- CHALMERS, A(1999): "Qué es esa cosa llamada Ciencia"?. Siglo XXI. Madrid,
- EINSTEIN, A y INFELD, L(1986) "La Ewvolución de la Física". Biblioteca científica Salvat. Barcelona.
- GAMOY, G(1980): "Biografía de la Física". Alianza Editorial. Madrid .
- HULL, L. W.H(1973): "Historia y Filosofía de la Ciencia". Ariel editorial. Barcelona.
- KAUFMANN, W.J(1977): "Relatividad y Cosmología". Harla. México.
- KRAUSS, L.M(1987): "Materia Oscura del Universo". *Investigación y Ciencia*. Nº 125.
- LASOTA, J.P(1989): "La Huella de los agujeros negros". *Investigación y Ciencia*. Nº 274
- LOPEZ PIÑERO, J.M y otros(1989): "La Revolución Científica". Historia 16.Madrid.
- MADDOX, John: "La ciencia del Nuevo Milenio". Investigación y Ciencia. Nº 280. Enero de 2.000

- PEDUZZI, L(2.001): Material de trabajo para la asignatura Historia de la Ciencia. Fotocopias. Centro de Ciencias Físicas y Matemáticas. Universidad Federal de Santa Catalina. Brasil
- PRICE, R.H y otro(1988): "El paradigma de la Membrana de los agujeros negros". *Investigación y Ciencia*. Nº 141
- REES, M(2.000) "La Explosión del Universo". Investigación y Ciencia. Nº 280.
- WEINBERG, S(2.000): "La Unificación de la Física". *Investigación y Ciencia*. Nº 280.

Anexo 2.

ANNUS MIRÁBILIS
RASGOS DEL JOVEN ALBERT EINSTEIN KOCH
EN LA OFICINA DE PATENTES.
1902 - 1909.

POR: Berenice Larios de Rodríguez
Fundación Amigos de la Astronomía.
Para: Tertulia científica abierta.

"Todos somos ignorantes, lo que sucede es que no ignoramos las mismas cosas"
Albert Einstein

INTRODUCCIÓN

Este año los científicos y amantes de la ciencia celebramos y conmemoramos hechos relativos a quien fuera llamado el científico de la centuria anterior. El 14 de Marzo se cumplieron 126 años del nacimiento de Albert Einstein en la ciudad de Ulm, Alemania; el 18 de Abril conmemoramos 50 años de la muerte del genio y durante todo el año la comunidad científica celebra los 100 años de la teoría de la relatividad restringida; son cien años de lo que hoy los historiadores de la ciencia llaman el annus mirábilis, título del presente material. Sin embargo, más que por su onomástico o por su partida, es por el ejemplo de tenacidad, por la convicción en sus principios y por la claridad en sus metas por lo que deseo compartir las ideas que he logrado hilvanar sobre un período corto y productivo de la vida del genio.

Quiero referirme a los siete años en Berna, en la oficina de patentes, pues por lo general los textos de divulgación científica pasan raudos por este período, conocido como el período científico en que el joven Einstein gestó y desarrolló tres trabajos publicados hace un siglo, en el año de 1905.

Para iniciar, preguntémosnos;

1. ¿Fueron los trabajos de Einstein producto de una mente aventurera que nada tenía que perder y mucho que ganar?. o,

2. ¿Sus antecedentes científicos pusieron las bases conceptuales para que el joven Einstein se enrumbara por esos problemas de la ciencia?, o,

3. ¿Fue Einstein un aprovechado que tuvo la suerte de conocer algunos inventos e ideas innovadoras antes de ser patentadas?.

Son estas unas cuantas preguntas cuyas respuestas dependen del marco referencial desde el cual se mire el trabajo del genio; en este artículo se presentan algunos argumentos y testimonios de una vida dedicada al estudio, análisis crítico y discusión de muchas de las obras científicas y filosóficas reconocidas en su época. El lector puede elaborar sus propias conclusiones.

Tomaré como referente las 51 cartas, 41 que Einstein escribió a Mileva Máric su condiscípula, posteriormente su esposa y madre de sus tres hijos, más 10 de las que ella le respondió, en la convicción de que en éstas se encuentra información de primera mano sobre el germen del pensamiento científico del genio y los rasgos del ser humano con sus virtudes y defectos.

Nos ubicaremos entre 1900, año en que se gradúa como profesor en el Politécnico de Zurich y 1909, año en que abandona la oficina de patentes para llegar a Zurich como profesor del Politécnico.

El 28 de Julio de 1900, Albert Einstein se gradúa como Fachlebrer in Mathematischer Richtung en la Escuela Politécnica de Zurich, Suiza, grado que equivale en los currículos de nuestras universidades al de Licenciado en Matemáticas; su tesis de grado titulada "La Conducción Calórica", dirigida por Heinrich Friedrich Weber, le hacía pensar que continuaría en esta institución sus investigaciones en termoelectricidad bajo la supervisión de su asesor, con la esperanza de utilizar los resultados para su tesis doctoral. Estos planes no se llegaron a realizar; su primera frustración le llegó cuando de los cuatro estudiantes que culminaron los exámenes finales para optar el título de Fachlebrer in Mathematischer, Marcell Grossmann, Jacob Ehrat, Louis Kollros y Albert Einstein, fue a Einstein a quien no se le concedió un puesto como asistente, el primer nivel en el escalafón universitario; en vez de seleccionar a Einstein su discípulo, H. F. Weber tomó como ayudantes a dos ingenieros mecánicos.

Para Einstein era imperativo buscar trabajo pues la ayuda económica de los 100 francos suizos que le proporcionaba el primo de su padre mientras estudiaba en el Politécnico cesaría una vez culminara su carrera. Tenía 21 años.

Tras el fracaso inicial aspira ser ayudante de:
Adolf Hurwitz, su profesor de cálculo diferencial e integral; luego de Eduard Riecke, director de la División de Física experimental del Instituto de Física, Universidad de Gotinga; o de

Heike Kammerling Onnes, el célebre director de física de bajas temperaturas de Leiden, o de Otswald, célebre químico - físico de la universidad de Leipzi, sin obtener el añorado puesto.

En palabras modernas, se le habían cerrado las puertas de las universidades; en carta que escribiera a Mileva, su novia y compañera de estudios, le expresaba: "Pronto habré honrado con mi oferta a todos los físicos desde el mar del norte hasta la punta meridional de Italia". Muchos de nuestros profesionales hoy, como Einstein hace un siglo, también han cubierto el territorio en que viven con sus hojas de vida sin encontrar respuesta positiva a su solicitud; ojalá tengan la tenacidad, fuerza de voluntad y autoestima del joven Einstein

Quizá en esos momentos igual que muchos de nuestros jóvenes profesionales, Einstein hubiera podido sentir lo que Alberto Saldarriaga Blanco describe en su poesía "La Nada Existe" y expresar como él, " es verdad, la nada existe", porque le había hablado bajito en el lenguaje del desaliento, había escuchado su corazón trepidar con el suyo,..., pero no, el desaliento no lo anuló, no le extravió el norte, no se bebió sus lágrimas, no le marchitó el ánimo, por el contrario, asumió la tarea de abrir por sus propias manos las puertas que se le mostraban cerradas y lejanas.[30]
Para mantenerse a flote en Zurich aceptó realizar algunos trabajos de cálculo por encargo del profesor Alfred Wolfer, director del Observatorio Astronómico Confederal. Su situación era crítica; algunos amigos intentaron ayudarle, entre otros Michael Besso[31], quien habló con un tío, profesor en Italia y Marcell Grossmann quien le pidió a su padre le ayudara a conseguir un trabajo. Ambas ayudas llegaron a concretarse

Las oportunidades de trabajo que se le brindaron fue una licencia por dos meses para ser profesor de un instituto, dictar clases particulares a estudiantes con problemas académicos y esperar que el ofrecimiento del padre de Grossmann se cumpliera. Un nombramiento en la oficina de protección de la propiedad intelectual en Berna, Suiza.

En Febrero de 1902 puso un anuncio en el periódico ofreciéndose para dar clases particulares. En Semana Santa el anuncio atrajo a un estudiante rumano, Maurice Solovine, con el que mantendría amistad toda su vida y con quien junto a Konrad Habich, fundó la Akademia Olympia, una tertulia en la que discutían temas de diversa índole y que mantendría en actividad aún en sus años maduros. Entre los temas objeto de discusión podemos mencionar:

---

[30] Sin embargo, la situación en la que se encontraba el joven Albert era lo suficientemente crítica como para que se sintiese deprimido. Su padre, percibiendo su estado de ánimo, se atrevió escribir una carta al profesor Ostwald que comenzaba así: "Por favor perdone usted estimado Herr professor, a un padre que es tan atrevido como para dirigirse a usted en el interés de su hijo.....
La respuesta nunca llegó.

[31] Besso fue a la única persona a quien Einstein agradeció su colaboración en el artículo sobre Relatividad Especial,

Análisis de las Sensaciones y la Mecánica de Mach; (Física)
La Lógica de Mill; (Matemática)
Tratado de la naturaleza humana de Hume; (Filosofía)
La Ética de Spinoza; (Filosofía)
Conferencias y memorias de Helmholtz; (Física, matemática)
Ensayos sobre filosofía de André Marie Ampére; (Filosofía)
Hipótesis de base de la Geometría de Riemann; (Geometría no euclidiana)
La crítica de la experiencia pura de Avenarius; (Filosofía)
Sobre la naturaleza de las cosas en sí mismas de Clifford; (Filosofía)
Qué son los números de Dedekind; (Matemática)
La ciencia y la Hipótesis de Poincaré. (Física - Matemáticas)

Muchas de las cartas escritas a Millewa Máric contienen comentarios sobre las distintas obras objeto de su estudio y análisis,[32] lo que conlleva a pensar la importancia que daba a sus lecturas y la incidencia de las mismas en su formación profesional.

El 16 de Junio de 1902 (casi dos años después de egresado de la universidad), después de ser sometido a un riguroso examen le dieron empleo en la oficina de patentes. Fue admitido como Técnico experto de tercera clase con un salario anual de 3.500 francos suizos. A Albert le gustaba el empleo. Debía estudiar una pila de solicitudes de patentes en las que inventores escribían sus ideas, por lo general con gran detalle, usando términos técnicos poco familiares.

Qué debía hacer?.
Le correspondía captar los detalles esenciales del invento y escribir luego una descripción simplificada, de modo que sus superiores pudieran decidir si el invento merecía una patente.

Era una forma, según su parecer, de aplicar sus capacidades. Le interesaban los aparatos e instrumentos técnicos y una que otra vez topaba con ideas ingeniosas en su pila cotidiana de cartas. Esto le hacía de veras emocionante el trabajo. Tanto fue así que descubrió que podía hacer éste en cuatro horas, lo que le entusiasmó, pues era preciso seguir trabajando en unas cuantas cuestiones física y algunos problemas que le interesaba resolver.

[32] En las cartas señaladas con los números 8, 10, 11, hay alusión explícita a sus trabajos; en la número 8, puede leerse lo siguiente: "En la formulación de Hertz, se necesitan algunas suposiciones acerca del movimiento del éter para desarrollar una electrodinámica de los cuerpos en movimiento. La explicación de una amplia clase de "fenómenos electromagnéticos propios" no depende de la hipótesis específica que se hace del movimiento del éter dentro de los cuerpos en movimiento o del éter libre. Su teoría se basa en la suposición más sencilla (que el éter es arrastrado completamente por los cuerpos en movimiento), aunque era consciente de que esta hipótesis no explicaría probablemente todos los fenómenos electromagnéticos. En la carta 11 le escribe: " también yo he husmeado mucho en los libros y he leído mucho, en parte cosas muy interesantes. Le he escrito al profesor Wien acerca del trabajo sobre el movimiento relativo al éter lumífero frente a la materia ponderable; trabajo tratado de modo tan desfavorecedor por el "principal".

¡Cuales cuestiones de Física? ¿Cuales problemas sin resolver?
Recordemos que en su tesis de grado y en su posible programa de investigaciones tenían trazado un derrotero conceptual respecto a la física. Recordemos también que en la Akademia Olympia, tuvo la oportunidad de hacer contactos con la problemática reciente de la física, la lógica, la filosofía y la matemática.

Las ideas sobre átomos y moléculas, así como la interpretación del calor como la energía de su movimiento al azar eran objeto de permanente estudio y debate en el seno de la ciencia desde las primeras décadas del siglo XIX; sin embargo, a principios del siglo XX todavía existían escépticos que sostenían que no había prueba experimental directa sobre la existencia de las moléculas. Así que uno de sus problemas era formular las leyes termodinámicas en términos de las probabilidades del movimiento molecular como una vía segura que demostrara sin reparos la existencia de las moléculas y por lo tanto de los átomos. Con este propósito desarrolló y amplió la obra de Boltzman elaborando su propio procedimiento matemático que le permitiera expresar el movimiento total de un sistema en términos de las leyes del azar. Einstein no sabía que Josiah Willard Gibbs ya había formulado una mecánica así. Poco le importó cuando se enteró. Asumió su trabajo con la satisfacción de haber forjado su mecánica estadística como herramienta; calculó que en ciertas condiciones debía ser observable al microscopio el movimiento debido a las moléculas. Basándose en la hipótesis de la existencia de las moléculas pensaba que:

Si se suspendían en un líquido partículas de determinada masa y dimensiones, sus movimientos reflejarían sus colisiones con las moléculas de que estuviera compuesto el líquido. El movimiento medio de una sería el mismo que el de la otra.

Sin embargo, 71 años antes, el experimento había sido realizado por un botánico ingles llamado Robert Brown, quien había observado el movimiento zigzagueante de minúsculas partículas de polen suspendidas en un líquido, movimiento que no era causado por ninguna influencia externa. El movimiento recibió su nombre: Movimiento browniano. Entonces; ¿cuál fué el aporte de Einstein si la estadística del movimiento había sido hecha por Gibbs y el experimento 71 años antes había sido realizado por Brown?.

Hay que hilar muy delgado para entender que en realidad, Robert Brown no formuló el andamiaje teórico de su observación ni J.W. Gibbs se refirió en su estadística al problema específico planteado por Einstein en el cual hacía la predicción de la composición discontinua de los líquidos a pesar de su aparente continuidad. La teoría desarrollada por Einstein asumió que las partículas en suspensión podían ser asimiladas a moléculas extremadamente voluminosas de una sustancia extraña, diseminadas entre las moléculas bastante más

pequeñas del líquido en cuestión. Este fue uno de los problemas que resolvió en la oficina de patentes y presentó para su publicación el año de 1905[33].

Otro problema que era objeto de su interés desde estudiante en el politécnico era el de la naturaleza de la luz. Heinrich F. Weber fue su profesor de física teórica. La asignatura que desarrollaba en el Politécnico el profesor Weber se llamaba, "Introducción a la Física Teórica". Einstein se escurría desilusionado de la clase pues quedaban defraudados sus deseos de saber algo sobre la teoría electromagnética de la luz[34]. Este hecho marcó una animadversión del profesor hacia el alumno. Weber solía decirle algunas veces: "Usted es muy inteligente, Einstein, pero tiene un gran defecto: No hace caso de nadie"; en otras oportunidades le reclamaba: "...tienes un fallo Einstein; no dejas que nadie te diga nada, absolutamente nada". Fué ésta la razón por la que Weber no lo escogió como auxiliar.[35]

La teoría electromagnética fue estudiada con esmero en su "tiempo libre" en la oficina de patentes. La reflexión permanente que le inspiraba el estudio de este tema y muchos otros de la física le planteaba algunas ideas de la física que se contradecían unas a otras: Por un lado estaba la materia compuesta de partículas: discreta, atómica, discontinua; y, por otro la radiación: insustancial, ondulatoria, continua; ¿sería esto así, se preguntaba, o habría acaso una unidad subyacente?. No tendría también la radiación un aspecto discontinuo, al menos en algunas circunstancias?.

Muchos argumentos estaban a favor de la continuidad de la luz asumida como una onda electromagnética. Pero, se preguntaba, son acaso definitivos esos argumentos?. Cómo abordar el problema desde alguna otra perspectiva?. Einstein se internó en el problema de la radiación del cuerpo negro usando sus propias herramientas estadísticas. Conocía la obra de Max Plank desarrollada pocos años antes, la cual encontraba confusa y, recordemos que Kirchoff había sido su profesor.

Es importante relevar que, Max Plank se enfrentó al problema de la radiación del cuerpo negro como al de un rompecabezas que debía armarse sobre la base de lo ya conocido

[33] Datado en Berna en Mayo de 1905, recibida el 11 de mayo y publicado el 18 de Julio. Annalen der Physik vol 7. En carta fechada 3 de Octubre de 1900, escribía a Mileva: Ya se bastante de Química Física. Estoy encantado con los éxitos que se han logrado en este campo en los últimos 30 años"

[34] A Einstein le desilusionó la ausencia en las clases de Weber de algunos temas que él consideraba importantes (por ejemplo, la electrodinámica de Maxwell).

[35] Cabe señalar no obstante, que Weber fue el profesor preferido de Einstein en el Instituto Politécnico. En carta fechada 16 de Febrero de 1898 escrita a Mileva, expresaba: "Weber dio con gran maestría clase sobre el calor..., siempre estoy esperando con ansiedad su siguiente clase"; por otro lado, las notas obtenidas en las asignaturas de Weber hablaban de su interés por ellas.. Sin embargo, es obvio que el sentimiento no era mutuo; el 27 de marzo de 1901, cuando ya graduado aspiraba ser asistente de alguno de sus maestros, expresa en carta a su novia lo siguiente: "No me ha sorprendido la negativa de Riecke y estoy seguro de que la culpa es de Weber...estoy convencido de que en esas circunstancias no tendrá sentido volver a escribir a los profesores, pues seguro que todos pedirán información a Weber, si es el caso, y éste volverá a dar malas referencias". Hicieron estos hechos que Einstein tomara animadversión por su maestro?. En carta a su amigo Zangger , Albert Einstein tras enterarse del fallecimiento de Weber expresa: " la muerte de Weber es buena para la ETH".

mientras que Einstein lo reconoció como prueba experimental de algo nuevo. Sus cálculos como los de Plank llevaron a la conclusión de que la luz era emitida por un cuerpo negro en porciones y absorbida en porciones.

Otros experimentos y pesquisas sobre la naturaleza de la luz habían sido realizados, cuyos resultados asumidos a la luz de la mecánica clásica, no lograban ser comprendidos ni explicados; entre ellos el experimento realizado por Philipp Lennard en el cual observó que algunos electrones superficiales de una placa metálica eran arrancados por la incidencia de la luz de alta frecuencia, posteriormente se conoció este hecho como *efecto fotoeléctrico.*

Qué problemática planteaba el efecto fotoeléctrico a la teoría clásica de la luz?. Cómo explicaba esta teoría los hechos experimentales observados?. Desde la teoría clásica de la luz, no había explicación para el hecho de no haber un intervalo de tiempo apreciable entre la incidencia de la luz y la emisión de fotoelectrones, como posteriormente se le llamaron; de acuerdo con la Teoría Electromagnética Clásica, la energía de la radiación está distribuida de un modo continuo y uniforme sobre la superficie de las ondas; así que la luz de pequeña intensidad propagándose en forma de ondas requeriría de algunos segundos antes de que hubiese acumulado energía suficiente para arrancar un electrón de la superficie del metal.

Tampoco pudo explicar la Teoría Electromagnética Clásica porqué la energía de los fotoelectrones es independiente de la intensidad de la luz pero dependiente de la frecuencia Es claro que de acuerdo con la física clásica, entre más grande sea la intensidad de la onda incidente, más energía puede comunicar, así que, de acuerdo con ella, los electrones emitidos debían ser más energéticos, cosa que está en desacuerdo con las observaciones realizadas.

El artículo "Sobre un punto de vista heurístico relativo a la generación y transformación de la luz", el sabio reconocía la validez de la teoría de Maxwell para la emisión y propagación de la luz a través del espacio y la materia tal como podía medirse en intervalos de tiempo relativamente grandes; no hay lugar para sorprenderse, opinaba Einstein, si se encuentran contradicciones con la experiencia al tratar problemas relativos a la interacción momentánea entre luz y materia, como en el caso de la absorción y emisión de luz por osciladores y en el caso de la transformación de la energía radiante en cinética como es el caso del efecto fotoeléctrico.
Su hipótesis fue la siguiente:

La energía de la luz no está distribuida de un modo uniforme sobre el frente de ondas, como en la imagen clásica, sino que está concentrada o localizada en pequeñas regiones discretas,

como en bolsas o paquetes de energía. Hipótesis que le condujo a una explicación cuantitativa del efecto fotoeléctrico, conocida en los círculos científicos como "ecuación fotoeléctrica de Einstein".

En 1916 el físico americano Robert Millikan obtuvo por vez primera datos experimentales precisos para construir la gráfica correspondiente a la ecuación fotoeléctrica de Einstein. Con este experimento fue acreedor al premio Nóbel de física en el año de 1923. El premio Nóbel de física de Albert Einstein fue otorgado por la teoría cuántica de la radiación en el año de 1921.

El trabajo de Einstein sobre el efecto fotoeléctrico fue el segundo de los tres artículos publicados en el volumen 7 de la revista alemana Annalen der Physik, pág 132-148, Junio 9; cinco años después que Plank anunciara en Octubre de 1900 en el Deutsche Physikalische Gesellschaft, su fórmula de distribución de energía emitida por una cavidad a una temperatura determinada.

El tercer artículo se refería a la teoría especial de la relatividad, cuya envergadura ha proporcionado nueva dimensión a la cosmología moderna; Veamos algunos conceptos que fueron revaluados a la luz de la visión relativista del universo:

Tiempo y espacio eran asumidos desde la cosmovisión newtoniana como absolutos; que el tiempo fuese absoluto planteaba un problema a las teorías de Newton y de Maxwell en cuanto a la velocidad de la luz puesto que al asumir el tiempo absoluto supone que dos observadores a cualquier distancia uno de otro y a cualquier velocidad relativa entre si estarían completamente de acuerdo al situar en el tiempo el mismo suceso cualquiera que éste sea, lo cual suponía que ambos observadores podían intercambiar señales a velocidad instantánea, ilimitada; sin embargo James Clerk Maxwell había determinado un límite para la velocidad de la luz. "...esta se propaga siempre en el vacío con una velocidad determinada c, que para Einstein es independiente del estado de movimiento del cuerpo emisor".

La tensión entre los dos puntos de vista teóricos plantea los siguientes conflictos: si no hay modos de comunicación instantánea qué ocurre con los postulados de la mecánica newtoniana?. ¿Qué sucede con el concepto de simultaneidad?. Sabemos que en el universo de Newton es posible el movimiento a cualquier velocidad; es decir, cualquier objeto que se mueva a velocidad uniforme puede ser alcanzado por otro que se mueva a mayor velocidad; es posible al policía alcanzar al infractor; será posible al observador alcanzar el rayo de luz?.

La distribución de energía en el espacio planteaba otro conflicto entre las visiones newtoniana y maxwelliana. Para Newton la energía de un cuerpo se distribuye entre las innumerables partículas que lo constituyen; para Maxwell la energía está esparcida por toda la región que ocupa el campo electromagnético. Por otro lado, recordemos que en el universo de Maxwell la velocidad de onda no sólo depende del movimiento de la fuente y del observador sino del medio en que se mueve. Cual medio?. Qué características debe tener?

Para los partidarios de la teoría ondulatoria de la luz, el éter debería ser suficientemente denso y elástico para soportar oscilaciones electromagnéticas de cualquier frecuencia pero al mismo tiempo no podía ofrecer resistencia alguna al paso de la materia a su través. La cuestión a resolver era entonces: arrastra la tierra el éter en su movimiento alrededor del sol o se desliza el éter a través de ella como lo hace el viento a través de una arboleda?. El viento cambia la velocidad del sonido, será que el éter cambia la dirección y velocidad de la luz que se mueve a través de éste?.

El último año de su vida, en 1879, Maxwell escribió al astrónomo David Todd de la oficina del almanaque náutico en Washington preguntando si los datos sobre los eclipses de las lunas de Júpiter eran precisos como para detectar el movimiento del éter. Maxwell pensaba que en la tierra era imposible realizar el experimento; en esa oficina estaba A. A. Michelson quien había realizado la mejor determinación experimental de la velocidad de la luz en el aire. Posteriormente, con la ayuda de Eduard Morley, Michelson realizó el experimento imposible cuyos resultados obligaron a los científicos a emitir hipótesis ad hoc para explicarlos.

Albert Einstein en su artículo "Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento" publicado en el mes de octubre de 1905 en el vol 7 de la revista Annalen der Physik, pág 891 – 921, rechaza la existencia del éter y con ello rechaza la idea del espacio como un sistema fijo, en reposo absoluto, dentro del cual es posible distinguir el movimiento absoluto del relativo y supone dos postulados desde los cuales abre camino a una nueva forma de ver los fenómenos estudiados.

En realidad Einstein interpretó la "Catástrofe del éter" como indicio de una ley universal; esto es, si la velocidad de la luz permanece constante independientemente del movimiento de la tierra, debe permanecer la misma independientemente del movimiento del sol, la luna, las estrellas, meteoros o cualquier otro sistema que se mueva en cualquier lugar del universo[36]. De allí dedujo una generalización más amplia y aseguró que las leyes de la naturaleza son iguales para todos los sistemas que se mueven uniformemente.

[36] Recordemos que Newton había hecho una reflexión similar cuando universalizó la ley de la gravedad.

La afirmación de Einstein lleva implícita la negación de la existencia de un marco universal de referencia. Para el sabio el universo es un lugar desasosegado; esto es, estrellas nebulosas, galaxias y todos los sistemas gravitacionales del espacio están en incesante movimiento, pero sus movimientos pueden describirse únicamente relacionándolos unos con otros ya que en el espacio no hay direcciones ni fronteras; es inútil que los sabios traten de descubrir la velocidad "real" de cualquier sistema usando la luz como vara de medir, debido a que la velocidad de la luz es constante en todo el universo y no la afecta el movimiento de la fuente o del receptor. Einstein afirma que la naturaleza no ofrece medidas absolutas de comparación y el espacio es simplemente, "el orden o relación que guardan las cosas entre sí"[37]; sin cosas que lo ocupen no es nada.

En cuanto a la noción del tiempo, Einstein pensaba que tal como no existe el color sin un ojo que lo perciba, un instante, una hora o un día carecen de significado sin un acontecimiento que los señale; es decir, tal como el espacio es un orden posible de objetos materiales, el tiempo es un orden posible de acontecimientos; sin embargo, los intervalos de tiempo medidos por un reloj o un calendario no son cantidades absolutas; lo que llamamos una hora es un arco de 15 grados en la rotación diaria aparente de la esfera celeste; lo que llamamos un año es simplemente una medida del avance de la tierra en su órbita alrededor del sol; ello significa que un habitante de Mercurio tendrían noción distinta del tiempo ya que Mercurio hace su viaje en torno al sol en 88 días y en ese mismo tiempo gira una sola vez sobre su eje; tendríamos en Mercurio que el día y el año son la misma cosa; ello nos lleva a firmar que no existe un intervalo fijo de tiempo que sea independiente del sistema al que es referido.

Había llevado a cabo esa producción científica entre los 21 y 26 años de edad mientras era oficinista de las patentes suizas en el tiempo libre y cuando llegaba a casa por las tardes después del trabajo.

Eran tales condiciones las más ideales para trabajar y producir intelectualmente?. Para Einstein sí. Había dejado atrás la instrucción formal que tanto aborrecía, había salido de su país natal, Alemania, que encontraba sombrío y oprimente, era independiente desde el punto de vista financiero y tenía mucho tiempo libre para llevar adelante su propio trabajo. Durante toda su vida esa clase de libertad representó para él mucho más que cualquier otra cosa.

A los cuatro años de haber ingresado a la oficina de patentes fue ascendido a técnico experto de segunda clase con una asignación anual de 4.500 francos suizos.

[37] Leibniz hizo una declaración semejante dos siglos antes

Desde 1905 hasta 1909, sus trabajos y lecturas complementarias, igual que su actividad científica en la Akademia Olympia continuaron proporcionándole las bases y fundamentos matemáticos para perfeccionar y generalizar su teoría de la relatividad. En los círculos universitarios se empezó a discutir, debatir y reconocer el mérito de sus artículos con lo cual empezó a llegarle el reconocimiento de sus colegas y a abrírseles las puertas de las universidades que antes le fueron cerradas. Ahora era un honor que el autor de la teoría de la relatividad y del efecto fotoeléctrico hiciera parte del cuerpo docente de cualquier institución.

Una pequeña historia, que vista desde nuestra época debería aportar muchos elementos a quienes desde los diversos ámbitos de la sociedad creen en el potencial intelectual de nuestros jóvenes. Sólo hay que proporcionarles las condiciones. A propósito, en su obra Caminos Abiertos, Einstein incluye una de las ecuaciones iniciales en las que basó su producción científica: A(éxito)= B(trabajo) + C(pasar el tiempo); el término C era quizá el ocio productivo al que se refería Sócrates, que el genio supo aprovechar muy bien.

BIBLIOGRAFÍA:

1. BARNET, L(1977): *El universo del doctor Einstein*. Fondo de cultura económica.
2. CASTELFRANCHI(1979): *Física Moderna*. Editorial Gustavo Gil S.A. 1979.
3. EINSTEIN, A(1977): *Caminos abiertos*. Norma.1977.
4. EINSTEIN, A(1985): *Este es mi pueblo*. Editorial Leviatán. Buenos Aires
5. EINSTEIN, A(1916),*La Relatividad,* Grijalbo. México
6. EINSTEIN y otros(1981), *La Teoría de la Relatividad,* Alianza Editorial. Madrid.
7. GAMOW, G(1970); *Biografía de la Física.* Alianza Editorial, 1970
8. GAMOW, G(1973): *30 años que conmovieron la Física*. Eudeba. 1973.
9. HAWKIN, S(2.001): *A hombreos de Gigantes*. Editorial Crítica. Barcelona.
10. HOLTON G(1980): *Fundamentos de la física Moderna*, Reverté, 1980
11. LOVETT, C.B(1983): *Los creadores de la nueva física*. Fondo de Cultura Económica.
12. MONDADORI, O(1990): *Albert Einstein Cartas a Mileva*. Mondadori. Madrid.
13. SCHWINGER, J(1995): *El legado de Einstein*. Biblioteca de la Scientific American.
14. THUILLIER, P(1990): *De Arquímedes a Einstein. Las caras ocultas de la Invención Científica*. Alianza editorial,1990.

ANEXO 3

ALBERT EINSTEIN - EL HOMBRE

Berenice Larios de Rodríguez
Fundación Amigos de la Astronomía.
Documento elaborado para tertulia científica

Mucho se ha escrito sobre este ilustre, reconocido y admirado sabio cuya gran obra ha sido y seguirá siendo material de estudio de la pléyade de científicos interesados en el tema. Así que abordar la vida de Einstein es una gran responsabilidad y un gran reto, mucho más, si se quiere abordar ésta desde una dimensión distinta; **LA HUMANA**

Vale la pena ocuparse un poco de los amores, sufrimientos, sueños, opiniones, pensamiento, desilusiones y realizaciones de quien vivió una época convulsionada social, económica y políticamente. Así que, su obra científica sólo será referenciada en el contexto de la vida del hombre. De esta forma, asumo el riesgo de no captar el interés de quienes supusieron el contenido del presente esbozo desde la dimensión científica del sabio Einstein; existen muchísimos y muy buenos libros de divulgación científica que tratan con esmero este aspecto.

Para hacer un poco didáctico el esbozo, presento la vida del ilustre sabio en pequeños bloques resaltando aspectos que pocas veces son encontrados en textos de ciencia o de divulgación científica. Ellos pueden ser leídos a través de: Historiadores de la ciencia como George Gamow y Pierre Thuillier; biógrafos como Carl Seelig, científicos que compartieron con él aspectos de su labor investigativa como Paul Dirac y Leopold Infeld, las 41 cartas enviadas a Mileva Máric durante la época de noviazgo, las cuales hacen parte del denominado ""Archivo Einstein"".

¿CÓMO INFLUYERON EN EL CARÁCTER DEL FUTURO SABIO:
EL PUEBLO, LA FAMILIA Y LA ESCUELA?

Nació el 14 de Marzo de 1879, el año de la muerte de James Clerk Mxwell, en la ciudad de Ulm, perteneciente al reino de Würtemberg, parte del recién creado Imperio Alemán bajo la égida de Prusia.

Los wurtemburgueses tenían fama de gente reflexiva, práctica, alegre, amantes de las artes y las diversiones, dispuestos a las lucubraciones filosóficas y religiosas, poco aptos para la

actividad mecánica, por lo cual no compartían el espíritu de orden, disciplina y militarismo de los prusianos, se parecían más a los de la región francesa de Alsacia, ahora perteneciente al Imperio Alemán tras la guerra francoprusiana de 1870. Sin embargo, la influencia que pudiera haber ejercido Ulm en el carácter del primogénito de los Einstein fue poca pues en Junio de 1880 la familia Einstein Koch se traslada a Munich donde instalaron una pequeña fábrica de electromecánica atendida por los hermanos Hermann y Jacobo Einstein.

Hermann Einstein, padre del ilustre científico, era alegre y le gustaba disfrutar de la vida bien fuera en excursiones por las afueras de la ciudad en lagos y montañas o frecuentando las famosas cervecerías de Munich. Poco religioso, opinaba que las leyes, normas y costumbres de la comunidad judía eran viejas supersticiones. Sus ideas políticas eran mas bien liberales. Aunque temía a los dominantes prusianos profesaba cierta admiración por el emperador Guillermo I, por su canciller Bismark y por el general Molke, triunfador de la guerra contra Francia.

Pauline Koch, madre de Einstein, sentía una gran pasión por la música, en general por la música alemana y por Beethoven en particular, cuyas sonatas gustaba interpretar. Ama de casa, de carácter serio, apasionada por las artes.

Jacob Einstein, tío de Albert, era un buen ingeniero, interesado por la vida intelectual, tuvo gran influencia sobre su sobrino, fue quien le dio las primeras clases de matemáticas y quien despertó en él el interés por la ciencia.

Maya, su única hermana, nació dos años después que Albert, 18 de Noviembre de 1881, se sentía muy ligada a su hermano.

Albert Einstein no fue un niño prodigio. Tardó mucho en aprender a hablar. Maya decía posteriormente: "Nuestros padres se desesperaban pues durante mucho tiempo parecía que nunca aprendería a hablar correctamente". Fue un niño taciturno, poco dado a participar en juegos colectivos ni en ningún tipo de deportes. Se entretenía levantando construcciones con taquitos de madera o ensayando cualquier trabajo manual con una pequeña sierra de marquetería. Sentía aversión a la vida militar y los soldados a quienes veía como autómatas obligados a un comportamiento mecánico. Su actitud antibelicista lo acompañó hasta los últimos años de su vida.

LA ESCUELA PRIMARIA, LA SECUNDARIA Y LA UNIVERSIDAD

En Munich cursó los estudios primarios y gran parte de la secundaria. Antes de ingresar a la escuela recibe instrucción privada en su casa en la que se incluye instrucción en religión

judía, lo que le llevó a una profunda religiosidad que llegó a un abrupto final a los doce años. En esa época cada grupo religioso tenía sus propias escuelas. La religión dominante en Munich era la católica. Aunque sus padres eran oficialmente judíos, como no practicaban ninguna religión, por la cercanía de la escuela lo matricularon en la Petersschule, escuela católica de primaria en la que él fue el único niño judío. Este hecho no le desagradaba a Einstein ni incidió negativamente en su carácter. Al contrario, posteriormente expresaba que ello le permitió asimilar que es posible también tener en moral códigos distintos, ya que en ambas religiones se expresaban las leyes eternas del universo. Lo que le desagradaba era la escuela misma. Veía en la escuela una organización que ejercía sobre los niños una presión constante para inculcarles esencialmente un sentimiento de obediencia y disciplina. Se les obligaba a aprender cosas de memoria sin la menor reflexión, se les exigía prestar atención al maestro aunque lo que dijera no presentase ningún interés para los niños, no se les permitía hacer preguntas al profesor, ni hablar entre sí.

A los nueve años se graduó en la escuela primaria sin haber dado pruebas de un talento especial para la enseñanza que se le impartía. Para muchos de sus profesores y condiscípulos pasaba por atolondrado.
A los 10 años ingresó a la escuela secundaria en el Luitpold Gymnasium de Munich. Los estudios secundarios duraban siete u ocho años y su orientación era predominantemente clásica.

Su interés por las matemáticas no se despertó en la escuela. Fue su tío quien le descubrió esta vocación dándole las primeras nociones de álgebra en una forma atractiva en la que se veía la utilidad de las matemáticas como auxiliar inequívoco para resolver problemas aplicando reglas sencillas. Igualmente, fue su tío Jacob quien le contestaba las frecuentes preguntas que le suscitaron el comportamiento de la aguja de una brújula que su padre le regaló. Fue él quien le hablara por primera vez que en el espacio vacío y en la naturaleza existen cosas que no pueden ser vistas ni tocadas pero que obran por su propia fuerza y se rigen por leyes peculiares como ocurría con el magnetismo que hacía que la aguja de su juguete señalase siempre el norte.

A los doce años recibió el primer texto de geometría. Era un libro para alumnos de clase superior, lo cual le estimuló a su lectura y a su estudio. Entre los doce y 16 años se familiariza con los elementos de matemáticas, incluyendo los principios del cálculo diferencial e integral.

Su interés por el mundo físico se despertó por lecturas ajenas a la escuela. La lectura de libros de divulgación científica como los de Aaron Bernstein llamado "Libros populares sobre

Ciencias Naturales" y de Büchner, llamado "Fuerza y Materia", fueron despertando en él incógnitas que con el tiempo llegaría a resolver.

Del Gymnasium recuerda al profesor Ruess pues despertó su amor por la música, al descubrir la belleza de las sonatas de Mozart.

Cuando tenía 15 años, en 1894, por dificultades económicas su padre cierra la fábrica y se va a probar fortuna en Milán, ciudad industrial del norte de Italia y no muy lejos de la Babiera que abandonaba, para que terminara sus estudios dejan a Albert en una modesta pensión de una amiga de los padres.

Quizá por la soledad, la nostalgia de la lejanía de sus padres y hermana o por la antipatía que le inspiraban el instituto y los profesores, en el verano de 1895, abandonó el instituto y se fue a Milán. Aunque el padre no tenía mucha confianza en Albert, deseaba que prosiguiera los estudios en una carrera práctica y segura. Pauline por el contrario, tenía mucha confianza en el muchacho, veía en él a un futuro profesor. Albert que se sentía atraído por las ciencias especulativas: La Astronomía, la Física, la Química, las matemáticas superiores, no quería volver al Gymnasium donde la enseñanza se imponía con base en castigos y amenazas y no estaba dispuesto a participar en lo que él llamaba la caza por conseguir posiciones elevadas en la sociedad, sin otro fin que alcanzar fama y prestigio a costa de envilecerse y sacrificar su independencia personal, pero, dada la situación económica de sus padres, cada vez peor, debía elegir una carrera que le permitiera ganarse la vida lo antes posible, para lo cual debía culminar la preparación cultural que le permitiera ingresar a la universidad.

EN ITALIA

Se matriculó en la Escuela Internacional de Milán donde aprendió el italiano y se familiarizó con el método pedagógico de Pestalozzi, completamente opuesto al sistema impuesto en Alemania. Por otra parte, la mayoría de los profesores y alumnos eran suizos, la camaradería y libertad que había encontrado entre ellos fue un motivo para que Einstein se decidiera a continuar sus estudios en Suiza, lo cual fue posible gracias a la ayuda económica de un pariente suyo quien le proporcionó 100 francos suizos mensuales para los estudios y gastos de estancia.

EN SUIZA

Einstein poseía buenos conocimientos en matemáticas. Esto le llevó a pensar que podía presentarse a exámenes de admisión en una escuela politécnica superior y así obviar el hecho de no poseer título de enseñanza media. Se presentó en la escuela politécnica de

Zurich, en Suiza pero no fue admitido. La posibilidad de regresar a Munich, le hizo seguir el consejo del director de la escuela politécnica quien le recomendó que finalizara sus estudios secundarios en una escuela de la pequeña ciudad suiza de Aarau.

La escuela cantonal de Aarau era completamente diferente al Gymnasium. Había laboratorios de Física y Química, museo de Historia Natural, sala con mapas y fotografías para estudiar Geografía y sobre todo, el espíritu de profesores y alumnos era más abierto. Todo esto hizo que su antigua aversión por la escuela desapareciera. Obtuvo el diploma que le permitió ingresar sin exámenes a la Escuela Politécnica de Zurich

A los 17 años ingresa a la Sección VI A, la "Mathematische Sektion" de la escuela Politécnica Federal especializada en formar profesores de física y matemáticas. En ese año, sólo 23 de los 841 estudiantes seguían estudios en esa sección, 11 de los cuales estaban en el curso inicial, entre esos 11 una sola mujer, una serbia llamada Mileva Máric que más tarde se convertiría en su esposa, a pesar del disgusto de su familia.

Durante ese año su vocación se había orientado por la física dejando las matemáticas como un indispensable instrumento para el estudio de esta ciencia. Se alojó en la casa de Jost Winteler, un profesor de la escuela, con cuya hija, Marie Winteler, tuvo su primer romance con el beneplácito de las dos familias, pero el romance terminó un año después.

La especialidad en física era la menos desarrollada en aquel tiempo en la Escuela Politécnica Superior y su finalidad era enseñar los fundamentos necesarios para las aplicaciones técnicas en ingenierías.

La carrera constaba de cuatro cursos (divididos en dos semestres, el de invierno y el de verano). Las asignaturas obligatorias y sus respectivos profesores eran las siguientes:

Adolf Hurwitz: Cálculo diferencial e integral y Ecuaciones Diferenciales.
Wilhelm Friedler: Geometría Descriptiva.
Albin Herzog: Mecánica
Carl F. Geiser: Geometría Analítica, determinantes, Geometría Infinitesimal, Teoría Geométrica de los Invariantes.
Herman Minkowski: Geometría de los números, teoría de funciones, Teoría del Potencial, Funciones Elípticas, Mecánica Analítica, Cálculo de Variaciones, Algebra ecuaciones en Derivadas Parciales, Mecánica Analítica Aplicada
Ferdinand Rudio: Teoría de los números

Arthur Hirsch: Teoría de las Integrales definidas, Teoría de las ecuaciones Diferenciales lineales
Johann Pernet: Introducción a las prácticas de física, prácticas de física para principiantes
Heinrich F. Weber: Física; principios, aparatos y métodos de medida de la Electrotecnia; vibraciones eléctricas; laboratorio de Electreotecnia; proyectos científicos en los laboratorios de Física; Introducción a la Electromecánica; Corrientes Alternas; sistemas de medida eléctrica absolutas.
Alfred Wolfer: Introducción a la física celeste; Introducción a la astronomía; Mecánica Celeste; Determinación geográfica de lugares.
August Stadler: Teoría del pensamiento científico; filosofía de kant
Las asignaturas no obligatorias versaban sobre temas de diversa índole: Desde Filosofía, Economía, Política, Música, Sociología, Literatura, etc.

Einstein por su cuenta se dedicó al estudio de los trabajos más avanzados en física teórica de aquella época: Helmholtz, Kirchhoff, Boltzman, Maxwell, Hertz, Lorentz, quienes habían encontrado los fallos e inconsistencias del sistema de Newton, con el descubrimiento de nuevos fenómenos que no tenían fiel justificación en la teoría newtoniana. Estas lecturas habrían de proporcionarle la problemática de toda su actividad científica posterior.

INFLUENCIA DE SUS PROFESORES

En su autobiografía Einstein escribió sobre su estadía en la ETH así:
"Allí tuve excelentes profesores (por ejemplo Hurwitz, Minkowski) de manera que realmente podría haber adquirido una profunda formación matemática. Yo sin embargo me pasaba la mayor parte del tiempo trabajando en el laboratorio de física, fascinado por el contacto directo con la experiencia".

En una de las 41 cartas que escribió a Mileva Máric, le decía: "Weber dio con gran maestría clase sobre el calor.... siempre estoy esperando con ansiedad su siguiente clase". No obstante Einstein estudió sin gusto "La introducción a la física Teórica", pues quedaban defraudados sus deseos de saber algo sobre la teoría electromagnética de la luz, por lo tanto se esfumaba de la clase aunque no dejó de asistir a las clases de laboratorio. Ello dio lugar a cierta tirantez entre Weber y Einstein a tal punto que el profesor le decía: "Usted es muy inteligente, Einstein, pero tiene un gran defecto: No hace usted caso de nadie" Igual tirantez mantuvo en las relaciones con Pernet. Sin embargo, en su correspondencia con Mileva Máric, se aprecia que la investigación experimental y el profesor Weber ejercieron gran influencia sobre él. Fue bajo la supervisión de Weber que Einstein preparó su tesis sobre "La Conducción Calórica". Su intención era seguir utilizando el laboratorio de Weber tras

graduarse para investigar en termoelectricidad, con la esperanza de poder utilizar los resultados para una tesis doctoral dirigida por el propio Weber. Estos planes no llegaron a realizarse como tampoco su proyecto de continuar su carrera académica inmediatamente después de terminar, pues la frustración le embargó cuando de los cuatro estudiantes que terminaron los exámenes finales de la Sección VIA, (Marcel Grossmann, Jakob Ehrat, Louis kollros y Albert Einstein) fue a Einstein a quien no se le concedió un puesto de Assistent (Ayudante), el primer escalón en la carrera universitaria.

Aquel año Weber tomó como ayudantes a dos ingenieros mecánicos.
La animadversión de Weber por Einstein no tiene nada que ver con su desempeño en las asignaturas desarrolladas por él pues las calificaciones obtenidas fueron excelentes: 5.5. en Física; 6.0; 5.6 y 5.0 en laboratorio electrotécnico.

El 28 de julio de 1900 recibe su diploma como Fachlebrer in Mathematischer Richtung de la ETH, con una puntuación media de 4.91 sobre seis, Ttítulo equivalente a licenciatura en matemáticas y física de nuestras universidades..

EL JOVEN PROFESIONAL BUSCA TRABAJO

Tenía 21 años. Lo primero que tenía que hacer era buscarse trabajo pues ya no recibiría la ayuda de los 100 francos suizos.

Tras el fracaso inicial, aspira ser ayudante de Wurwitz, luego de Eduard Riecke o de Heike Kammerling Onnes, el célebre director del laboratorio de física de bajas temperaturas de Leiden, o de Wilhelm Ostwald, célebre químico - físico de la universidad de Leipzi, sin obtener el añorado puesto. En otra carta a Mileva le expresa: "Pronto habré honrado con mi oferta a todos los físicos desde el Mar del Norte hasta la punta meridional de Italia".

Para mantenerse a flote en Zurich aceptó realizar algunos trabajos de cálculo por encargo del profesor Alfred Wolfer, director del Observatorio Astronómico Confederal

La situación en la que se encontraba el joven Albert era lo suficientemente crítica como para que se sintiese deprimido. Su padre, percibiendo su estado de ánimo, se atrevió escribir una carta al profesor Ostwald que comenzaba así: "Por favor perdone usted estimado Herr professor, a un padre que es tan atrevido como para dirigirse a usted en el interés de su hijo.....La respuesta nunca llegó.

En esta situación, algunos amigos intentaron ayudarle. Michael Besso, la única persona a quien Einstein agradeció su colaboración en su artículo sobre Relatividad Especial, buscó la ayuda de un tío suyo, profesor en Italia. El 15 de Abril de 1901 Einstein le escribía a Mileva: " Por un lado el profesor Rebstein del politécnico de Winterthur me ha solicitado reemplazarle entre el 15 de Mayo al 15 de Junio pues tiene que cumplir con su servicio militar. Tengo que dar unas 30 horas semanales, incluso Geometría Descriptiva; y por otro lado Marcell Grossmann me acaba de escribir diciéndome que con la ayuda de su padre pronto tendré un empleo en la ofcina de protección de la propiedad intelectual de Berna". Ambas posibilidades llegaron a cumplirse.

En 1901 se inició en el campo de la divulgación científica. La revista Anales de física le publicó un extenso trabajo titulado: "Consecuencia de los fenómenos de capilaridad".

Por un anuncio se enteró de que existía una plaza vacante de preceptor en un internado de chicos de la localidad de Schaffhausen, solicitó el empleo y le fue concedido pero fue despedido por desavenencias con el director de la escuela.

NOVIAZGO, MATRIMONIO, HIJOS

Las referenciadas cartas a Mileva, señalan algunos aspectos de la vida privada de Einstein. En primer lugar, la oposición de su familia a las relaciones que mantenía con Mileva, con argumentos como: "Te hipotecas tu futuro y te cierras tu vida; ella no puede entrar en ninguna familia decente" ... El segundo argumento se fundamentaba quizá en el conocimiento que tenían de sus encuentros prematrimoniales responsables del embarazo de Mileva. Este hecho para la cultura judía era una severa ofensa, una afrenta. Por la segunda mitad de Enero, según la correspondencia, nacería la hija de Einstein a la que llamaron Lieserl. En esa carta Einstein escribía: "está sana y llora con fuerza?. Qué ojos tiene?. A quién de nosotros se parece más?. Cómo podremos llevarla con nosotros?. No quiero que crezca lejos de nosotros. No la conozco y la quiero tanto!. La niña nacía en casa del padre de Mileva en Hungría.

Aparentemente la oposición de la familia Einstein al matrimonio de su hijo no cesó, según puede deducirse del hecho de que Einstein se casó después de la muerte de su padre ocurrida el 10 de Octubre de 1902. Poco después de su llegada a Berna, el 06 de Enero de 1903 se casó con Mileva, su compañera de estudios en el Politécnico. Era un poco mayor que él (nacida el 19 de Diciembre de 1875 en Titel, antes Hungría, hoy Yugoslavia). Reservada por temperamento, no tenía habilidad para hacerse grata a cuantos la rodeaban. Su carácter

totalmente distinto al de Einstein la hizo sentirse a disgusto en muchas ocasiones. Era seca y un poco dura.

La vida matrimonial no fue para Einstein fuente de paz y felicidad con ninguna de las dos esposas como se puede inferir de la carta escrita con motivo de la muerte de su amigo Besso: "Yo lo que más admiro en Michele es el hecho de haber sido capaz de vivir tantos años con una mujer, no solamente en paz, sino también en una armonía constante, empresa en la que yo he fracasado lamentablemente dos veces.

El 14 de Mayo de 1904 Mileva dio a luz un hijo, Hans Albert, que con el tiempo y, después de emigrar hacia Estados Unidos, llegó a ser profesor de Hudráulica en la Universidad de Berkely. Falleció en 1973.

El 28 de Julio de 1910, con Einstein ya profesor asociado en la Universidad de Zurich, nacía su segundo hijo, Edward, llamado familiarmente Tetel, quien se encaminó por la medicina y quien sufrió de esquizofrenia. Falleció en 1965 en un hospital siquiátrico de Zurich.

Tras su divorcio, el 14 de febrero de 1919, Mileva se trasladó a Zurich donde permaneció hasta su muerte el 4 de Agosto de 1948. Unos años después de la muerte de Mileva, el 5 de Agosto de 1952, Einstein escribió acerca de ella a Carl Seelig, autor de una de las más completas biografías del sabio: " Nunca se avino a la idea de la separación y del divorcio y desarrolló una tendencia que recuerda el ejemplo clásico de Medea. Esto oscureció las relaciones con mis dos muchachos a quienes yo estaba firmemente ligado".

EN BERNA

En Febrero de 1902 se instaló en Berna en espera de su nombramiento en la oficina de patentes. Ese mismo mes, el día 05 puso un anuncio en el periódico ofreciéndose para dar clases particulares. El Semana Santa su anuncio atrajo a un estudiante rumano Maurice Solovine, con el que mantendría amistad toda su vida y con quien junto a Konrad Habich fundó la Akademia Olympia, una tertulia en la que discutían temas de diversa índole. Estudiaron por ejemplo: El análisis de las Sensaciones y la Mecánica de Mach, La Lógica de Mill, el tratado de la naturaleza Humana de Hume, La Ética de Spinoza, conferencias y memorias de Helmholtz, los ensayos sobre filosofía de André Maríe Ampère, las hipótesis que sirven de base a la Geometría de Riemann, la crítica de la Experiencia Pura de Avenarius, sobre la Naturaleza de las Cosas en Sí Mismas de Clifford, Qué son los Números de Dedekind, La Ciencia y la Hipótesis de Pioncaré

El 16 de Junio de 1902 recibía un empleo provisional de Técnico Experto de tercera clase en la Oficina de Patentes con un salario anual de 3.500 francos suizos. El 16 de Septiembre de 1904 el nombramiento provisional se convirtió en permanente. El 01 de Abril de 1906, fue ascendido a Técnico experto de segunda clase con un salario anual de 4.500 francos; se mantuvo en ese empleo hasta el 15 de Octubre de 1909 cuando fue nombrado profesor asociado de la universidad de Zurich. Fue por lo tanto, mientras fue empleado de la oficina de patentes cuando Einstein escribió sus tres grandes artículos: El Movimiento Browniano; Teoría cuántica de la radiación (cuantos de radiación/fotones, efecto fotoeléctrico) y el de la Relatividad Especial.

EL MUNDO ACADÉMICO A SU ALCANCE

Tras la publicación de sus artículos, los resultados de su teoría tuvieron tal éxito en los medios universitarios donde se cultivaba la física, que las autoridades académicas suizas estimaron que su autor no podía seguir trabajando en la oficina de patentes y que debería incorporarse a las tareas universitarias. Pero para ser profesor universitario debería haber sido antes privatdozent, cosa que arreglo el profesor Kleiner entonces rector de la universidad de Zurich, lo hizo privadotzent de la universidad de Berna para poder estar en condiciones legales de ser profesor universitario.

ZURICH - PRAGA – ZURICH

En 1909, a la edad de 30 años se trasladó a Zurich para desempeñar el puesto de "profesor extraordinario" de su universidad. Esta nueva situación además de proporcionarle prestigio social le permitió disponer de más tiempo para sus estudios e investigaciones. Además volvía a Zurich, ciudad que tanto él como su mujer tenían especial estima por ser la ciudad de su juventud estudiantil.

La estancia en Zurich no iba a ser demasiado larga. En 1910 se produce una vacante en la cátedra de física teórica de la universidad de Praga. El nombramiento para ocupar la plaza lo hacía el emperador de Austria a través de su ministro de educación con base en una lista de méritos y trabajos de los candidatos que la universidad presentaba en el cual Einstein figuraba en primer lugar.

Praga era una de las ciudades más cultas del imperio Austrohúngaro y su universidad una de las más antiguas de Europa. La universidad había sido dividida en una universidad alemana y otra checa debido a las tensiones raciales y culturales que se vivían en la ciudad. La población judía de Praga era muy abundante. Allí se estaba formando un movimiento cultural

sionista en el que figuraban los nombres de Martin Buber, Franz Kafka, y Hugo Bergmann. Einstein tuvo relación con el grupo aunque su actividad y pensamiento no le hacían en ese momento ser sionista ni religiosa ni culturalmente.

Entre los colegas con quien Einstein tuvo especial relación están el matemático George Pick y el físico Lampa. Pick fue quien le recomendó que estudiara la geometría diferencial desarrollada por los italianos Ricci y Levi-Civitá, que habría de ser esencial para el desarrollo de su teoría general de la relatividad.

Durante ese período, Einstein sigue trabajando en la generalización de su teoría enunciando el principio de equivalencia entre las fuerzas de gravitación y de inercia y llega a determinar la influencia de la gravedad en la luz. Sus publicaciones más importantes de este período son: "La influencia de la gravedad sobre la propagación de la luz (1911) y Sobre las bases termodinámicas de la ley de equivalencia fotoquímica (1912)"

En Praga estuvo poco más de año y medio pues aceptó la invitación de la Escuela Politécnica de Zurich para desarrollar una cátedra. Se trataba entonces de una institución superior de gran prestigio más importante que la Universidad de Zurich. Su permanencia en esta ciudad sólo se prolongó hasta fines de 1913.

DE NUEVO EN ALEMANIA, SU PAÍS NATAL.

En Alemania, el Kaiser Guillermo II había creado una institución dedicada a la investigación científica, desligada de las universidades a la que llamó Kaiser Wilhelm Gesellschaft. En la búsqueda de colaboradores inminentes Max plank y Walter Nerns influyeron para que el Kaiser invitara a Einstein a colaborar con ella.

Se le ofreció la dirección del proyectado instituto de investigaciones físicas y además se le otorgaba una plaza en la Academia Prusiana de Ciencias, que era la de mayor prestigio en la Europa de esa época y se le nombraba profesor de la universidad de Berlín, sin las obligaciones que las tareas docentes pudieran implicar. La oferta era tentadora por la mejora económica y porque su única obligación era pensar en los problemas de su interés.

En Abril de 1914 se trasladó a Berlín a pesar del descontento de su esposa. En la universidad de Berlín tuvo la oportunidad de convivir con los físicos de más talla del momento: Max Plank, Nernst, Von Lawe, Frank, Hertz, Lise Meitner, Roetgen, Schrödinger, con quienes discutía sus ideas en seminarios regulares. Pero este panorama que parecía ofrecer a Einstein una sosegada vida de estudio se vería pronto truncada por el estallido de la primera guerra.

Al terminar el año académico, Mileva se fue con sus dos hijos a Zurich. La guerra separó definitivamente al matrimonio, Mileva ya no volvería a Berlín. Por otra parte la vida política en los medios intelectuales y científicos era beligerante. Einstein se inhibía de tal actitud lo que le proporcionó hostilidades entre sus colegas.

La guerra también incidió en la organización de la investigación científica, la cual se orientaba esencialmente a resolver problemas de interés estratégico. Fritz Haber, colega suyo de origen judío, logró sintetizar el amoníaco a partir del nitrógeno de la atmósfera, cosa que era importante para la economía de la guerra, ya que lograba explosivos y fertilizantes a bajo costo. Walter Nernst trabajó con éxito en la obtención de gases asfixiantes y venenosos. A ambos se les concedió el premio Nobel después de la guerra a pesar de haber sido declarados criminales de guerra. En esta situación, aunque todavía llenas de confusión, Einstein fue perfilándose como pacifista activo, como un luchador por la paz.

INVESTIGADOR EN TIEMPOS DE GUERRA

Pese a las circunstancias, sus trabajos científicos no decayeron, por el contrario, éste fue uno de sus períodos más fecundos. Ahora es la teoría general de la relatividad la que le consume más tiempo; incluye en su teoría de la gravitación la geometría de Riemann. Concibe el espacio como cuadridimensional, curvo y finito, aunque ilimitado. Busca pruebas experimentales para sus teorías como fue la explicación de las anomalías de la órbita de Mercurio. También su trabajo se dirigió en otros campos como la deducción de la ley de la radiación de Plank o el estudio del momento magnético.

En 1917 se enferma con trastornos gastrointestinales que le obligaron a guardar cama durante varias semanas. En este año la guerra se extendió: Estados Unidos le declaró la guerra a Alemania, en Noviembre estalla la revolución Rusa, una guerra civil que terminó con el triunfo de los bolcheviques. En enero de 1919 estalla en Berlín una rebelión espartaquista que es aplastada sin piedad por el gobierno socialdemocrático. Rosa Luxemburgo y Karl Libknecht son asesinados por un grupo de oficiales derechistas. En esas anormales circunstancias se realizan las elecciones para una Asamblea nacional Constituyente, que redacta la Constitución de Weimar. Nace la república alemana en medio de dificultades económicas y sociales.

Aunque cada vez le resultaba más difícil aislarse del mundo y de sus problemas, seguía trabajando con ahinco en el ático de su casa. Dirigió más de doce tesis. La física le seguía absorbiendo. Lorentz le informó que los británicos iban a llevar a cabo mediciones para comprobar su teoría general de la relatividad. Einstein esperaba con impaciencia los

resultados. Por fin, en una reunión conjunta de la Royal Society y de la Royal Astronómical Society, precedida por J. J. Thomsom, celebrada en Londres el 6 de Noviembre de 1919 se hizo pública solemnemente la comprobación de la teoría de la relatividad. Este hecho lo llevó a la cima. Pacifistas y liberales solicitaban el apoyo de Einstein, al que no se negaba. Esta nueva popularidad la puso al servicio de la paz. El 19 de Diciembre de 1919 pronunció un duro discurso contra la guerra y el espíritu militar en la Liga de la Nueva Patria, organización pacifista con la que había colaborado durante toda la guerra.

Ese mismo año fue fundado el partido Obrero Alemán por el ferroviario Drexler y en Septiembre Hitler se afilia dicho partido. Pese a su denominación dicho partido iba en contra de la clase obrera y era radicalmente racista y antisemita. En 1920 ese partido se denomina Partido Nacional Socialista Alemán y en 1921 Hitler sería nombrado jefe con poderes absolutos sobre el partido.

Los judíos son identificados con los bolcheviques, son acusados de los males del país y comienza una persecución sin antecedentes sobre ellos. Internamente los diferentes grupos judíos se incriminan y acusan con el fin de encontrar a quien señalar, situación que conmueve a Einstein al ver la comunidad judía atacada por los enemigos externos y dividida internamente. Esto le llevó a tomar parte activa en la lucha por la unión y la autoestimación de sus hermanos de raza.

Esta actitud origina ataques contra Einstein; se habla del bolchevismo de su física y de que sus matemáticas son judías; fue insultado públicamente en su casa y en la Academia y recibió amenazas escritas. La situación llegó a tales extremos que Leibus ofrecía una recompensa a quien asesinase a Einstein. Era frecuente que al sabio se le interrumpieran sus conferencias llamándole cerdo judío. Ante esta situación sus amigos le aconsejan que deje las manifestaciones públicas, consejo que el sabio no siguió.

SE CONSOLIDA EL ÉXITO

Los años 20 representan para Einstein el logro de su madurez. Su teoría de la relatividad había sido comprobada experimentalmente, con lo que una hermosa teoría se convertía en una teoría verdadera, socialmente, la figura de Einstein era venerada como la de un héroe popular, científicamente el reconocimiento sería realizado por universidades y academias y materializado en el máximo galardón: El premio Nobel en 1921.

Por otra parte, su actividad se amplía para abarcar tres problemas:
La lucha contra la segregación racial y por la dignidad del pueblo judío.
La lucha por la paz y por el desarme como reacción a la demencial guerra europea.
La lucha por el socialismo y la democracia como esperanza en la nueva situación de Alemania como república.

Esta actitud y actividad suya le depararían sinsabores que le obligarían a refugiarse en los Estados Unidos.

El director de propaganda de la unión sionista alemana, Kurt Blumenfeld, le propone que colabore con el movimiento sionista en una misión concreta: Acompañar al líder judío Weizmann a un viaje por los EEUU a recaudar fondos entre los miembros de la acaudalada colonia judía americana para la creación del estado de Israel y de la universidad Hebrea de Jerusalén. Acepta la invitación y cumple lo encomendado con gran éxito.

Se convierte en el ciudadano del mundo viajando a Inglaterra, Francia, España, Japón, estados Unidos de América.Tras la renovación espiritual de sus viajes por países de tradición democrática, Einstein se reincorpora a sus trabajos de la Academia de Ciencias y a la universidad y se concentra en el estudio.

En Alemania el gobierno fue atacado por permitir a Einstein viajar por un país como Francia con el que tradicionalmente era Alemania beligerante. En el medio científico Einstein notó el vacío que se le hacía en la Academia Prusiana de ciencias a su regreso de Francia.

Su ausencia de Berlín hizo que muchos diarios destacaran una campaña de noticias contradictorias en la que se decía que Albert Einstein era esperado en Rusia, lo que contribuía a aumentar la animadversión contra el físico a cuya ciencia se le denominaba con frecuencia de soviética. En realidad la física de Einstein era calificada en Rusia de idealista en contraposición con el materialismo dialéctico soviéticos.

SUS COLABORADORES

Por esa época tenía como ayudantes a los jóvenes matemáticos Cornelius Lanczos y Leo Szilard, ambos húngaros. Lanczos era profesor del instituto de estudios avanzados de Dublin. Para él era patético el intento de Einstein por conseguir su Teoría del Campo Unificado.

Las ecuaciones de Maxwell, decía Lanczos, le infundieron un gran respeto, casi veneración. Su último plan de trabajo consistía en incorporarlas a la teoría de la relatividad. Lo trágico es que nunca lo consiguió de forma satisfactoria.

Leo Szilard colaboró con Einstein en el diseño y construcción de una bomba extractora que empleaba metales líquidos. Esta sigue usándose en numerosas centrales atómicas de energía eléctrica.

EN PRINCETON

Los problemas de Alemania se hacían cada vez más difíciles; por eso recibió con agrado la invitación que le hiciera Abraham Flexner de participar como invitado en recién creado Instituto de estudios avanzados de Princeton. Einstein dudó pues no quería abandonar las responsabilidades que como hombre público había contraído con la historia y con su pueblo. La academia prusiana de Ciencias le concedió permiso para ausentarse cinco meses al año durante cinco años; sin embargo, la situación en Alemania ya no deja ninguna esperanza para personas de espíritu libre. Un hecho que lo alertó fue la quema de libros ORDENADA POR Goebels y realizada en la Plaza de Operas de Berlín el día 10 de Mayo de 1933. Obras que fueron arrasadas por las llamas fueron las de Karl Marx, Sigmund Freud, Thomas Mann, Remarque, Rathenau y, por supuesto, las de Albert Einstein.

El 17 de Octubre de 1933, Einstein llega a Princeton dejando atrás una Europa convulsionada y llena de malos presagios.

Paul Langevin, físico francés exclamó al enterarse que Einstein se radicaría definitivamente en América. Semejante acontecimiento solamente se puede comparar con el traslado del Vaticano al Nuevo Mundo.

Durante los primeros años de su residencia en Estados Unidos, Einstein desarrolló una vida pública muy limitada. El mismo decía: "Hasta donde me ha sido posible he seguido el prudente consejo de los que me pedían que guardase silencio en las cuestiones políticas.... Mis amigos europeos me llaman la gran esfinge, título que merezco por haber guardado silencio durante tanto tiempo. Los terribles acontecimientos en Europa me han paralizado hasta tal punto que mi pluma parece incapaz de expresar ideas personales....

En el verano de 1939, poco antes de empezar la segunda guerra mundial se enterró un recipiente al que llamaron la Cápsula del Tiempo, en ella incluyeron objetos representativos de la época y un mensaje de Einstein uno de cuyos apartes decía: ·".... Tenemos además el

espectáculo de personas que viven en diferentes países y que se dedican a matarse mutuamente, espectáculo que constituye otra razón para que todos los que piensan en el futuro vivan bajo el terror y la angustia..."

En la primavera de 1939 Hitler se anexa Checoslovaquia. A su pesar, se avecinaba una nueva gurra que le condujo a su pesar a una postura en defensa del militarismo y del rearme como única solución contra el nazismo, que consideraba ser la causa del más serio peligro contra la cuultura y la forma de vida europea liberal, democrática y respetuosa de la individualidad humana. Esta nueva postura de Eisntein le hizo apoyar uno de los proyectos que más graves consecuencias ha tenido en la historia de la tecnología de todos los tiempos: El Proyecto Manhatan para la construcción de la bomba atómica.

Con las explosiones de Hiroshima y Nagashaki, Einstein entra en una fase desilusionada de su vida. Desilusión por la pérdida de confianza en el logro de una auténtica paz, desilusión porque la ciencia hacía más daño que bien a la humanidad; Desilusión porque en su trabajo personal no lograba obtener la Teoría del Campo Unificado con la que había soñado tantos años; desilusión porque familiares y amigos iban falleciendo, reduciéndose cada vez más su círculo de soledad.

En 1947 muere en Francia su viejo amigo y colega Paul Langevin, lo que le afecta hondamente. Tiene la sensación de ir quedando solo en la tierra, al año siguiente muere el Zurich su primera mujer, ocasionando el traslado de su hijo Edward a un hospital siquiátrico de Suiza. También fallece su hermana Maya. Einstein empieza a sentirse enfermo y comienza tratamientos médicos para disminuir los dolores gástricos e intestibales que padece. Se le prescribe no fumar, una dieta adecuada y no fatigarse.

UN GOBIERNO UNIVERSAL

Einstein pensaba que la única forma de abolir la guerra era con la formación de un gobierno mundial. La guerra fría iniciada entre Estados Unidos y la Unión Soviética hacía aparecer de nuevo el espectro de la guerra mundial. Los científicos soviéticos acusaban a Einstein de ser un instrumento consciente o inconsciente del capitalismo y del imperialismo americano, pues en las circunstancias de la postguera, un gobierno mundial significaba un gobierno de Estados unidos sobre todo el planeta.

Por esa época los rusos hacen estallar su primera bomba atómica con lo cual perdieron los Estados Unidos su monopolio atómico y se inicia una carrera armamentista de dimensiones

desconocidas hasta entonces. El gobierno Truman decide fabricar la bomba H de una potencia mucho mayor que la bomba atómica.

Con frecuencia Einstein ha sido llamado padre de la bomba atómica pero él sólo se considera un abuelo remoto que repudia a la progenie de artefactos aniquiladores.

Preveía el holocausto de la humanidad. El 11 de Abril de 1955, sintiendo el agujón de la muerte firmó la advertencia a los gobiernos de Estados Unidos, Gran Bretaña, unión Soviética, Francia , Canadá y China, documento que había sido redactado por Bertrand Russell y apoyado por siete eminentes científicos más.

Dos días antes habló con su hijo Albert que había llegado de Berkeley en avión acompañado de Otto Nathan. Nada hacía preveer que el fin fuera inminente pues había pedido sus gafas y papel para seguir trabajando en el hospital. Sin embargo, el 18 de Abril a la una y veinticinco se le perforó la pared de la ahorta y se le detuvo el corazón.

Su muerte fue tan anticonvencional como su vida. No hubo ceremonias, ni discursos ni tumba. Su cuerpo fue incinerado y sus cenizas esparcidas en las aguas torrenciales de un río. Otto Natham, albacea testamentario del difunto interrumpió el profundo silencio del funeral con la lectura de las bellas estrofas que Goethe escribió para los funerales de Schiller:

Todos quedamos enterados y felices
El mundo le agradece lo que él le ha enseñado
Ya hace tiempo que se expande entre las multitudes lo más suyo, que a él sólo pertenece.
Brilla ante nosotros como un cometa que desaparece
Esparciendo luz infinita con su luz.

SOBRE SU CEREBRO

El 31 de diciembre de 1978 una nota en la página 17 de la primera sección del New York Times decía que al morir Einstein le había sido extraído el cerebro y confiado para su estudio a un equipo de expertos encabezados por el Dr. Thomas S. Harvey, con el fin de encontrar en sus tejidos y líquidos claves de su genio, concebido éste en términos de mecanismos neuronales del cerebro o mediante otras formas biológicas más generales, lo que originó la visión moderna que relaciona la inteligencia y la creatividad con factores genéticos. Esta concepción ha llegado a objetivizar la creatividad intentando predecirla con instrumentos como se ha hecho con la inteligencia. Estos esfuerzos de predecir la creatividad no han tenido éxito. El pensamiento creador siempre ha sido un misterio y aún se siguen buscando

elementos que lo relacionen de alguna manera. Por ejemplo, anteriormente se decía que el estudio del latín y la Geometría adiestraban la mente.

En el caso de Einstein él mismo en su autobiografía relata que a los doce años le impresionó un libro de Geometría Euclidiana que recibió y que antes de enterarse del teorema de Pitágoras había conseguido demostrarlo sin mucha dificultad fundándose en la semejanza de triángulos. Dado que Einstein resolvió este problema sin estudiar geometría, no podría usarse a einstein como modo de ejemplo de la Geometría que adiestra la mente.

El genio de Einstein ha sido caracterizado por tres cualidades:
Curiosidad, intuición y concentración. Tenia una curiosidad infantil; era como si llevara unos lentes especiales que volviera invisible todo lo que no fuera pertinente. Tenía una intuición infalible en cuanto a cuál debía ser la pregunta apropiada. Llegaba a estar tan seguro de sí mismo, que enfrentado a testimonios en apariencia contrarios incluso, rechazaba los resultados experimentales que se apartaban de sus propias conclusiones.

Einstein lograba concentrarse tanto en un problema que la mayoría de la gente lo abandonaría en semanas, meses o años. Después de 1920 fue inconmovible su decisión de desarrollar una teoría del campo unificado, una teoría única que explicase todas las interacciones físicas. Casi todos sus colaboradores abandonaron el intento. Su concentración era tal que todavía a punto de morir tenía a la mano papel y pluma para seguir trabajando en sus ecuaciones de campo.

Pìerre Thuillier cuenta que la hermana de Michele Besso le preguntó a Einstein: "Por qué Michele no ha hecho descubrimientos importantes en Matemáticas?. A lo que el sabio respondió: Michele es un humanista, un espíritu universal, demasiado interesado en demasiadas cosas para convertirse en un monomaníaco. Sólo un monomaníaco obtiene eso que se llama resultados...Ahora bien, tiene la humanidad indicios sobre la genialidad de Einstein basados en los resultados de las investigaciones hechas sobre su cerebro?. Con motivo del centenario del nacimiento del sabio, se le preguntó al Dr Harvey sobre ello y éste no pudo presentar ningún resultado. Ello sigue siendo un misterio.

BIBLIOGRAFÍA:

1. BARNET, L: *El universo del doctor Einstein*. Fondo de cultura económica. 1977.
2. CASTELFRANCHI, *Física Moderna*. Editorial Gustavo Gil S.A. 1979.
3. EINSTEIN, A: *Caminos abiertos*. Norma.1977.
4. EINSTEIN, A: *Este es mi pueblo*. Editorial Leviatán. 1985.

5. EINSTEIN(1916):*La Relatividad,* Grijalbo. México
6. EINSTEIN y otros(1981), *La Teoría de la Relatividad,* Alianza Editorial. Madrid.
7. GAMOW, G: *Biografía de la Física*. Alianza Editorial, 1970
8. GAMOW, G: *30 años que conmovieron la física*. Eudeba. 1973.
9. HAWKIN, S: *A hombros de Gigantes*. Editorial Crítica. Barcelona. 2.003
10. HOLTON G: *Fundamentos de la Física Moderna*, Reverté, 1980
11. LOVETT CLINE, B: *Los creadores de la nueva Física*. Fondo de cultura económica.1983.
12. MONDADORI, O: *Albert Einstein Cartas a Mileva*. Mondadori. Madrid. España.1990.
13. SCHWINGER, J: *El legado de Einstein*. Biblioteca de la Scientific American.1995.
14. THUILLIER, P: *De Arquímedes a Einstein*. Las caras ocultas de la invención científica. Alianza editorial,1990.

ANEXO 4

CIENCIA, TECNOLOGÍA Y EDUCACIÓN[38]

Por: Berenice Larios de Rodríguez [39]

RESUMEN

Con base en dos trabajos realizados en el planetario de Barranquilla, la autora pretende hacer evidente la poca efectividad de la educación formal en la culturización científica y tecnológica de los educandos, como la necesidad de proporcionar al ciudadano del siglo XXI la oportunidad de conocer y aprehender los conocimientos científicos y tecnológicos de la época.

Palabras Clave: modelos mentales, guías, culturización científica

INTRODUCCIÓN

Aceptar que los descubrimientos, teorías e inventos científicos y tecnológicos que caracterizaron el desarrollo de la ciencia y tecnología en el siglo XX han marcado el ritmo de vida del ciudadano del siglo XXI; que en la escala de valores de la sociedad actual es muy importante el conocimiento que se tenga, se produzca y se aplique y, que éste otorga al ciudadano características distintivas en el contexto de la sociedad del conocimiento; que el reordenamiento de las economías mundiales en torno al valor de la tecnología precisa que el ciudadano del tercer milenio tenga algún conocimiento de los desarrollos científicos recientes y sus perspectivas para poder adquirir una visión dinámica y no acabada de la ciencia, ha puesto en el ojo de la mira la educación impartida a tal punto que ya es un lugar común expresar que los grandes acontecimientos contemporáneos no han traspasado el umbral de las aulas de clases de las instituciones educativas desde el nivel primario hasta la universidad y por lo mismo, el educando ignora los problemas cruciales de la época y sus nexos con la realidad social económica y cultural de su región y del país.

[38] Artículo publicado en la Rrevista Internacional Magisterio. N° 18, pp 78-81. 2.006
[39] Asesora Científica del Planetario de Barranquilla.

Consideramos que la ciencia, la tecnología y la educación deben constituir un trípode sólido donde descanse la formación inicial y continuada del colombiano del tercer milenio, afirmación que sustentamos en primer lugar fundamentados en el análisis realizado a la propuesta curricular del Ministerio de Educación Nacional para el área de Ciencias Naturales y Educación Ambiental [40] y, posteriormente desde los resultados de un trabajo de investigación[41] que exploró y caracterizó las representaciones mentales sobre el universo de una muestra de asistentes a los diferentes espacios de divulgación científica que el Convenio Fundación Amigos de la Astronomía – Combarranquilla, a través del Planetario y el Centro interactivo de la Ciencia y el Juego, ofrecen a la población de Barranquilla y la Costa Atlántica.

- LINEAMIENTOS CURRICULARES

En el año 2.004, el MEN publica una serie de folletos denominados "Serie Guías" que buscaron darle un marco teórico y metodológico al proceso de desarrollo de las competencias básicas, en lo que el nuevo gobierno denomina "Revolución Educativa". Nos referiremos a la guía número 7 que contiene los estándares básicos de competencias en ciencias naturales y ciencias sociales, cuyo título es, "Formar en ciencias: ¡El Desafío!" Lo que necesitamos saber y saber hacer.[42]

Las guías están orientadas por una concepción curricular fundamentada en teorías constructivistas; además introducen el ingrediente investigativo al sugerir para los diferentes grados y niveles algunas actividades para ser realizadas por el estudiante con la dirección del docente; sin embargo, en cuanto a los contenidos de la ciencia, en particular los de Física que se sugiere desarrollar, puede observarse que, a)- La noción de universo no va más del sistema solar; aunque se toca el tópico formación de estrellas, no se plantea desarrollos en términos de una visión general del universo que le permita al estudiante dimensionar la tierra y el sistema planetario en el contexto de un universo finito pero ilimitado cuyos constituyentes se mueven obedeciendo leyes de tal forma que los niños, niñas y jóvenes elaboren una representación mental del universo válida, funcional y coherente con los modelos científicamente aceptados; b)- no se han incluido temas específicos de la física desarrollada en el siglo XX, lo cual impide a los estudiantes tener una visión más actualizada del conocimiento, una aproximación a la ciencia como sistema que se desarrolla con el aporte del hombre; ello

[40] LARIOS de RODRÍGUEZ, Berenice(1994):
[41] LARIOS de RODRÍGUEZ, Berenice y MENDEZ, Orlando(2.005):
[42] MEN: (2.004)

significa lamentablemente, que el estudiante egrese de la enseñanza básica y media sin conocer los desarrollos científicos recientes y sin adquirir a través de éstos una visión de ciencia más coherente, actual y fundamentada.

Es inquietante que a los ciudadanos del siglo XXI se les proporcionen únicamente elementos de la ciencia del siglo XIX sin tocar ni referenciar la ciencia desarrollada a lo largo del siglo XX. ¿Con qué visión de ciencia, con qué visión de universo se enfrenta el niño, la niña y los jóvenes de hoy al caudal de información que les llega desde la TV, la internet y en general los medios de comunicación masiva sobre un universo y una ciencia no referenciados en su educación formal?. Pueden los niños, niñas, jóvenes que egresen formados al temple de estos planes de estudio pensar en la posibilidad de existencia de otros mundos como el nuestro o, seguirán pensando que el universo no va más allá del sistema planetario o de nuestra Vía Láctea.

Más inquietante aún es el hecho de constatar en conversaciones informales con docentes en ejercicio que la parte de cosmología incluida no alcanza a desarrollarse pues si bien los estándares básicos son considerados por ellos como "camisa de fuerza" parece que son los exámenes de estado los que definen en últimas lo que debe ser desarrollado; es decir, los maestros y directivos priorizan lo que en los cuestionarios del ICFES se evalúa y en ellos el peso específico de los temas relativos a Cosmología y ciencia contemporánea es muy bajo; de ahí el poco interés e importancia dado a estos temas.

En cuanto a los currículos que sustentan la formación de los formadores en ciencias, la situación no cambia. Parece ser que del siglo XX apenas se alcanza a desarrollar los avances correspondientes a las primeras dos o tres décadas con el agravante que se enfatizan los desarrollos matemáticos más que la significación física del fenómeno o hecho estudiado; en algunas facultades formadoras de quienes van a desempeñarse como profesores del área de ciencias en la básica primaria y secundaria, ni siquiera hacen referencia a los eventos acaecidos a lo largo del siglo XX[*].

De hecho, la poca familiaridad que tienen los docentes con teorías y fenómenos pertenecientes a la física moderna y contemporánea, la forma como son abordados estos temas en los textos de física (Alemáñ, 1995, Ostermann y

[*] Se tomó como referente currículos de Facultades de Educación de universidades de reconocida trayectoria en la Costa Atlántica, igualmente informaciones recogidas en congresos nacionales y regionales de Astronomía y en el grupo de estudio e investigación que actualmente trabaja en evolución de modelos mentales.

Moreira, 2.000) y en las aulas de clases (Greca y Moreira, 2.000; Gil 1989) han viabilizado la permanencia de esquemas mentales mecanicistas que se constituyen en obstáculos epistemológicos para el entendimiento y aprehensión de la física contemporánea. Mucho más agravante es la situación si consideramos el interés demostrado por los estudiantes por la Astronomía y Cosmología y especialmente por temas de actualidad que constituyen conocimiento de frontera. Esto obliga a los educadores a realizar un esfuerzo permanente para acceder al conocimiento profundo de las teorías fundamentales de la física contemporánea y afrontar el reto que su enseñanza impone, aún más sabiendo que actualmente la Cosmología es considerada no sólo como una ciencia fundamental sino *como la ciencia ambiental que abarca la mayor de las escalas.*

- RESULTADOS DE UNA INVESTIGACIÓN EXPLORATORIA

Las ideas anteriores toman mayor fuerza a partir de los resultados encontrados en una investigación exploratoria en torno a las representaciones sobre el universo, realizada con una muestra de los asistentes a los diferentes espacios de divulgación científica del Planetario, tomando como premisa que las *Representaciones Internas* de los sujetos pueden explorarse indirectamente a través de lo que éstos son capaces de externalizar de manera verbal, simbólica o pictórica.

Desde las Teorías Representacionales asumimos que la mente consiste en representaciones internas pues los sujetos no captan el mundo exterior directamente sino que construyen representaciones internas de éste; que el comportamiento de una persona es mejor explicado en términos del contenido de su mente; es decir, en términos de sus conocimientos y creencias independientemente de cualquier mecanismo mental. En específico, la teoría de los modelos mentales de Johnson Laird(1983), asume que la mente humana representa el mundo siguiendo un triple código: proposicional, imágenes y modelos mentales; para el autor citado, estos últimos son análogos estructurales del mundo, son modelos que las personas construyen para representar estados físicos, bloques de construcción cognitiva que pueden ser combinados y recombinados como sea necesario cuya única condición es su funcionalidad; es decir, permitir a los sujetos hacer explicaciones y previsiones sobre el sistema físico que el modelo análogamente representa.

Teniendo en cuenta que desde la investigación educativa la exploración de los modelos mentales está basada en el uso de informaciones verbales del sujeto como fuente de datos; y que una persona es capaz de construir una representación mental significativa de un evento o suceso solamente si la comprende y tiene un conocimiento más general sobre éste, se le solicitó a la muestra plasmar en una hoja de papel su visión del universo, dándoles la libertad de hacerlo en frases, (proposiciones), con imágenes y|o combinando las dos, pidiéndoles que incluyeran alguna explicación de lo representado. Posteriormente se complementó la información en conversaciones libres, espontáneas e informales que tuvieron como base la representación externa que habían hecho.

Como el propósito no es detallar la investigación sino hacer referencia a algunos elementos encontrados, en particular nos referiremos a los siguientes:

- El espectro mostrado en las representaciones va desde proposiciones inconexas hasta modelos más estructurados, más coherentes. En el anexo se muestran algunas representaciones.
- Modelos de universos de comerciantes, estudiantes universitarios, administradores, ingenieros, economistas, nutricionistas, técnicos y docentes de ciencias naturales, sociales y de humanidades revelan que en las aulas universitarias no se han tomado los desarrollos científicos acaecidos a lo largo del siglo XX como objetos de conocimiento, reflexión y formación profesional: Es preocupante que en los albores del siglo XXI sigan egresando profesionales cuya preparación científica no les permite entender, comprender y manejar conceptualmente las teorías y fenómenos de la ciencia desarrollada a lo largo del siglo pasado y el presente y mucho menos construir modelos cuyos elementos y relaciones sean científicamente válidos.
- No podemos hablar de diferencias significativas y determinantes entre los integrantes de la muestra, (comerciantes, profesionales, técnicos, estudiantes...), lo que nos permite inferir la poca influencia que la educación formal tiene en la culturización científica de los individuos.
- Los docentes fueron conscientes al aceptar sus falencias conceptuales cuando afirman que no están preparados para afrontar con éxito la enseñanza de los tópicos de la física contemporánea pues ellos no fueron preparados en su formación inicial ni se les ha dado la oportunidad de aprehenderlos en la formación continuada que han recibido, lo cual señala que el "aprender a aprender" hace parte de los discursos de los currículos y de los docentes mas no de la acción educativa.

EN CONCLUSIÓN.

Actualmente se considera la formación científica y tecnológica un imperativo categórico, una necesidad inaplazable que debe ser abordada más allá de computadores, aparatos y equipos cuya sola presencia no transforma la educación; teniendo presente que la enseñanza y aprendizaje implementados desde la primaria a la universidad no posibilita la comprensión, manejo y aplicación de teorías, métodos y resultados científicos y tecnológicos, es necesario pensar una reforma profunda a la educación con el fin de promover una formación que, en palabras de Moreira(2.003), posibilite al estudiante lidiar de forma constructiva con el cambio sin dejarse dominar por éste, manejar la información sin sentirse impotente frente a su gran disponibilidad y velocidad de flujo, beneficiarse y desarrollar la tecnología sin convertirse en tecnófilo, trabajar con la incertidumbre, la relatividad, la no causalidad simple, la probabilidad, la no dicotomización de diferencias, con la idea de que el conocimiento es construcción del hombre que apenas hace representaciones del mundo y no lo capta directamente. En fin, creemos que los desarrollos científicos y tecnológicos recientes formarán parte de la cultura científica del ciudadano solamente si la educación inicial y continuada que reciben se los posibilita; esto es, ciencia, tecnología y educación debe convertirse en una terna inseparable en la formación y culturización científica del ciudadano del siglo XXI.

BIBLIOGRAFÍA.

- ALEMÁN (1995): Errores comunes sobre relatividad en profesores de enseñanza secundaria. *Enseñanza de las Ciencias* 15(3).
- AUSÚBEL, D. P; NOVAK, J.D.; HANESIAN, H. (1983). *Sicología Educativa; Un Punto De Vista Cognoscitivo* México. Trillas.
- GIL, D(1989):Contribuciones de la Historia y de la Filosofía de la ciencia al desarrollo de un modelo de enseñanza aprendizaje por investigación. *Enseñanza de las Ciencias.* 11(2)
- GRECA Y MOREIRA (2.000): *Un estudio sobre Representaciones Mentales, Imágenes, proposiciones y Modelos Mentales, respecto al concepto de Campo Electromagnético en alumnos de física general, estudiantes de postgrado y profesores.* U.F.R.G.S
- JOHNSON LAIRD, P(1983):*Mental Models*: Towards a Cognitive Science" . Cambridge University Press
- LARIOS de RODRÍGUEZ, B; CABALLERO, C Y MOREIRA, M.A(2.004):"Las representaciones mentales de los docentes de ciencias sobre el universo y las relaciones que establecen para su explicación".Barranquilla. UBU. Burgos
- LARIOS, B Y MENDEZ, O(2.005): *Representaciones mentales sobre el universo de una muestra de los asistentes al Planetario de Barranquilla*.Conferencia. Viertnes del educador
- MOREIRA, M. A(2.003): *Aprendizaje Significativo Subversivo*. Documentos para

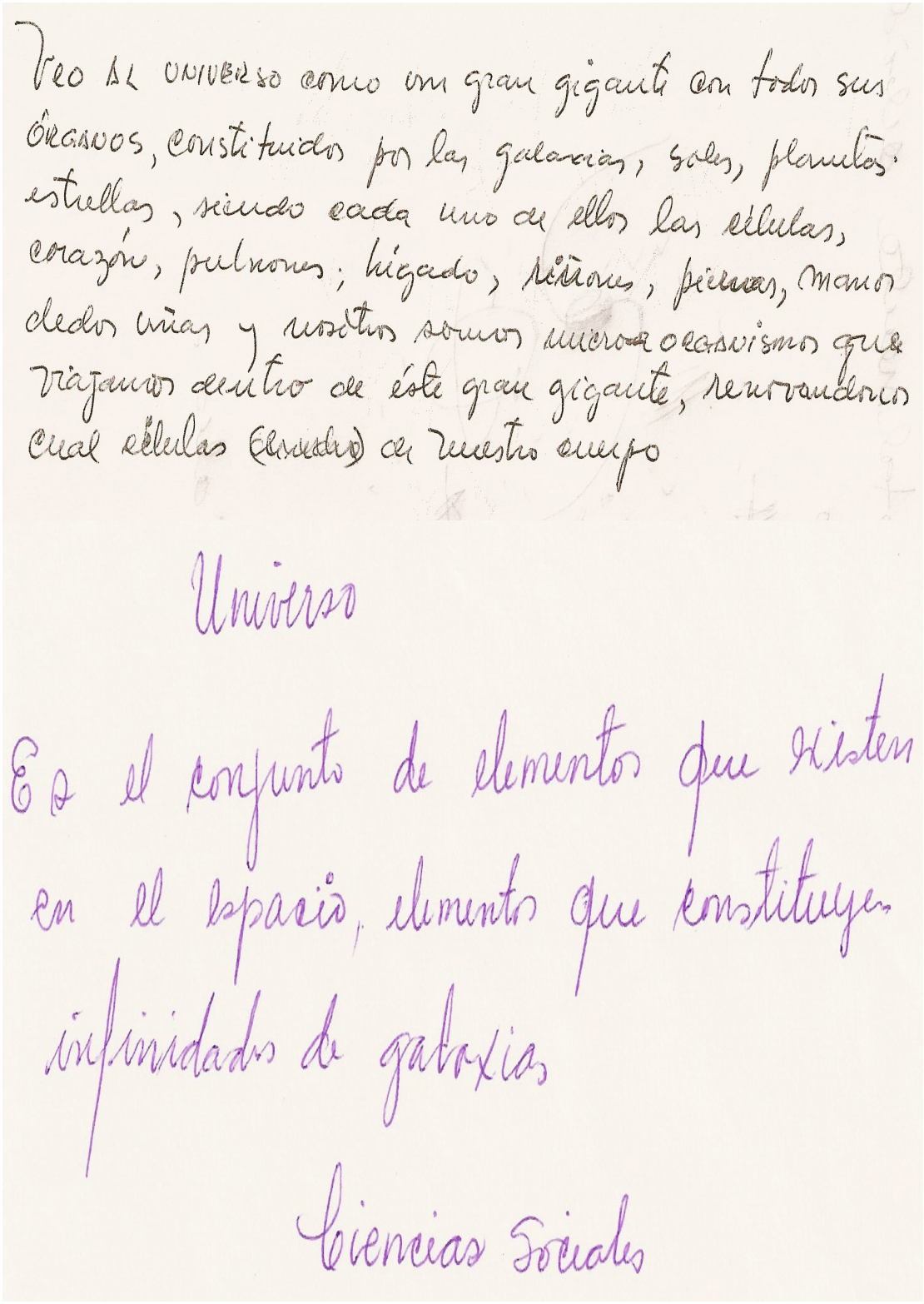
el doctorado en la enseñanza de las ciencias. Burgos.

- MINISTERIO DE EDUCACIÓN NACIONAL. MEN(1998):*Lineamientos curriculares. Ciencias Naturales y Educación Ambiental. Áreas Obligatorias y Fundamentales*. Cooperativa Editorial Magisterio. Bogotá
- M.E.N(2.004):*Formar en Ciencias, El desafío!. Lo que necesitamos saber y saber hacer.* N°7 Proyecto MEN ASCOFADE. Bogotá
- OSTERMANN y MOREIRA (2.000): Una experiencia en el aula involucrando formación de profesores". *Enseñanza de las Ciencias* 18(3)
- POZO, J. I(2.001): *Humana Mente*. *El mundo, la conciencia y la carne*. Morata, Madrid

ANEXO 5.

REPRESENTACIONES DEL UNIVERSO DE LA MUESTRA INDAGADA

En este anexo incluimos las representaciones lingüísticas cuyas transcripciones aparecen en el cuerpo del trabajo.



Em

Yo soy el producto más maravilloso de toda la evolución del universo. Soy el resultado de millones de años de cambios dramáticos en el cosmos. Mi mente alberga conocimientos infinitos de sensaciones, emosiones, ciencia, filosofía, técnica, lenguaje, religión y cultura. Soy el fruto de conseppiones de homares que vivieron mucho tiempo antes de mí.

Yo, como hombre, soy el ente cumbre de una macroestructura rígida y frágil a la vez que al mismo tiempo hace parte inherente del tiempo y el espacio.

El universo, mi universo no es una concepción externa, mi universo parte de mí como punto referencial de perfección natural. Lo demás es, porque yo y mis sentidos hacen que sea.

Aunque mi cerebro haga parte de la materia, lo considero por encima de ella. Porque tengo la capacidad de crear y modificar a partir de ella.

Yo, como digno representante de la especie humana, y sin caer en una imagen egocentrista, asumo el cosmos y cada átomo que compone mi existencia como fenómeno cúspide del tiempo y el espacio en este ínfimo punto que llamamos tierra.

La imagen que tengo del universo es la de una realidad enorme en cantidad de materia y energía inmensa que se expande al parecer de manera cada vez más veloz lo cual puede hacer pensar que hacia el futuro las grandes componentes (galaxias y conjuntos de galaxias) se separarán al igual que los elementos constitutivos más pequeños hasta el punto de generarse una muerte térmica siempre y cuando no se descubran hechos o realidades (mayor cantidad de materia) que puedan ~~hacer~~ revertir esta tendencia. Sin embargo es tan grande y compleja la totalidad de lo existente y es tan poco conocida por el hombre que no es descartable que formas de existencia inimaginables aparezcan como mundos viables tan diferentes a lo que hemos ido "conociendo".

Profesor de C. Sociales. Lidera un grupo de ciencia y astronomía en el colegio donde trabaja.

Nosotros somos parte del universo. Ese (~~Universo~~) universo, El

Cual nos parece tan complejo. ó quizas para alguno

Sencillo de entender. y de asimilar. que fuera de la tierra

hay todo un extraordinario mundo por Conocer y entender.

y a la vez aprender amar, porque ante todo para Entender

y Relacionarte Con todo lo de allí. debes amar ese mundo.

personalmente me es fascinante Escuchar todo Cuanto tenga

Relación Con ello. y solo Dios quien lo Creó puede Conocer

Cada extremo del universo. y el universo se sujeta a él

Es decir. que solo Con su ayuda podras entender la infinidad

del Universo y mucho. Gracias.

El universo es una integración de elementos, con unas características bien definidas capaz de proporcionar un ambiente de posibilidades insospechables.

Víctor

El universo es todo lo que nos rodea. y aun nosotros Hacemos parte del Universo, todo lo que no existe Existe porque esta. Basado en un fundamento como lo es el universo, las estrellas los planetas y la tierras y todo cuanto existe estan Hechos porque. tienen una razon de ser.

Institución educativa de Sabanalarga

Profesión: Lic. Ciencias Sociales

Para mi, el universo es todo lo que nos rodea, es infinito y formado por galaxias, nebulosas, planetas estrellas etc.

Nosotros somos un punto pequeñito en medio de tanta maravilla que constantemente se renueva.

* Enigmático
* Inquietante.
* Tan cerca pero tan lejos.
* Oscuro y claro.
* Apasionante.