

**PROGRAMA INTERNACIONAL DE DOCTORADO
ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS**

DEPARTAMENTO DE DIDÁCTICAS ESPECÍFICAS



UNIVERSIDAD DE BURGOS



UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

**SIGNIFICADOS DEL CONCEPTO
DE INTERACCIÓN GRAVITATORIA
EN ESTUDIANTES DE NIVEL POLIMODAL Y
PUESTA EN PRÁCTICA DE UNA PROPUESTA DIDÁCTICA
RESPECTO A DICHO CONCEPTO**

Tesis Doctoral realizada por D^a María Silvia Stipcich, para optar al Grado de Doctor por la Universidad de Burgos, bajo la dirección del Dr. Marco Antonio Moreira y la codirección de la Dra. M^a Concesa Caballero.

Burgos
julio de 2004

Por orden de aparición en mi vida:
a Luis, Bernardo y Paloma

AGRADECIMIENTOS

Hacer un reconocimiento enunciando los nombres de quienes han colaborado conmigo en esta construcción me resulta difícil. Esta dificultad tiene que ver con dos aspectos. Por un lado, que la lista sería extensa. Por otro, con lo que me gustaría poder escribir para cada una de estas personas. Asumiendo esta complejidad es que decido hacer un agradecimiento conjunto. Las participaciones y, consecuentemente las contribuciones de cada persona, han sido variadas. Algunas de ellas han participado como entrevistados, otras como estudiantes, otras como colegas con disponibilidad y entusiasmo para llevar adelante la propuesta didáctica, leer borradores, pensar sugerencias, incentivar la reflexión a partir de la crítica fundamentada, etc. Algunas de esas personas han colaborado también, junto a otros nombres, participando desde otra función: la de acompañarme en el día a día; acompañarme en los momentos de entusiasmo porque un resultado parecía ser aceptable y acompañarme en los días que ese resultado aún no llegaba.

Institucionalmente brindaron su apoyo económico y de infraestructura para que este trabajo se desarrolle la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, la Secretaría de Ciencia, Arte y Tecnología, el Grupo de Investigación en Enseñanza de las Ciencias de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires, el Departamento de Formación Docente de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires y el Colegio de la Sierra de la ciudad de Tandil.

A todos los que leyendo estas líneas se saben partícipes de esta construcción:

Muchísimas gracias!!!

INDICE

Capítulo 1: GENERALIDADES

1.1 Introducción	1
1.2 Motivación por el tema	2
1.3 Interés del tema para la investigación en Enseñanza de las Ciencias	5
1.4 Objetivos	6
1.5 Preguntas para la investigación y recorte del problema	6
1.6 Trabajos previos	7
1.7 Organización del trabajo	8

Capítulo 2: REFERENCIALES TEÓRICOS

2.1 Introducción	10
2.2 Las interacciones elementales	11
2.2.1 La ley de gravitación. El modelo de acción a distancia	14
2.2.2 El campo gravitatorio	19
2.2.3 La representación del campo gravitatorio	21
2.2.4 La energía potencial gravitatoria	22
2.2.5 La gravitación y la relatividad	24
2.3 Lineamientos desde la epistemología	25
2.3.1 Los aportes de Kant	27
2.3.2 Las epistemologías dialéctico-genéticas	29
2.3.3 Los aportes de Stephen Toulmin	31
I La evolución de las disciplinas intelectuales	33
2.4 Lineamientos didácticos	35
2.5 Lineamientos desde la psicología	39
2.5.1 La estructura clásica	40
2.5.2 La teoría probabilística	44
2.5.3 Otros enfoques	46
2.5.4 La formación de conceptos en Vigotsky	48
2.5.5 La formación y la asimilación de conceptos en Ausubel	51
2.5.6 La teoría de los campos conceptuales de Vergnaud	53

I La noción de esquema	58
II Realidad/situaciones; representación/lenguajes y símbolos	60
III Concepto	65
IV Campos conceptuales	66
2.5.7 ¿Por qué la teoría de los Campos Conceptuales?	67
Capítulo 3: LA METODOLOGÍA	
3.1 Introducción	69
3.2 La investigación cualitativa	70
3.3 La investigación de tipo etnográfico y su empleo en las prácticas educativas	72
3.4 Algunas características de un estudio de tipo etnográfico	73
3.5 Las fases en que se desarrolla la investigación	75
3.6 La recolección de los datos: La observación participante	76
3.7 El registro de los datos	79
3.7.1 El análisis de contenido	80
3.8 Algunas notas acerca de los criterios de confiabilidad de los resultados	83
Capítulo 4: RESULTADOS PRELIMINARES	
4.1 Introducción	86
4.2 Los textos	87
4.2.1 Las fuentes de datos	87
4.2.2 Tratamiento de los datos	88
4.2.3 Textos universitarios	90
4.2.4 Textos de Polimodal	94
4.2.5 En síntesis	97
4.3 Las ideas de los ingresantes: Características de la población, selección del instrumento y administración del mismo	99
4.3.1 Fundamentos para la elaboración del instrumento	100
4.3.2 El trabajo con los datos	106
4.3.3 Análisis por pregunta	107
4.3.4 Análisis comparativo	126
4.3.5 Una mirada de las preguntas que propone el test según la teoría de Vergnaud	128
4.4 Las ideas de los estudiantes de Polimodal	130

4.4.1 Análisis por pregunta	132
4.4.2 Análisis de la consistencia entre las respuestas dadas por un mismo estudiante para distintos ítems	135
4.4.3 Las entrevistas	138
4.4.4 Análisis conjunto de las respuestas al test y a las entrevistas	139
4.5 Las opiniones de los profesores: Características de la población, selección del instrumento y administración del mismo	140
4.5.1 El análisis del contenido de las entrevistas	143
4.5.2 La interpretación de los resultados	153
4.5.3 En síntesis	155
4.6 Con miras a la propuesta	156
Capítulo 5: LA PROPUESTA DIDÁCTICA	
5.1 Introducción	160
5.2 Análisis epistemológico de los contenidos implicados en la propuesta de enseñanza	161
5.3 El tipo de conocimiento que se busca producir	161
5.4 El ámbito donde se desarrollará la propuesta	163
5.5 Los conocimientos previos	163
5.6 La dinámica de las clases	165
5.7 Propósitos	166
5.8 Contenidos	167
5.9 Las actividades	168
5.10 La evaluación	196
Capítulo 6: LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA DIDÁCTICA	
6.1 Introducción	198
6.2 Los registros orales	199
6.2.1 El análisis temático	203
6.2.2 El análisis de la enunciación	204
6.2.3 Las categorías de análisis y su relación con el propósito de la investigación	207
6.2.4 A modo de ejemplo	210
6.2.5 La aplicación de las categorías a todas las clases	221
6.2.6 El análisis temático y la evolución del contenido del discurso	223

6.2.7 El análisis de la enunciación propiamente dicho.	231
I De la disposición y dinámica del discurso	231
II Del estilo del discurso	236
III De los elementos atípicos	237
6.3 El análisis de los registros escritos	238
6.3.1 Los mapas elaborados por los estudiantes	240
6.3.2 Otras producciones escritas	247
6.4 En síntesis	251
Capítulo 7: CONCLUSIONES Y DERIVACIONES	
7.1 Introducción	253
7.2 Retomando el problema de investigación	254
7.3 Algunas posibles consecuencias	258
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	260

1

Generalidades

1.1 Introducción

En este capítulo se comentan los motivos que han dado lugar a la elección del tema, su importancia en el campo de la investigación en Enseñanza de la Física, los objetivos que se pretenden alcanzar y el recorte del problema propiamente dicho. Asimismo se establecen consideraciones en relación con otros trabajos vinculados a éste y se plantea un panorama general de la manera en que se ha organizado el resto del trabajo, comentando el contenido de los demás capítulos.

1.2 Motivación por el tema¹

Poco tiempo después de acceder al título de Profesora de Física y cuando ya dictaba clases entre adolescentes surgió, en la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional del Centro, la posibilidad de cubrir un cargo de Ayudante en la cátedra Prácticas de la Enseñanza de la Física. Me presenté a esa propuesta con la intención de comenzar un camino en la carrera de profesor universitario. Esta era una de las incumbencias que el título ofrecía y aunque tenía cierta experiencia como ayudante de cátedras de Física, no lo había experimentado para las materias de carácter “pedagógico” dentro del Plan de estudios del Profesorado.

Los primeros tiempos de trabajo en esa cátedra fueron tiempos difíciles. Si bien era una cátedra de la que yo conocía, a grandes rasgos, mucho de lo que allí se demandaba, mis conocimientos eran desde el lugar de alumno.

La generosidad y el acompañamiento de la Profesora a cargo fue, sin dudas, la pieza clave para que yo pudiera “conectarme” con lo que desde este nuevo lugar *nos* proponíamos. Y ¿de qué se trataba esto que *nos* proponíamos?. Ni más ni menos que de colaborar para que los futuros docentes adquirieran capacidades que les permitieran tomar decisiones ante situaciones diferentes, con criterios debidamente justificados en un marco teórico o bien asentados sobre una actividad empírica, específicamente diseñada y controlada con coherencia y consistencia interna.

Este propósito me exigía a mí misma trazarme un paralelo entre aquello que yo era capaz de desarrollar con mis alumnos en la escuela y lo que pretendía de los futuros profesores que ahora también eran mis alumnos, pero en la Universidad. ¿Cómo conseguir plasmar en palabras aquello que evaluaba que había resultado aceptable y fundamentar las razones de ello?; ¿cómo colaborar para alertar de los posibles factores que me habrían obstaculizado situaciones de las que no conseguí salir conforme?. Fue entonces que tomé conciencia de todo lo que la actividad docente supone, de infinidad de pequeñas situaciones que no están escritas y probablemente nunca se escriban pero que son parte del quehacer docente, de algunos aciertos y también de muchas equivocaciones.

Desde aquel momento, y hasta el día de hoy (que curso el año número diecisiete en esta materia) esta tarea se ha convertido para mí, en un trabajo que me apasiona: contiene la dosis justa de desafío que no me permite estar segura de cuál sería la mejor forma para que una clase resulte todo lo bueno que uno pueda proponerse.

En cada encuentro con un alumno de prácticas, se transita un camino sinuoso, a veces más llano, otras más escarpado.

El camino comienza con la elección de la posible escuela y el curso en que se llevará a cabo la práctica, luego viene la época en que el practicante observa algunas clases, registra información relevante para sus futuras participaciones, se vuelve un miembro más de ella y aprende a reconocer los códigos de funcionamiento del grupo, lo que se propone el profesor, sus recomendaciones,

¹ Tratándose de un aspecto de carácter fuertemente personal, se opta por narrarlo en primera persona.

advierde sus estrategias, sus aciertos, etc. Cuando el tiempo indica que ya puede realizarse la práctica hay que esperar el tema que el profesor a cargo “cederá” al practicante. Con tema en mano y ese conocimiento previo del curso en cuestión comienza el tránsito para elaborar la propuesta de clase: la discusión de las condiciones de factibilidad, la decisión de aquellas actividades que esos chicos serán capaces de realizar, las posibles respuestas, los ejemplos o contraejemplos más pertinentes y por fin...la clase misma. En mi opinión, es en la clase misma cuando cumpliendo el rol de Profesora de Prácticas puedo leer mis errores y mis aciertos, reconociendo en la acción de otros actores de la clase mis propias acciones en otras clases semejantes, decisiones y toda esa infinidad de “giros pedagógicos” que no se escriben pero que un docente es capaz de ejecutar para colaborar en el aprendizaje de sus estudiantes.

Y con todo este bagaje de unas cuantas clases observadas, además de las que yo misma tengo a cargo en establecimientos educativos de nivel Polimodal ¿qué puedo decir ahora que no era capaz de transmitir antes a mis alumnos de Práctica?. Enumerar ciertas recomendaciones puede resultar tedioso y además se corre el riesgo de omitir alguna que pueda ser demasiado importante.

La compleja trama de conocimientos (disciplinares, pedagógicos y epistemológicos) que un profesor debe estar en condiciones de poner en juego es cada día mayor a causa de la diversidad de estudiantes. Además la variedad de tareas educativas a las que cada uno se debe enfrentar también crece cada vez más.

Si pensáramos como Halwachs (1985) en que la Física puede concebirse desde la función que un sujeto asume en ella, aceptaríamos hablar de tres clases de Física: la del físico, la del profesor y la del alumno. La “Física del profesor” atiende a los criterios, procedimientos y actitudes para la introducción gradual de contenidos que contribuirán al desarrollo de las capacidades para construir representaciones mentales (por parte de los alumnos) y procesarlos a través de la interrelación entre el pensamiento, el lenguaje y la acción. Luego es la “Física del profesor” el espacio de nexo entre la “Física del físico” (la de la producción del conocimiento) y la “Física del alumno”.

Así, la primera gran enseñanza que me dejan estos años de trabajo en la Práctica de la Enseñanza es que hay que estar en condiciones de ser capaz de trazarse para sí, un panorama simple del cuerpo de conocimientos y la red de relaciones que conforman la Física. Siendo capaces de bosquejar la estructura que conforman los grandes temas de Física estaremos en condiciones de comenzar a pensar en formas alternativas de abordar esos grandes temas u otros menores que sean subsidiarios de los primeros. Este fue, durante un tiempo mi propio problema en la doble vertiente de profesora que antes comenté.

La formación en la Física en mi carrera de Profesora había sido, a mi modo de ver, muy buena. De hecho, yo cursaba Física con estudiantes que luego serían Licenciados y Doctores en Física. Quienes dictaban las cátedras eran reconocidos investigadores. La formación en materias de índole pedagógica también había sido intensa aunque durante poco tiempo y sólo específica en el último año de mi carrera. Tenía dificultades para “juntar” todo eso que había

aprendido en las diferentes Físicas de manera de encontrarle un eje organizador, como sugerían los didactas, que me ayudara a pensar una manera resumida de llevarlo a las clases con estudiantes preuniversitarios y a la vez mostrar el hilo conductor o la coherencia entre unos y otros temas.

Por otro lado, en mi rol de profesora de practicantes, me resultaba muy llamativo el hecho de que nuestros alumnos se sintieran con mucho agrado cada vez que el tema de su práctica era un tema de Mecánica, en particular relacionado con las Leyes de Newton y, por el contrario, mostraran reticencia a hacerse cargo de cursos donde el tema a desarrollar era un tópico vinculado con la electricidad, por ejemplo.

Suponíamos (en reflexiones sobre nuestros resultados con los practicantes), que se trataba de una cuestión de falta de experiencia en temas de electricidad ya que algunas veces las clases demandaban la realización de experiencias de laboratorio y esto agregaba, a nuestros practicantes, una dosis mayor de *falta de control* de la situación. Sin embargo, los resultados de aquellos, que gustosos accedían a desarrollar temas vinculados con la Mecánica y las fuerzas en particular, no eran mejores que los que habían tenido a cargo otros temas. Había mucha dificultad en los practicantes para contribuir en la conceptualización de esos contenidos que tanto les gustaban. Se les “perdía de vista” la cuestión de que cuando trabajan con fuerzas éstas pueden ser de índole variada. Más aún, todas las clases de fuerzas que solían ejemplificar en sus planes y en sus propias clases atendían a diversos criterios: de contacto, a distancia, colineales, centrales, etc..

Fue a partir de esas situaciones que antes comenté, donde comencé a darme cuenta de la necesidad de recurrir a algunos temas eje o, en términos más actuales, a conceptos estructuradores del currículum de Física que ayudaran, en primer lugar, al propio docente a trazarse ese panorama simple pero lo suficientemente abarcador sobre la estructura de la Física a enseñar.

Surgió entonces, como disparador para la construcción de la estructura, la remanida cuestión con la que suelen comenzar los textos ¿de qué se ocupa la Física?. Muchos dirán de estudiar los fenómenos de la naturaleza. A ellos les preguntaría ¿cómo es el estudio que hace de la naturaleza?. Y entonces, es bastante probable que después de algunos intentos de dar una respuesta, podamos acordar que la Física se ocupa de estudiar las interacciones.

Cuando se piensa en las partículas que conforman el mundo en que nos movemos nos vienen a la mente preguntas como las siguientes: ¿Cómo es que electrones, protones y neutrones se unen para formar átomos?, ¿Cómo estos átomos se agrupan para constituir las moléculas?. De manera análoga podrían cuestionarse tantos otros sucesos que ocurren a nuestro alrededor. La Física responde a estas preguntas a través de la introducción de la noción de interacción. Se dice que las partículas que constituyen los átomos interactúan para establecer configuraciones estables. Los átomos, por su parte, interactúan para producir moléculas y éstas para formar cuerpos. Los físicos se ocupan, básicamente, de determinar las diferentes interacciones de la materia

Este es el primer paso en este desafío: me voy a ocupar del tema *interacción* desde el lugar de la Física del profesor y con miras a colaborar en la construcción de la Física del alumno.

1.3 Interés del tema para la investigación en Enseñanza de las Ciencias

La idea de que la Física que se enseña en la escuela cubre, básicamente la Mecánica clásica, la Electricidad y el Magnetismo es en principio un argumento para explicar por qué se considera que hace falta cuestionar cómo se hace para dotar de significado físico al concepto de interacción. Una buena parte del tiempo que transcurre en las clases de Física se dedica al concepto de fuerza. Desde los comienzos en la enseñanza de la Estática, atravesando la Dinámica, hasta arribar a Gravitación en el caso de la Mecánica. Cuando el eje de contenidos es la Electricidad, reaparece la noción de fuerza, ahora de carácter eléctrico. Ya en el desarrollo del Magnetismo se enlazan los fenómenos y pasa a usarse la noción de fuerza electromagnética.

El concepto de fuerza entre dos elementos (sean masas, cargas, etc.) se presenta como la “cara visible” de la noción de interacción. En la escuela nuestros estudiantes aprenden, fundamentalmente acerca de las fuerzas. No obstante, la noción de interacción suele incorporarse en el lenguaje de las explicaciones de la Física como una expresión que se está en condiciones de entender y utilizar sin demasiadas consideraciones o puestas en común entre los docentes y los estudiantes.

Presentar a la Física ocupándose de explicar algunas interacciones podría resultar de importancia por la recursividad con que esta noción aparece, aunque no siempre de manera explícita, en la secuenciación de los contenidos de la disciplina y, a consecuencia de esto, como un principio organizador para la actividad docente. Más aún: la sostenida pretensión de convertir a la Física en una asignatura que entusiasme a los estudiantes acercándolos a las explicaciones más modernas requiere necesariamente, incluir la noción de campo de fuerzas. Sin embargo, el campo de fuerzas como manifestación de la interacción entre partículas no suele formar parte de los temas que se tratan en las clases de Física preuniversitarias.

Luego, una propuesta que articule, cuando menos, dos formas de la interacción entre partículas como pueden ser la noción de fuerza y la de campo parecería interesante de estudiar si se toma en cuenta que permitiría reconsiderar los siguientes aspectos:

- Los estudiantes podrían advertir la manera en que ha evolucionado el conocimiento científico desde las primeras nociones de la acción a distancia heredadas de Newton hasta las formulaciones más actuales de la teoría de campos con miras a explicar de qué manera dos partículas se relacionan y actúan en consecuencia.
- Los docentes tendrían la posibilidad de emplear consideraciones similares para abordar tres bloques temáticos importantes en la formación de los estudiantes de Física como son la Mecánica, la Electricidad y el Magnetismo. Esto es, la interacción gravitacional, la interacción eléctrica y la interacción magnética podrían seguir abordajes similares cuando se piensan como bloques de temas para estudiantes preuniversitarios.
- Los docentes podrían contemplar la posibilidad de colocar al tema energía como el tercer modo (junto a las fuerzas y al campo) de hablar de

interacciones reuniendo en esos tres conceptos una estructuración importante de los contenidos escolares de Física.

1.4 Objetivos

Generales

- Describir las ideas que los estudiantes del nivel Polimodal de la Educación (de un determinado centro escolar) emplean para otorgar significado al concepto de interacción gravitatoria tomando como referente los contenidos involucrados, los procedimientos y las valoraciones del saber.²
- Poner en práctica una propuesta didáctica que incorpore al concepto de interacción como principio articulador de los contenidos de la física que se estudia en la escuela a nivel polimodal.

Específicos

- Analizar el tratamiento que se da a dicho concepto en los textos de uso más frecuente entre los estudiantes de nivel Polimodal.
- Elaborar material de trabajo (tests y entrevistas semiestructuradas) a los fines de recabar información oral y escrita sobre la noción de interacción.
- Construir una tipología de las modalidades de significado que se derivan del análisis de los datos en relación con: los contenidos; el tipo de lenguaje empleado (cotidiano, científico, gráfico); la jerarquía que, dentro de la red de conceptos con que se involucra, se asigna a esta noción, y otros indicadores que pudieran surgir durante el trabajo de campo.
- Recabar información (a partir de entrevistas semiestructuradas) entre docentes de Física acerca de la importancia que le asignan a esta noción.
- Diseñar estrategias didácticas que contemplen la incorporación del concepto de interacción en la secuenciación de los contenidos, de los procedimientos y del desarrollo de las clases propiamente dichos.

1.5 Preguntas para la investigación y recorte del problema

La mayoría de las preguntas que siguen (a excepción de las dos últimas) se han elaborado a la luz del primero de los objetivos generales antes enunciado. En base a estas respuestas, se estaría en condiciones de afrontar el segundo objetivo general, más vinculado con las dos últimas cuestiones de las que figuran a continuación.

- ¿Cómo se ocupan los textos escolares de la interacción?.

² El nivel Polimodal es el último estrato de la educación preuniversitaria, dura tres años, admite diferentes modalidades (ciencias sociales, administración y gestión, ciencias naturales, etc.) y los estudiantes que nuclea tienen edades que oscilan entre los 15 y los 18 años. En este caso cuando se mencione al nivel polimodal se admitirá que la modalidad del mismo es ciencias naturales.

- ¿Cómo se ocupan los textos universitarios de la interacción?
- ¿Qué opinión tienen los docentes acerca de la noción de interacción y su importancia en la enseñanza aprendizaje de la Física?
- ¿En qué situaciones los estudiantes identifican que hay interacción?
- ¿Cómo representan gráficamente esta noción nuestros estudiantes?
- ¿Hay evidencias de la variabilidad del significado desde el lenguaje cotidiano vs. el lenguaje de la ciencia?
- Los procedimientos para dar significado a un concepto, ¿varían en función del contenido?
- ¿Son diferentes los significados que se tejen cuando la respuesta es oral que cuando es escrita (predominantemente gráfica)?
- ¿Es posible advertir una cierta globalidad a la noción de interacción con independencia del contexto en que se la usa?
- ¿Cuando se recurre a esquemas y/o representaciones gráficas, son las mismas que habitualmente aparecen en los textos de uso corriente entre los estudiantes?
- ¿Con qué otros conceptos se lo relaciona y/o identifica?
- Entre las relaciones que se establecen, ¿es posible advertir alguna jerarquía?
- ¿Cuáles podrían ser los modos de colaborar en la construcción del concepto?.
- ¿Qué situaciones de clase resultan más propicias?

Partiendo del supuesto de que las ideas de los estudiantes de nivel Polimodal respecto de la interacción, no son las que la Física ha consensuado, el recorte del problema a abordar se reduce a las dos preguntas que siguen:

- 1) ¿Cuáles son las ideas que los estudiantes de Polimodal tienen sobre la noción de interacción en Física? y tomando en consideración los resultados de la cuestión anterior,
- 2) ¿Es posible diseñar y poner en práctica una propuesta didáctica que pueda colaborar reduciendo la distancia entre los conocimientos consensuados por la ciencia y aquellos que se pueden inferir de las representaciones externas de nuestros estudiantes?

1.6 Trabajos previos

En este trabajo, se ha optado por incluir los análisis bibliográficos acompañando a los temas particulares dentro del capítulo que corresponda.

El hecho de no contar con una teoría didáctica de la Física, como ocurre en el caso de la Matemática con los aportes de Brousseau (1993), demanda de un análisis minucioso y permanente para compatibilizar los diferentes aportes bibliográficos que suponen las miradas psicológica, didáctica y epistemológica de los temas que se proponen para la Enseñanza de la Física.

No obstante, a modo de aproximación, se enuncia a continuación un listado de categorías que reúnen a los diferentes materiales consultados. En cada caso se comentan los capítulos específicos donde se hace uso de la citada bibliografía.

- **Material referido a la estructura conceptual del tema desde la Física**
Son parte de esta categoría los textos de Física de los niveles Universitarios y Polimodal, así como también textos históricos y filosóficos. Capítulos 2 y 5.
- **Material referido a la metodología a emplear en esta investigación**
Textos de índole metodológica y artículos en revistas especializadas que presentan propuestas de características afines y recomiendan alternativas metodológicas. Capítulos 3,5 y 6.
- **Material referido a ideas de los estudiantes y otras propuestas didácticas en el tema.**
Textos y publicaciones en revistas especializadas que abordan temas similares dentro del propio campo de la enseñanza de la Física. Documentación elaborada por el Ministerio de Cultura y Educación de la Nación con recomendaciones para la enseñanza de la Física en los niveles E.G.B. y Polimodal. Capítulos 4 y 5.
- **Material referido a teorías del aprendizaje y teorías psicológicas acerca de la formación de conceptos científicos.**
Textos y publicaciones en revistas especializadas sobre el alcance de las teorías del aprendizaje y su potencial aplicabilidad para la comprensión de las situaciones de clase. Capítulos 2,4 y 5.
- **Material referido a consideraciones epistemológicas.**
Textos específicos sobre consideraciones en la formación de conceptos. Capítulos 2 y 5.

1.7 Organización del trabajo

Si bien este capítulo introductorio ha intentado presentar los lineamientos generales del marco en que se ha desarrollado la investigación, se destina este apartado para trazar un panorama de lo que el lector podrá encontrar en cada uno de los capítulos siguientes.

En el capítulo 2 se detallan aquellos lineamientos teóricos que han permitido delinear la investigación y valorar los alcances de los resultados obtenidos. Además de los contenidos específicos de la Física, se comentan consideraciones teóricas vinculadas con la psicología del aprendizaje, la psicología cognitiva, la didáctica y la construcción de los conocimientos científicos.

El capítulo 3 reúne los referenciales teóricos de carácter metodológico que han sido el sustento de la investigación en relación con el problema que se intenta abordar. En particular, se comentan los criterios empleados para la selección de los datos, los instrumentos de recolección y las técnicas empleadas en tal proceso. Asimismo se delimitan las fases del trabajo de campo.

En el capítulo 4 se detalla el proceso de transformación que ha operado sobre los datos a la vez que se analizan y discuten los resultados preliminares de la investigación en torno a tres componentes del acto educativo: los textos, los docentes y los estudiantes. Estos resultados junto con las consideraciones teóricas y metodológicas consignadas en los capítulos anteriores permiten plasmar en el capítulo 5 la propuesta didáctica que se desarrolla junto a los estudiantes.

El capítulo 6 se destina al análisis de los resultados que se recogen de la implementación de la propuesta didáctica. Estos resultados devienen de registros orales de las clases en que se desarrolla la propuesta y registros escritos de producciones elaboradas por los propios estudiantes.

Por último en el capítulo 7 se discuten, a modo de cierre y en relación con los objetivos que se trazaran en el capítulo 1, las conclusiones y las posibles derivaciones de esta investigación para trabajos que pudieran tomar como punto de partida los resultados aquí alcanzados.

2

Referenciales teóricos

2.1 Introducción

El problema que ha quedado delimitado en el capítulo anterior requiere ser abordado tomando en consideración aportes de diferentes disciplinas. Los diferentes campos que se conjugan en el problema son: el disciplinar, el epistemológico, el didáctico y el psicológico. En este capítulo se desarrollan las contribuciones de cada uno de estos campos en relación con la especificidad del problema propuesto.

Desde el campo disciplinar en que se inserta la investigación, la Física, se comienza describiendo a las interacciones fundamentales en la naturaleza para luego profundizar sobre la interacción gravitatoria con el desarrollo de los modelos que la explican: el de acción a distancia y el de campo.

En cuanto a los referentes epistemológicos, se analizan algunos aspectos de las

obras de Piaget, Rolando García y Stephen Toulmin que se estiman de interés para el problema que aquí se aborda.

Se describen las diferentes tradiciones que han intentado explicar la enseñanza de las ciencias para desembocar en la que desde esta investigación se estima como la más fructífera incorporando consideraciones acerca del modelo didáctico que la sustenta.

La discusión sobre la formación de conceptos desde la óptica de la Psicología Cognitiva se analiza, de manera similar a como se ha procedido con los aportes didácticos, recorriendo diferentes posturas que han tratado de dar cuenta sobre el tema. Finalmente, se explicitan los argumentos que sustentan la elección del referencial en el que se encuadra el presente trabajo.

2.2 Las interacciones elementales

Uno de los principales objetivos de un físico es estudiar, describir y caracterizar las diferentes interacciones de la materia. Como consecuencia de esto, se intentan formular ciertas reglas de carácter general para explicar el comportamiento de la materia. La mecánica clásica interpreta que las interacciones ocurren entre partículas. Esta interacción se manifiesta a través de una fuerza que actúa sobre cada partícula o a través de la energía del sistema constituido por las partículas.³

Uno de los logros importantes de las últimas décadas ha sido la reducción de diferentes fenómenos, a unas pocas interacciones básicas o elementales entre los componentes básicos de la materia.

Parece haber, hasta ahora, cuatro tipos de interacciones entre partículas: gravitatoria, electromagnética, débil y nuclear o fuerte. Cada una de estas interacciones está asociada con ciertos fenómenos y ciertas propiedades de la materia que se comentan más adelante.

Las fuerzas o interacciones fundamentales están asociadas a fuentes. Una fuente puede considerarse tanto el origen de una fuerza como el ente sobre el que actúa esta fuerza. Esto es una consecuencia de la ley de conservación del momentum. La fuerza no es otra cosa que la expresión del intercambio de momentum entre los cuerpos que interactúan.

La **masa** es la fuente de la fuerza gravitatoria; la **carga eléctrica** es la fuente de la fuerza electromagnética; la **carga de color** (característica de las partículas llamadas quarks) es la fuente de la fuerza fuerte y la **carga débil** la fuente de la fuerza débil. Como no todas las partículas que se conocen presentan estas cuatro propiedades, diferentes partículas resultan afectadas de manera diferente, por las diferentes clases de fuerzas.

Estas fuerzas pueden ser sólo atractivas (como en el caso de la gravitatoria) ó puede ser atractiva o repulsiva (como en el caso de la electromagnética). Esto

³ En el dominio de la Física cuántica, (a niveles subnucleares) el concepto de fuerza deja de tener un significado preciso. A consecuencia de esto, los físicos dedicados al estudio de las partículas prefieren hablar de interacciones de unas partículas con otras. En este texto, sin embargo, los conceptos de fuerza e interacción se emplean indistintamente.

depende de si la fuente es de un solo tipo, como en el caso de la masa, o de varios tipos como en el caso de la carga eléctrica (existen dos tipos de cargas) o la carga de color (existen seis tipos).

Las fuentes pueden ser **puntuales** o **extendidas**. Una fuente es puntual porque se la considera como un punto, sin estructura. Las leyes fundamentales de las fuerzas están formuladas para fuentes puntuales porque resultan más sencillas y porque se ha admitido que las aproximaciones que ofrecen, son aceptables.

Una fuente extendida es una fuente que tiene una cierta estructura interna y que suele considerarse como un conjunto de fuentes puntuales. Por ejemplo, mientras que los electrones son fuentes puntuales, los protones y neutrones están formados, aparentemente, por tres quarks cada uno.

Con la intención de tornar sencillos los análisis, los físicos se han preocupado por reducir el estudio de las fuerzas existentes entre muchas fuentes a fuerzas entre dos fuentes.

En las interacciones de dos cuerpos, la magnitud de la fuerza es proporcional al producto de las intensidades de cada fuente. También hay una dependencia con la distancia a la que se encuentran las fuentes entre sí. Por ejemplo la intensidad de la fuerza gravitatoria es proporcional al producto de las masas, mientras que la intensidad de la fuerza eléctrica lo es al producto de las cargas y en los dos casos la intensidad de la fuerza disminuye conforme se separan las fuentes según $1/r^2$. La constante de proporcionalidad, conocida como constante de acoplamiento depende del tipo de fuerza. Para el caso de la fuerza gravitatoria la expresión de la intensidad se reduce a :

$$F = \frac{Gmm'}{r^2}$$

mientras que la intensidad de la fuerza eléctrica adquiere la forma:

$$F = \frac{Kqq'}{r^2}$$

donde G y K son las constantes de acoplamiento. La expresión es válida siempre que las partículas, sean masas ó cargas estén en reposo o se muevan con una velocidad relativa entre sí, muy pequeña. De allí que en ocasiones se hable de fuerza electrostática. Si bien la fuerza fuerte tiene una dependencia con la distancia que es mucho más rápida que con r^2 tal dependencia no se conoce bien. Lo mismo pasa con la fuerza débil.

La fuerza gravitatoria es de largo alcance, esto significa que su influencia se extiende indefinidamente. Todos los objetos con masa experimentan la fuerza gravitatoria aún cuando su intensidad pueda dejar de ser importante como

sucede en la Física de las altas energías. En esos casos, la energía cinética de una partícula es mucho mayor que su energía potencial gravitatoria.

Es la interacción más débil de todas, sin embargo, es la que mantiene a los planetas dentro del Sistema Solar. Newton consiguió demostrar la universalidad de esta interacción poniendo en evidencia que se trataba de la misma tanto para los objetos celestes cuanto para el peso de los objetos terrestres.

La fuerza electromagnética también es de largo alcance. Comprende a las fuerzas eléctricas y magnéticas que se creyeron independientes hasta que se estableció que se trataba de manifestaciones diferentes de un mismo fenómeno. Es una fuerza que participa en los cuerpos con carga, sean cuerpos en reposo o en movimiento. La fuerza electromagnética entre cuerpos cargados con el mismo signo es repulsiva, mientras que la fuerza electromagnética entre cuerpos cargados con signo contrario es atractiva. Es consecuencia de esto último que los electrones y el núcleo están unidos formando el átomo. Este tipo de fuerzas da origen a la mayoría de las propiedades de la materia y también a las reacciones químicas.

La dirección de las fuerzas es resultado de las propiedades direccionales de las fuentes y de sus posiciones relativas. En el caso de las interacciones electromagnéticas y gravitatorias la fuerza actúa en la dirección que conecta a las dos fuentes. A las fuerzas con esta característica se las conoce como **centrales**. Para este tipo de fuerzas el carácter de central está ligado al de fuentes puntuales. Es decir, cuando se consideran fuentes puntuales las interacciones gravitatoria y electromagnética tienen asociadas fuerzas centrales. Esto es así porque si se considera a una de las fuentes colocada como centro de un sistema de coordenadas, la fuerza sobre la otra fuente, siempre apuntará hacia ese centro o, en sentido contrario. Hay que destacar, no obstante, que si se agrupan varias fuentes puntuales constituyendo un sistema, la fuerza resultante puede no ser central, como ocurre con ciertas configuraciones intermoleculares o entre pequeños dipolos.

Para las distribuciones de masas o cargas con simetría esférica la fuerza sigue siendo central, como en el caso de la interacción gravitatoria entre la Tierra y el Sol.

En la tabla que sigue (Alonso Finn, 1995, p. 96) se destacan otras características importantes de las cuatro fuerzas de la naturaleza, como es su intensidad. En este caso la intensidad de la interacción fuerte se ha tomado como unidad.

Interacción	Intensidad		Propiedad de la materia	Bosón Mediator
	Relativa	Alcance		
fuerte	1	10^{-15}	carga de color	Gluón
débil	10^{-14}	10^{-18}	carga débil	bosón débil
electromagnética	10^{-2}	∞	carga eléctrica	Fotón
gravitatoria	10^{-38}	∞	masa	Gravitón

Tabla 1: Interacciones fundamentales

En la última columna de la tabla 1 se han incluido los nombres de las partículas mediadoras. Hay que recordar para ello que en la Física Moderna, las fuerzas son transmitidas por el intercambio de estas partículas mediadoras que son quienes desempeñan el papel de portadoras del momentum.

La partícula mediadora de la fuerza fuerte es el gluón, del que hay evidencia experimental. En realidad, la fuerza fuerte actúa sobre los quarks que son los constituyentes de los protones y neutrones. Se trata de una fuerza atractiva que actúa sobre los nucleones intentando conservar la estabilidad del núcleo contrarrestando la fuerza electromagnética repulsiva entre los protones.

La fuerza débil (si se la compara con la fuerza fuerte, es débil en intensidad) es la fuerza responsable de los decaimientos β . La partícula mediadora de esta fuerza es el bosón débil. Se trata de mediadores muy masivos, a diferencia del gravitón, el fotón y el gluón que tienen masa de reposo nula, la masa del bosón débil es casi cien veces mayor que la masa del protón. De esta manera la fuerza que producen es de corto alcance. En el caso de los otros mediadores que no poseen masa, el gluón tiene ciertas propiedades que hace que el alcance de la interacción sea del orden de 10^{-15} .

En el caso de los fotones, que son partículas sin masa ni carga y que actúan como mediador de la interacción electromagnética, el alcance de la fuerza que producen es infinito. Su evidencia fue puesta de manifiesto por Einstein en 1905 cuando explicó el efecto fotoeléctrico atribuyendo propiedades corpusculares a la luz.

Hasta hoy, se supone que el gravitón es la partícula mediadora en la interacción gravitatoria, la interacción más débil de todas. Se piensa que es una partícula sin masa, de manera que el alcance de la fuerza gravitatoria es infinito, pero aún no ha sido detectada experimentalmente.

2.2.1 La ley de gravitación. El modelo de acción a distancia

Para referirse a la ley de gravitación universal y poder apreciar su importancia en el campo de la Física, hay que comenzar por referirse al problema que se estaba intentando resolver. El hecho puntual era describir el movimiento de los planetas alrededor del Sol.

A principios del siglo XV hubo importantes debates acerca de si realmente los planetas se movían alrededor del Sol o no. Fue Tycho Brahe el primero en proponer que una manera de dar respuesta a estas cuestiones era la de registrar las posiciones de los planetas en el cielo. Él mismo se ocupó de tomar tales datos, durante años, confeccionando cuidadas tablas que fueron estudiadas por el matemático Kepler a la muerte de Tycho.

Kepler fue capaz, entonces, de descubrir algunas leyes simples sobre cómo acontecía el movimiento planetario.

- ✓ En primer lugar, Kepler encontró que cada planeta se mueve alrededor del Sol describiendo una curva llamada *elipse*, con el Sol en un foco de la elipse.⁴
- ✓ La velocidad con la que los planetas se mueven alrededor del Sol no es constante. La velocidad es mayor si el planeta está más cercano al Sol y es menor cuando se encuentra más alejado. Dicho de otra manera: si en la figura de la elipse que describe un planeta alrededor del Sol se considera el radio vector desde el Sol hasta un punto de la órbita del planeta en dos intervalos de tiempo sucesivos (digamos separados por una semana), se advierte que el radio vector "barre" áreas iguales en tiempos iguales.

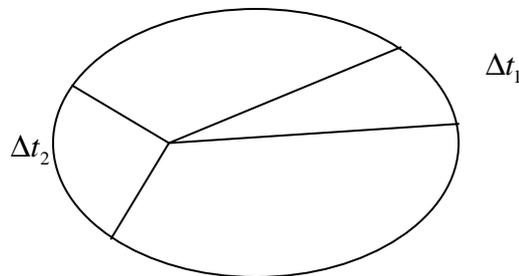


Figura 1: Ley de las áreas de Kepler

- ✓ Un tiempo más tarde, respecto de la aparición de las dos leyes anteriores, Kepler estableció la tercera ley en la que vincula los períodos empleados por el planeta con la longitud del diámetro mayor de la órbita elíptica, conocido como eje mayor. Esta ley establece que los períodos de dos planetas cualesquiera son proporcionales a los cubos de los semiejes mayores de sus respectivas órbitas:

$$T \propto a^{3/2}$$

Mientras que Kepler enunciaba estas leyes, Galileo estudiaba las leyes del movimiento y hacía un aporte importantísimo para comprender el problema de cómo es que los planetas giraban alrededor del Sol. Se trata del *principio de inercia: si algo se mueve sin que nada lo toque se seguirá moviendo indefinidamente en línea recta y a velocidad uniforme.*

Fue Newton el encargado de complementar esta idea agregando consideraciones acerca de que el único modo de cambiar el movimiento de un cuerpo es usando una *fuerza*. Newton sostenía, que cuando un cuerpo cambia su velocidad es porque una fuerza ha actuado sobre él. Además, si lo que cambia es la dirección en que el cuerpo se está moviendo es a causa de una fuerza que ha sido aplicada lateralmente.

⁴ Una elipse es el lugar geométrico de los puntos en los que se cumple que la suma de las distancias a dos puntos fijos llamados focos es constante.

Esto permitía suponer, junto a las ideas propuestas por Galileo, que si no hubiera una fuerza actuando sobre los planetas éstos se moverían indefinidamente en línea recta. Pero este no era el caso, por tanto alguien debería estar ejerciendo una fuerza que cambiaba su movimiento. Newton estimó que el Sol podría ser el responsable de la fuerza que gobernaba el movimiento de los planetas y probó que cuando se barren áreas iguales en tiempos iguales, las desviaciones tienen que ser radiales. Por tanto, la consecuencia directa es que las fuerzas estaban dirigidas hacia el Sol.

Analizando la tercera ley de Kepler, Newton llegó a la conclusión de que si se comparan dos planetas a diferentes distancias del Sol, las fuerzas deben ser inversamente proporcionales a los cuadrados de sus respectivas distancias. Combinando el análisis de las dos leyes Newton llegó a la conclusión de que debe haber una fuerza, inversa al cuadrado de la distancia y dirigida en la línea que une sus centros.

Estas consideraciones quedaron plasmadas, tal vez como la mayor contribución de Newton a la Física, en la formulación en 1666 de la ley de gravitación universal.⁵ Es decir, supuso que se trataba de una relación que podía extenderse de manera general y no sólo para describir el movimiento de los planetas alrededor del Sol sino para todos los cuerpos. Postuló así que se trataba de una relación universal en la que cada cuerpo atrae a los demás.

Esta interacción está siempre presente entre dos cuerpos cualesquiera, sean grandes aglomerados de materia o diminutas partículas, es atractiva y no puede ser modificada desde el exterior. En los objetos cuyas dimensiones son comparables a las de aquellos que se manipulan en la vida cotidiana su efecto es muy débil y prácticamente no se percibe. En cambio, en los objetos astronómicos la interacción produce efectos notables tales como el hecho de que la Luna orbite alrededor de la Tierra.

La interacción gravitatoria entre dos cuerpos corresponde a una fuerza central, atractiva, proporcional a las masas de los cuerpos e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que media entre ellos. De manera que la intensidad de la fuerza gravitatoria se puede expresar como:

$$F = \frac{Gm_1m_2}{r^2} \quad (2.1)$$

donde la constante de proporcionalidad G, depende de las unidades empleadas para las otras magnitudes y puede determinarse experimentalmente midiendo la fuerza F entre dos masas conocidas. El valor de G en el sistema SI es

$$G = 6.673 \times 10^{-11} \text{ N m}^2 \text{ Kg}^{-2}$$

⁵ Recién en 1687 cuando se publicó la obra Principia Mathematica Philosophiae Naturalis fue que apareció verdaderamente el enunciado de la ley.

Si m_1 se encuentra en la posición \vec{r}_1 y m_2 en \vec{r}_2 la fuerza \vec{F}_{12} (Figura 2.a) ejercida por m_1 sobre m_2 es

$$\vec{F}_{12} = \frac{G m_1 m_2}{r_{12}^2} \hat{r}_{12} \quad (2.2)$$

siendo

$$\hat{r}_{12} = \frac{\vec{r}_{12}}{r_{12}}$$

un vector unitario en la dirección de m_1 a m_2 . La fuerza \vec{F}_{21} ejercida por m_2 sobre m_1 es el valor negativo de la fuerza \vec{F}_{12} de acuerdo con la tercera ley de Newton.

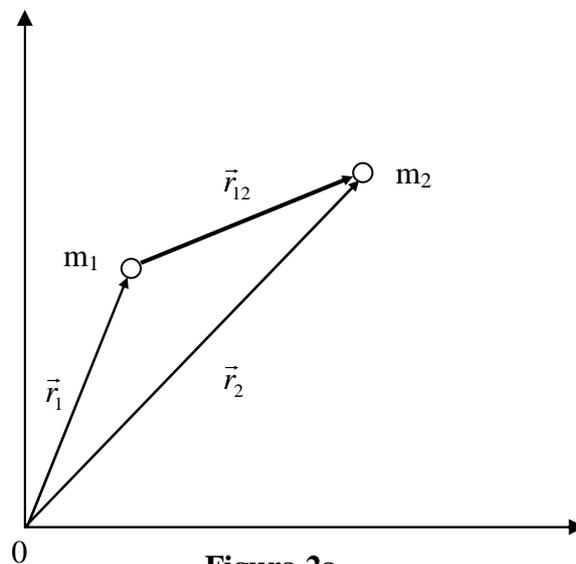


Figura 2a

Esta ley permitió comprender muchos fenómenos no explicados hasta ese momento. Hoy día, parece difícil de explicar la importancia de esta ley simple que consiguió dar respuestas a interminables debates acerca de los movimientos de las lunas, los planetas y las estrellas y todos los objetos que se encontraban en la superficie de la Tierra. Explicó, por ejemplo, el hecho de que la atracción de la Luna sobre la Tierra causa las mareas. Algo que hasta ese momento era considerado un misterio.

Conocida la ley, establecida su ecuación, hacía falta decir qué es lo que hacía mover a los planetas. En otras palabras, ¿cuál es el mecanismo de la ley?. Newton no hizo hipótesis sobre esto. El se conformó con el enunciado de la ley.

La mecánica clásica interpreta que dos partículas separadas por una cierta distancia interactúan entre sí a través de la acción de fuerzas que actúan sobre cada partícula, en la dirección de la línea que une sus centros y en sentidos contrarios. Cuando estas partículas son masas, la fuerza que actúa sobre ellas viene dada por la ecuación (2.1), cuando son cargas eléctricas es una fuerza eléctrica y cuando son cargas eléctricas en movimiento es una fuerza

magnética. En la misma partícula pueden actuar simultáneamente las tres fuerzas antes mencionadas, siendo la suma vectorial de las mismas la fuerza resultante que actúa sobre la partícula. Cuando esta fuerza es diferente de cero, la partícula está acelerada, de manera que hay variaciones en su velocidad.

El principio que indica que la fuerza que experimenta una partícula a consecuencia de otro conjunto de partículas resulta de sumar vectorialmente las fuerzas se conoce con el nombre de **principio de superposición**. Así por ejemplo, cada planeta se siente "tironeado" no sólo por la fuerza gravitatoria que le ejerce el Sol sino también por la que es debida a los restantes miembros del sistema. Sin embargo, el hecho de que sea el Sol el elemento más masivo es el determinante de que se asigne al Sol "el control" sobre cada planeta.

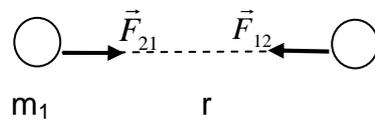


Figura 2.b: El modelo de acción a distancia

En este modelo conocido con el nombre de acción a distancia la interacción acontece entre las partículas sin intermediarios entre ellas, por eso es a distancia.

En el caso de la interacción entre los seres humanos y la Tierra, ésta no solamente mantiene "presas" a las personas sobre la superficie de la Tierra sino que las obliga a moverse rotando junto a ella.

Lo que habitualmente se denomina fuerza peso de una persona, no es otra cosa que la reacción que ejerce la superficie de la Tierra a consecuencia de la fuerza que "comprime" a una persona sobre ella.

El peso y la intensidad de la fuerza que mantiene a una persona rotando junto a la Tierra varían con la latitud del lugar en que esa persona se encuentra en la Tierra. Esto es consecuencia de que la velocidad lineal debida a la rotación es máxima en el ecuador y disminuye hasta reducirse a cero en los polos. Luego, el peso aparente de una persona depende del lugar en que la misma se encuentre, aunque la variación es de menos de cuatro partes en mil entre el ecuador y los polos.

La propiedad que le permite a un cuerpo ejercer una fuerza gravitatoria sobre otro cuerpo es la **masa gravitatoria**. La propiedad de un cuerpo que mide su resistencia frente a la aceleración se denomina **masa inercial**. Experimentalmente la masa inercial y la masa gravitatoria de un cuerpo coinciden. Los primeros experimentos para comparar las masas fueron realizados por Newton con un grupo de péndulos simples. Actualmente, los experimentos que comparan la masa inercial y la masa gravitatoria establecen una equivalencia de una parte en 10^{12} . (Tipler, 2001). De allí que hasta aquí no se hayan establecido diferencias y se emplee simplemente el símbolo m en alusión a la masa que participa de la ecuación 2.1

Esta característica que sólo cumple la fuerza de gravedad tiene como consecuencia el hecho de que, si se desprecia la resistencia del aire, todos los

cuerpos que se encuentran próximos a la superficie de la Tierra caen con la misma aceleración.

2.2.2 El campo gravitatorio

La idea de la acción de una partícula sobre otra, separada de ella por una cierta distancia sin que medie "nada" entre ambas parece extraña. Por ejemplo, que el Sol tire de un planeta que gira a su alrededor a través de millones de kilómetros sin nada que los vincule es difícil de comprender.

En realidad, las fuerzas son mucho más complicadas que lo que indica la ley de gravitación universal y existe otra explicación, que han elaborado los estudiosos de la Física, para interpretar el mismo suceso. Consiste en suponer que el Sol crea algún tipo de perturbación, crea una entidad que hace que, cuando un planeta se sitúa en el mismo espacio, éste se sienta atraído. A esta perturbación es a la que se denomina **campo**. Se trata de un concepto que tiene un papel muy importante en la Física actual, en lugar de pensar que la fuerza actúa sin que haya alguna cosa que sea mediadora de la interacción, en la concepción más moderna el campo está siempre presente.

Es importante tener en cuenta ciertas diferencias entre estas dos formas de ver el mismo fenómeno. En la "acción a distancia" no parece haber ningún inconveniente para que dicha acción se ejerza a un mismo tiempo en las dos masas, pero en cambio cuando se usa el concepto de campo parece lógico que la perturbación se propague y tarde, por consiguiente, cierto tiempo en alcanzar su objetivo. Efectivamente, la gravedad "tarda" en llegar desde el Sol hasta nuestro planeta cierto tiempo. Si el Sol pudiera quitarse de nuestro Universo la Tierra no se enteraría de su ausencia gravitatoria hasta pasado un cierto tiempo. El tiempo que emplea la luz en propagar esa alteración gravitatoria.

La presencia de un campo implica de alguna forma la existencia de un "medio" que propague la perturbación. En el caso concreto de la gravedad (y también del electromagnetismo) el medio es el vacío. En la mecánica clásica el campo es apenas un medio para describir el fenómeno físico de la interacción entre las partículas. Sin embargo, el campo se torna una realidad física con el advenimiento de la teoría de la relatividad. (Landau, L. 1980)

Para analizar la fuerza mediante el campo, se supone que, si se tiene una masa M y se coloca otra masa m en distintas posiciones A, B, C, \dots alrededor de M , debido a la interacción gravitatoria la masa m experimenta una fuerza en cada posición dada por la ecuación (2.1). Se dice que la masa M produce una "condición" en cada uno de los puntos A, B, C, \dots tal que cuando la masa m se ubica en A, B, C , "siente" la fuerza. Se dice que el campo \mathbf{C} es la condición producida por M y que F es la acción del campo sobre m y al mismo tiempo la respuesta de m al campo.

La intensidad del campo gravitatorio \mathbf{C} producido por la masa M en un cierto punto se define como la fuerza ejercida sobre la unidad de masa colocada en ese punto P .

$$\vec{C} = \frac{\vec{F}}{m} = \frac{GM}{r_{12}^2} \hat{r}_{12} \quad (2.3)$$

siendo

$$\hat{r}_{12} = \frac{\vec{r}_{12}}{r_{12}}$$

un vector unitario en la dirección de m_1 a M .

El campo gravitatorio es un vector que apunta siempre hacia la masa que lo produce. De esta forma, es posible asociar un vector a cada punto del espacio que rodea a la masa M de tal manera que la fuerza gravitatoria ejercida sobre cualquier masa colocada en esa región, se obtenga multiplicando la masa de la partícula por la correspondiente intensidad de campo, \mathbf{C} .

De la ecuación (2.3) se advierte que la intensidad de un campo gravitatorio se mide en $\text{N} \cdot \text{Kg}^{-1}$ ó $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$, lo que lo hace dimensionalmente equivalente a una aceleración. Si se tiene en cuenta que la aceleración de la gravedad en las proximidades de la Tierra puede expresarse, para una masa de prueba m como:

$$\vec{g} = \frac{\vec{P}}{m} = \frac{GM_t m}{m} = \frac{GM_t}{r^2} \quad (2.4)$$

donde M_t es la masa de la Tierra, m la masa de prueba y r el radio terrestre, resulta luego que \mathbf{g} no es otra cosa que la intensidad del campo gravitatorio terrestre. Nótese que el valor de \mathbf{g} en la ecuación (2.4) es el valor del campo gravitatorio en la superficie de un planeta de masa M_t y radio r

En caso de tener varias masas $M_1, M_2, M_3, M_4, \dots$ donde cada una de ellas produce su propio campo gravitatorio $\mathbf{C}_1, \mathbf{C}_2, \mathbf{C}_3, \mathbf{C}_4, \dots$ la fuerza total sobre una partícula de masa m en un punto P es:

$$\vec{F} = m\vec{C}_1 + m\vec{C}_2 + m\vec{C}_3 + \dots \quad (2.5)$$

o dicho de otra forma para calcular la fuerza que sobre una partícula de masa m que ejerce un sistema de i partículas con masas M_i con $i = 1, 2, \dots, N$ basta "sumar" todos los campos \mathbf{C}_i producidos que afectan a la masa m . Esto es

$$\vec{F} = \sum_{i=1}^N \vec{F}_i = m\vec{C}_i \quad (2.6)$$

en donde nuevamente se ha puesto en juego el principio de superposición antes mencionado. El campo gravitatorio resultante en el punto P es la suma vectorial de todos los campos intervinientes. En síntesis el campo gravitatorio es aditivo linealmente.

En esta concepción de la interacción una partícula interactúa, en algún punto del espacio, con el campo creado por otra partícula. El campo se torna el responsable de la interacción entre partículas. Estas, a su vez, son las fuentes de los campos por lo que resulta una fuerte conexión entre partículas y campos. Admitida la noción de campo, ya no resulta posible imaginar una partícula sin su campo como en el caso de la fuerza a través de la acción a distancia.

2.2.3 La representación del campo gravitatorio

La representación de un campo vectorial se realiza mediante el concepto de las líneas de fuerza. Se trata de líneas tangentes en todo punto a la dirección del campo. Por convención, una línea de fuerza se dibuja de manera tal que cada punto sea tangente a la dirección del campo. La densidad de las líneas de fuerza es proporcional a la intensidad del mismo.

Para el caso de una masa, las líneas de fuerza son radiales y siguen una simetría esférica. Como la fuerza gravitatoria es atractiva, el campo converge hacia la masa. Luego, el punto donde se ubica la masa y el punto donde el campo es infinito son puntos de discontinuidad del campo.

Una característica de las líneas de campo es que no pueden cortarse pues, si así fuera, en ese punto habría dos valores para el mismo campo.

Luego, para una masa como la de la Tierra, el campo se representa mediante líneas de fuerza que indican la dirección que una masa cercana seguiría cuando fuera atraída hacia su superficie.

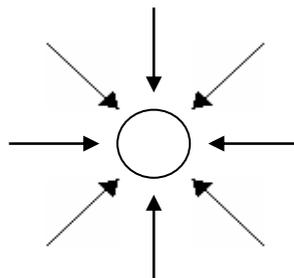


Figura 3: Líneas de fuerza para representar el campo gravitatorio

Las limitaciones de la figura no permiten representar que el campo se anula en el infinito. Además las líneas están isotrópicamente distribuidas en *todas* las regiones del espacio, lo que demuestra la simetría esférica de este campo.

2.2.4 La energía potencial gravitatoria

Una segunda descripción matemática asociada a los campos, es la relativa al **potencial**. El potencial es una función escalar que se asocia a la energía potencial de un sistema. Así, en un sistema de masas, la energía potencial es el trabajo necesario para formar este sistema. El sistema puede estar formado, por ejemplo, por la Tierra y un cuerpo próximo a la superficie de ella. Luego, el potencial gravitacional en el punto donde se encuentra el cuerpo es el trabajo por unidad de masa que es necesario para traer el cuerpo desde el infinito hasta el punto del campo gravitacional terrestre. El potencial se calcula siempre en relación con un cierto punto tomado como referencia. Es la diferencia de potencial entre dos puntos cualesquiera del campo la que tiene significado físico. Es habitual, en muchos problemas elegir el infinito como punto de referencia y definir que allí el potencial es cero.

Resulta muy interesante hacer un estudio sobre la energía potencial que puede tener un cuerpo por el hecho de estar sumergido en un campo gravitatorio.

La energía potencial se puede obtener a través del trabajo que supone desplazar una partícula o cuerpo desde una posición hasta otra. Esto es así porque esta magnitud expresa la energía que tiene el cuerpo por ocupar una posición dentro del campo gravitatorio, y la energía está íntimamente relacionada con el trabajo. Así se puede escribir el trabajo como:

$$W_{AB} = \int_A^B \vec{F}(\vec{r}) d\vec{l} \quad (2.7)$$

Como la fuerza que participa en el cálculo del trabajo es conservativa y central las trayectorias en órbitas perpendiculares a la fuerza no contribuyen al trabajo ya que en estos casos el trabajo resulta nulo. Luego, sólo va a interesar el cálculo del trabajo realizado para alejar o acercar un cuerpo de manera que la ecuación (2.7) puede reescribirse del siguiente modo:

$$W_{AB} = \int_{r_A}^{r_B} F(r) dr \quad (2.8)$$

Recordando la expresión de la intensidad de F para el caso de una masa m en las proximidades de la Tierra de masa M_t .

$$F = G \frac{mM_t}{r^2}$$

se tiene la siguiente expresión para el trabajo:

$$W_{AB} = \int_A^B G \frac{M_t m}{r^2} dr = GM_t m \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_B} \right) \quad (2.9)$$

y como

$$W_{AB} = E(\vec{r}_B) - E(\vec{r}_A)$$

en donde el trabajo se ha expresado en términos de la energía potencial E entre los puntos A y B, resulta que

$$E(\vec{r}) = -G \frac{M_t m}{r} \quad (2.10)$$

El resultado (2.10) indica que para que la energía potencial gravitatoria de un cuerpo sea cero éste debe encontrarse en el infinito. Como el alcance de la fuerza gravitatoria es infinito el hecho de que un cuerpo deje de percibirla supone que dicho cuerpo está infinitamente alejado. Ése es, en principio el significado de la elección de la referencia cero para la energía potencial.

Una cuestión para destacar es que dicha energía sea negativa. Para comprender esto, piénsese en la posibilidad de contar con un cuerpo con energía cero. Teóricamente éste sería un cuerpo incapaz de producir trabajo alguno. No es difícil asociar este cuerpo con uno situado en el vacío, aislado y en reposo en el sistema de referencia. Como no tiene velocidad ni hay perturbación alguna su energía debería ser cero.

Si ahora se piensa en dos cuerpos: uno situado en las cercanías de otro; para que el primero llegue a tener energía cero se lo debería aislar del segundo cuerpo. Para esto, será necesario alejarlo hasta el infinito. Ahora bien, como el primer cuerpo lo atrae será necesario aportarle energía hasta dejarlo aislado. Si se acepta que para que este cuerpo tenga energía nula, antes se hace necesario entregarle energía, significa que, de alguna forma, este cuerpo "debe energía" lo que se representa como una energía potencial menor que cero.

También de la ecuación (2.10) puede advertirse que la energía potencial gravitacional tiene la misma magnitud para puntos equidistantes de la masa. Estos puntos forman superficies equipotenciales. Son superficies esféricas y concéntricas en cuyo centro se encuentra la masa. En la figura 4 se representan las superficies equipotenciales y las líneas de campo gravitatorio de una masa. En cada punto del espacio, la línea de campo es siempre perpendicular a la superficie equipotencial.

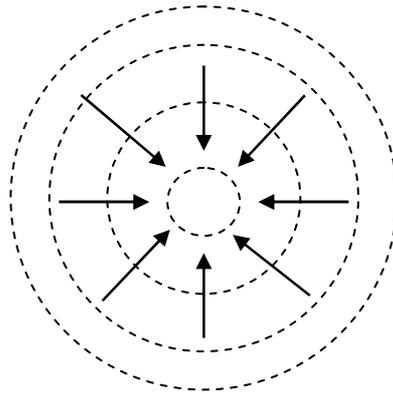


Figura 4: Representación de las superficies equipotenciales

2.2.5 La gravitación y la relatividad

De acuerdo a las elaboraciones de Newton la interacción gravitatoria entre partículas se describe mediante fuerzas que actúan sobre esas partículas que están involucradas en la interacción. Estas fuerzas son funciones de las coordenadas de esas partículas. Luego, cualquier modificación en la posición de una de las partículas se refleja inmediatamente (al mismo tiempo) en el resto de las partículas que intervienen en la interacción. Dicho de otra manera, si se moviera una partícula, se sentiría, al mismo tiempo, una fuerza debida a la nueva posición que ha experimentado la partícula. Esta descripción interpreta que la propagación de señales se produce a una velocidad infinita.

Einstein presentó argumentos sugiriendo que no se pueden enviar señales a una velocidad que supere un cierto valor límite. En la teoría de la relatividad, una alteración en el sistema de partículas se verá reflejada después de un cierto tiempo ya que existe una velocidad límite para la propagación de la información.

En consecuencia, las fuerzas que actúan sobre una partícula en un cierto instante no son relativas a las posiciones de las otras partículas en ese instante. Así, toda modificación en la velocidad de una partícula provoca una alteración de su campo y esa alteración se propaga a una velocidad límite. En relatividad esta velocidad de propagación de las interacciones es igual en todos los referenciales inerciales y es una constante universal que corresponde a la velocidad de propagación de la luz en el vacío, por eso es llamada velocidad de la luz.

Una cuestión importante que introduce Einstein es que todo lo que tiene energía tiene masa, incluida la misma luz que tiene energía tiene masa en el sentido de que es atraída gravitacionalmente. A su vez, esto trae aparejada la consecuencia de que la luz no se mueve en línea recta sino que es desviada.

La interpretación de la interacción gravitatoria en relatividad no tiene ningún paralelo con la que se hace en mecánica clásica. Por ejemplo la explicación de que la interacción gravitatoria es la responsable del movimiento acelerado de los planetas en trayectorias elípticas alrededor del Sol no existe en la

relatividad. En esta teoría las masas están siempre en movimiento rectilíneo y uniforme en el espacio-tiempo curvo.

2.3 Lineamientos desde la epistemología

El tema de cómo abordar el objeto de estudio de una investigación trae consigo la cuestión de los "recortes". Los criterios para realizar tales recortes suponen alguna garantía para aceptar que lo que resulta de ese recorte pueda ser considerado una "totalidad relativa" con cierta autonomía. En investigaciones como la que se propone, donde los datos que se recogen están vinculados a la actividad humana, tales totalidades deberán incluir comportamientos, situaciones y actividades que son consideradas como portadoras de carácter cognoscitivo.

Esta presentación se dedica a clarificar cuáles serán los referentes epistemológicos desde los cuales se prevé avanzar en las decisiones respecto de procedimientos para seleccionar y analizar datos. Dicho de otra forma, cuál es la concepción sobre cómo se construye el conocimiento que estará permeando el trabajo.

En particular, para esta investigación, se parte de los siguientes dos supuestos:

- El concepto *interacción* se asume como un concepto teórico. Una forma sintética de expresar lo que es un concepto teórico es asumir que se trata de un concepto para el cual no se identifican procedimientos ostensivos para captar su referencia.
- La manera de concebir la construcción de la ciencia condiciona la manera en que se aborde el tratamiento de los conceptos en las clases de ciencia. Es importante el número de investigaciones que concluyen con mayor o menor énfasis sobre el hecho de que los profesores de ciencias transmiten una visión distorsionada del conocimiento y el trabajo científico, alejada de los aportes que ofrece la epistemología de la ciencia. (Pope y Gilbert, 1983; Gordon, 1984; Gil, 1993; Lederman, 1992; Kouladis y Ogborn, 1995; en Porlan y otros, 1998)

Los objetos de la investigación científica son siempre "seres" complejos: se trata de totalidades que contienen partes diferenciables en calidad y cantidad. Se presentan como objetos fragmentados o fragmentables de maneras diferentes; por tanto, cada plano de fragmentación admite ser estudiado mediante un número de variables imposible de determinar. Sostiene Simon (1979), "no hay motivo para esperar que la descomposición del diseño complejo en sus fundamentos funcionales pueda ser única". (Samaja, 1993, p. 53).

Las soluciones para la pregunta acerca de cómo se construye el conocimiento han dado lugar a la mayor parte de discusiones epistemológicas y metodológicas derivando otras cuestiones: ¿Cómo se eligen los niveles de integración y las variables de un estudio?. ¿Qué criterios guían a estas decisiones centrales para el estudio?

Las respuestas más frecuentes de las que se tiene registro han sido **el apriorismo o deductivismo; el empirismo o inductivismo y el analogismo** con sus diferentes variantes (trascendentalismo, sociologismo estructural funcionalista, psicogenetismo estructural-constructivista, la dialéctica con sus diversas expresiones)

Los aprioristas insinuarán al investigador que ha partido de una teoría a priori y que sus hipótesis se han originado en alguna instancia metafísica como la razón innata o la intuición creadora. Desde el punto de vista metodológico el deductivismo se traduce en un juicio o conclusión verdadera siempre que las premisas sean verdaderas. En caso de desconocer esta situación, la verdad de la deducción no se puede garantizar.

Los inductivistas, por el contrario, insistirán en que las hipótesis son el resultado de un camino de observaciones que termina en una generalización. En este caso, cada una de las premisas construidas a partir de una determinada observación goza de una garantía que se deriva, precisamente de la propia observación. Sin embargo, no habrá justificación formal alguna que garantice que la generalización de los juicios de observación a un número N de casos sea verdadera.

Una tercera vía de análisis, viene planteada por los analogistas, que pueden analogarse con los dialécticos, constructivistas y evolucionistas. Ellos sostienen un camino de proyección de la *praxis* sobre la teoría en una serie de aproximaciones graduales que se configuran como el saber de cada gran período de la praxis social.

Intentar tomar postura por alguna de las alternativas hasta aquí mencionadas implica reconocer en la elección que se haga la reunión de las exigencias propias del conocimiento científico. En acuerdo con Samaja (op. cit. pág. 59), el conocimiento científico responde, en términos generales, a dos grupos de exigencias:

- a) la explicitación de su origen y la fuente de sus contenidos, al mismo tiempo que la probación de su adecuación a la realidad empírica.
- b) la universalidad y necesidad del mismo.

Las tradiciones empirista y apriorista de los comienzos de la modernidad pusieron énfasis en una u otra de las dos exigencias anteriores. Los empiristas se focalizaron en el punto de vista de las partes, intentando derivar desde ellas la generalidad. Los aprioristas, por su lado, postularon la existencia de premisas universales desde medios exclusivamente intelectivos dejando de lado la experiencia. *"El gran concepto que debió irse edificando, fue el concepto de acción como praxis. En ese proceso se fueron engastando las grandes realizaciones de la teoría de las probabilidades, del materialismo histórico y la sociología científica; la teoría de la evolución y la dialéctica de la adaptación biológica; la teoría de las equilibraciones cibernéticas para citar sólo las más destacadas."* (op. cit, p.61)

Adoptar la postura empirista como referente significaría, entre otras cosas, intentar reducir los términos teóricos a algún carácter observacional. Esta postura fue perdiendo vigencia a raíz del reduccionismo que significa la "traducción de un término teórico" a enunciados observacionales y el

consecuente empobrecimiento del discurso científico. (Klimovsky, 1995, p. 323).

Aceptar los lineamientos de la corriente apriorista, por su parte, implicaría postular una facultad capaz de alcanzar la verdad universal, aceptar la unidad de manera de volver subsidiaria a la diversidad.

Situarse en un punto del continuo de estos dos polos es, sin duda, un desafío prometedor. Para los fines de una investigación educativa no parece conveniente eludir el lugar que le cabe a aquello que los sujetos de la investigación *hacen*. Muy por el contrario, se entiende esta participación en términos de la acción de los sujetos sobre los objetos, sean estos conceptos o relaciones entre conceptos

En lo que sigue de esta presentación, se comentan los aportes que Kant propuso al dilema teoría/empiría a la vez que, dentro de esa propuesta amplia, se delimita el referencial específico para esta investigación.

2.3.1 Los aportes de Kant

Es Kant el primero que logra reunir en dos tesis (conocidas como la síntesis Kantiana) una vía media, superadora de los extremos presentados entre el apriorismo y el empirismo. Las mismas pueden resumirse en:

- i. Establecer la *irreductibilidad y la inseparabilidad* de los dos lenguajes de la ciencia: el lenguaje teórico de los conceptos y el lenguaje empírico de los datos sensoriales. "*Sin sensibilidad no nos serían dados los objetos, y sin entendimiento, ninguno sería pensado. (...). El entendimiento no puede percibir y los sentidos no pueden pensar, cosa alguna. Solamente cuando se unen surge el conocimiento.*" (Kant, 1973, T. I., p. 202)
- ii. Descubrir la necesidad y la índole del proceso transductor entre ambos lenguajes. Es decir, determinar, de alguna manera, la estructura del mecanismo que permite correlacionar dos órdenes epistemológicamente inconmensurables: el orden de las sensaciones y el orden de los conceptos.

En relación con esta última tesis: "*Kant descubre que el concepto de "procedimiento" (o de "esquema de producción") contiene las virtudes necesarias para enlazar estos dos órdenes ya que, por una parte, todo esquema es un hecho finito, delimitado en tiempo y espacio y, en consecuencia, transmisible, intercambiable, etc.; y por otra parte, todo esquema productivo puede ser aplicado indefinidamente, arrojando siempre el mismo producto: es, consiguientemente, la categoría universal en tanto resulta su **mecanismo productor** - consagrando así la creciente primacía del concepto de "operación", que hoy domina el escenario categorial*". (Samaja, 1993, p. 63).

Y advierte Samaja sobre la necesidad de remarcar dos aspectos:

- a) la necesidad de la simultaneidad de los dos lenguajes, lo que implica irreductibilidad de los términos teóricos y empíricos entre sí. Y, ya que el discurso científico se estructura entre ambos, la necesidad de un mecanismo transductor entre ellos, una especie de "cartografiador".
- b) haber descubierto qué es lo que llena a la función que se menciona en a).

¿Cómo es posible la subsunción de esas intuiciones bajo esos conceptos, y por consiguiente la aplicación de las categorías de los fenómenos, puesto que nadie puede decir que tal categoría, por ejemplo, la causalidad, se percibe por los sentidos y que está contenida en los fenómenos? (...) Es pues, evidente que debe existir un tercer término que sea semejante por una parte a la categoría y por otra, al fenómeno. Esta representación intermediaria será asimismo pura (sin nada empírico), y es menester, sin embargo, que sea por una parte intelectual y por otra parte sensible. Este es el esquema trascendental. (Kant, 1973. T.I, 287). (...) Lo que yo llamo esquema de un concepto es la representación de un procedimiento general de la imaginación que sirve para dar su imagen a ese concepto. (Kant, 1973, T. I, 289). Se advierte, de las citas anteriores, que la tesis de Kant restringe los conceptos científicos a "los marcos de una experiencia posible", lo que significa sostener que los conceptos teóricos son válidos a condición de que su uso quede referido a los marcos de las "condiciones formales de la sensibilidad".

El lugar central que juega la traducción de un lenguaje a otro en la constitución del conocimiento científico queda reforzado más aún en el siguiente pasaje de su obra:

"...las categorías sin esquemas son nada más que funciones del entendimiento relativas a los conceptos y que no representan ningún objeto. Su significación les viene de la sensibilidad que realiza el Entendimiento a la par que le limita." (Kant, 1973, T.I, 294)

A criterio de Samaja (1993, p. 64) la propuesta Kantiana dejó abiertas diferentes opciones epistemológicas que pueden agruparse en cuatro formas. Cada una de estas formas pone énfasis en alguna de las cuatro facultades que él (en relación a Kant) estimó como necesarias para alcanzar el conocimiento científico de manera integral: sensibilidad, imaginación, entendimiento y razón. Cada una de estas facultades está acompañada de ciertas tesis.

- a) El significado de los términos teóricos está acompañado de la posibilidad de referenciarlo a los datos de la sensibilidad.
- b) La referencia a la sensibilidad de los términos teóricos está mediatizada por esquemas.
- c) Las condiciones formales de la sensibilidad y las categorías del intelecto son quienes permiten constituir los objetos de una experiencia intersubjetiva, porque son funciones de la unidad del Yo como sujeto cuyas condiciones concretas de existencia y de acción implican que se reconozca a los otros Yoes.
- d) El Yo se proyecta en sus ideales que emergen de los postulados mismos de la experiencia moral.

Las alternativas que Kant dejó planteadas, han dado lugar a campos temáticos diferentes que han enfatizado en diversos aspectos a los fines de contribuir sobre nuevos desarrollos en la manera de hacer ciencia. Como no es propósito

de este trabajo profundizar en cada uno de las diferentes posibilidades se pasa, simplemente a una mera descripción de cada una de ellas, para luego, focalizar en c) de donde se deriva la referencia última para este trabajo.

La alternativa a) se encuadra, con ciertos "aditamentos" propuestos por Kant, dentro de los cánones del empirismo antes comentado.

La segunda alternativa, aunque novedosa en la incorporación de los esquemas, sigue teniendo sus precedentes en experimentalistas de principios de la modernidad.

En c) se incorporan *"fundamentos de derecho que regulan la actividad productiva de la razón": ese fundamento radica en una síntesis originaria que contiene el Yo humano, como sujeto que se autoproduce. De la experiencia de este sujeto se deduce todo el sistema de categorías: aunque esta experiencia es interpretada de modos diversos según ciertos énfasis: a. como experiencia espiritual (Hegel); b. experiencia económico-política (Marx, Lenín); c. experiencia socio jurídica (Durkheim, Levi-Strauss); ch. Experiencia bio-psico-social (Piaget, K. Lorenz)".* (op.cit. p. 77)

La cuarta posibilidad ha derivado en la restauración de la Metafísica, de manera que no ofrece aportes al problema epistemológico de la teoría/empiría. (op.cit. p. 77).

El recorte del problema de esta investigación se enmarca en las clases de Física. Esto supone tomar en consideración condicionantes psicológicos de los sujetos de las clases con que se trate y dentro del marco social en que se hallan insertos. Se entiende que el marco social alude a los sujetos de la clase (alumnos y docente) en las situaciones de aprendizaje que los ocupan. Este es el motivo que lleva a delimitar, aún más, el referencial epistemológico optando por la alternativa que contempla la experiencia bio-psico-social.

2.3.2 Las epistemologías dialéctico-genéticas

Se agrupan bajo este nombre a todas las derivaciones de la propuesta kantiana en las que la práctica tiene un carácter decisivo y constructivo, tanto de los términos teóricos como de los empíricos. (op. cit., p. 95). Los representantes que más se han destacado enrolados en esta corriente durante el siglo XIX son Hegel y Marx.

El rechazo de las posiciones empiristas y aprioristas implica, a su vez, renunciar a la búsqueda de un "punto de partida" absoluto para el conocimiento. En tanto no hay algún factor específico (intuiciones, sensaciones) a partir del cual se elabora el conocimiento, tampoco se puede establecer un momento preciso en el cual "comienza" la actividad cognoscitiva. (García, 2000, p. 47).

"La propuesta constructivista, apoyada en los resultados de la metodología del análisis psicogenético, significó un enfoque enteramente diferente de la manera tradicional de abordar los problemas del conocimiento.

El principio de continuidad funcional implica que el conocimiento debe estudiarse como un proceso cuyo desarrollo es sólo definible en un contexto histórico-social. Por consiguiente, el objetivo de la epistemología no puede consistir en estudiar los estados del conocimiento sin tomar en cuenta dichos contextos, ni limitarse a los métodos de validación del empirismo. La epistemología constructivista se propone, por el contrario, analizar en qué consiste que un individuo, o la ciencia en un período dado, construyan lo que la misma sociedad considera como un nivel de conocimiento más avanzado:" (García, 2000, p. 52).

El principio de continuidad funcional es el eje en torno al cual se construye la epistemología constructivista. Según este principio no existe un punto de partida para la actividad cognoscitiva. Se admite con ello, que no hay factores como las intuiciones o las sensaciones que determinen el comienzo de tal actividad. Luego, si no hay punto de partida, tampoco puede haber discontinuidades desde los elementales procesos cognitivos de un niño hasta los que desarrolla un adulto científico. De acuerdo a esto, entonces, cabe proponer que los mecanismos por los cuales se adquiere el conocimiento serán comunes a todas las etapas de desarrollo de los seres humanos. Según García (op. cit., pág. 49) la *generalidad de los mecanismos constructivos* es parte del propio principio de continuidad funcional puesto que en el campo cognoscitivo los procesos constructivos son inseparables de los mecanismos.

Piaget ha hecho aportes de gran importancia a la problemática de la epistemología de base constructivista. Para Piaget *"el método completo de una epistemología científica se debe construir mediante la colaboración íntima de dos métodos: el método histórico-crítico y el método psicogenético"* (...) *"El método histórico-crítico proporciona el conocimiento de las etapas superiores del desarrollo del conocimiento humano (aunque no se pueda hablar nunca de una etapa última e insuperable). El método psicogenético, en cambio, proporciona el conocimiento de las etapas elementales de esa constitución progresiva, aún cuando jamás alcance una etapa que se pueda considerar de modo absoluto como la primera.* (Samaja, p. 130).

Las epistemologías dialéctico-genéticas proponen un modelo para explicar cómo acontece el proceso de construcción que opera cuando las estructuras conductuales de los individuos se encuentran frente a las estructuras materiales del medio ambiente. Es válido recordar, a esta altura, que lo que se intenta es responder en qué consiste esa actividad constructiva de proyección de la praxis sobre la teoría de la que se ha hablado antes.

La respuesta puede resumirse en las propuestas piagetianas que retoma García: *"El sujeto de conocimiento estructura la realidad, es decir, sus objetos de conocimiento, a medida que estructura, primero, sus propias acciones, y luego, sus propias conceptualizaciones. O dicho más específicamente: el sujeto construye sus instrumentos de organización (estructuración) de lo que se llama el mundo de la experiencia, puesto que - y este es el nudo del problema- sólo a*

través de esas organizaciones (estructuraciones) puede asimilarlo. Aquí el concepto clave es el de asimilación cognoscitiva, piedra angular de la epistemología constructivista.

Con esto se realiza el tránsito a través de la frontera, muchas veces desdibujada en las obras de Piaget, que separa la Psicología Genética de la Epistemología Genética, que no es otra cosa que la frontera entre la investigación empírica de las actividades cognoscitivas y las conceptualizaciones que corresponden al campo de la teoría del conocimiento, teniendo siempre presente que dicha frontera se cruza permanentemente en ambas direcciones. " (García, 2000, página 59)

Ese sujeto activo está inmerso en los hechos del mundo real. Tanto uno como los otros se caracterizan por una estructura que los identifica⁶. Si bien los hechos del mundo son cambiantes y dinámicos, responden a ciertas formas o estructuras mediante las cuales los sujetos los pueden distinguir. Por su parte, la estructura de los individuos está condicionada por la evolución biológica del mismo y la historia social que lo atraviesa. Esta estructura del sujeto activo puede entenderse como un dispositivo de acción (unas ciertas coordinaciones de las cuales dispone) para observar e interpretar los hechos del mundo real que se le presentan de manera de asimilarlos según sus necesidades.

Esto es, concibe a la evolución biológica y la historia social de estos últimos como las posibilidades para interpretar la construcción que resulta entre el mundo de las formas fácticas y las formas de las teorías.

2.3.3 Los aportes de Stephen Toulmin

En acuerdo con las consideraciones constructivistas de Piaget y García, puede incorporarse a la discusión el aporte de Stephen Toulmin. El programa filosófico de Toulmin propone una revisión acerca de los criterios de racionalidad. Su propuesta abandona la sistematicidad lógica, que venía ocupando un lugar central en la forma de concebir la construcción del conocimiento, por criterios más históricos y pragmáticos, tales como: a) la disposición que tienen los hombres, de cierto período histórico para responder a nuevas situaciones, b) la posibilidad de reconocer los defectos de ciertos procedimientos empleados en problemas anteriores, etc.

Mientras que las aportaciones de Piaget y García giran alrededor de los mecanismos que operan cuando los sujetos se enfrentan a la realidad, teniendo como foco la acción del sujeto; la obra de Toulmin se interesa por las necesidades y exigencias de las situaciones problemáticas a las cuales los sujetos se van a enfrentar: los conceptos y los métodos de pensamiento que los hombres deberían abordar.

En la propuesta filosófica de Toulmin son claves las nociones de **adaptación** y **exigencia** más que las de forma y validez, como ocurriera en tradiciones más "logicistas". Sostiene Toulmin que desde que los griegos se enamoraron de la geometría el pensamiento filosófico sobre la naturaleza del conocimiento estuvo dominado por modelos derivados de la Matemática y la Física. Esto

⁶ El término estructura debe entenderse aquí como conjunto de partes y relaciones más o menos organizadas.

redujo a todos los estudios filosóficos posteriores a Platón a una serie de apostillas de los estudios que él hizo y condenó a los filósofos a concentrarse más por las formas lógicas que por las funciones racionales y las adaptaciones intelectuales. Su trabajo se propone una reevaluación de la racionalidad. Insiste en que la racionalidad tiene más que ver con necesidades de adaptación y exigencias reales a problemas nuevos que con consideraciones formales y es con esa idea en mente que introduce el concepto de **ecología intelectual**. La noción de ecología intelectual es un constructo de la teoría de Toulmin que intenta comparar y reunir en una propuesta única las exigencias intelectuales de las situaciones problemáticas que proporcionan la ocasión para el cambio conceptual con las exigencias de racionalidad colectiva para abordar ese problema.⁷

Dedica su obra al estudio del desarrollo histórico de las “empresas racionales”, buscando explicar tanto las continuidades como los cambios en tales empresas y trata su contenido intelectual como constituyendo poblaciones conceptuales. El desarrollo de las poblaciones es resultado de una tensión entre factores de innovación (responsables de cierta variación en las poblaciones) y factores selectivos que las modifican perpetuando ciertas variantes. (Toulmin, 1972, p. 145)

A los fines de este trabajo, varios son los aspectos de interés en relación con la propuesta de Toulmin:

- Se focaliza en la interrelación que hay entre los pensamientos y las creencias (que son personales e individuales) y la herencia lingüística y conceptual que es colectiva. (op. cit., p. 49). Este enunciado es de particular relevancia por las connotaciones que tiene (con sus resultados) para la investigación educativa que busca encontrar la manera de colaborar en las construcciones científicas consensuadas a partir de las consideraciones individuales, generalmente de carácter no científico.
- Su preocupación acerca de la clase de cosas que se conocen y la certeza que se puede tener acerca de ese conocimiento gira alrededor de un término que para él es crucial y es el término de **concepto**. Lo fundamenta atendiendo a cuestiones diferentes. (op. cit. p. 24 y 25):
El tema de los conceptos es un tema que atraviesa a disciplinas bien distintas. En el caso de los filósofos suelen estar preocupados por el concepto de *bien*, de *número* o el concepto de *rojo*; describen la estructura de la ciencia como una red de sistemas conceptuales; más aún muchos de ellos describen la tarea de la filosofía como la del análisis conceptual.
Los psicólogos, por su parte, también se preocupan por los conceptos en el desarrollo intelectual de los aprendices, saben de lo ligados que están al aprendizaje y al lenguaje y hasta especulan con la posibilidad de que una buena parte de la capacidad intelectual pueda provenir de una herencia genética.

⁷ La noción de cambio conceptual debe interpretarse aquí como la posibilidad de que una población de conceptos se modifique, sea por la aplicabilidad de esos conceptos, es decir que pasen a resolver nuevos problemas o sea porque se desestiman y se abandonan en pos de otros nuevos.

Los neurofisiólogos se plantean si será factible identificar centros separados en el cerebro que sirvan unos como "almacén" del lenguaje y otros como sede del procesamiento conceptual.

Estas participaciones del término concepto en las disciplinas llevan a Toulmin a enunciar que hace falta ponerse de acuerdo en qué cosa sea un concepto, ya que, de otro modo se corre el riesgo de que en el futuro pase a formar parte de palabras como noción, idea, esencia y sustancia que se emplean para todo con un carácter "irredimiblemente vago".

Esta investigación se orienta a los conceptos científicos en las clases de Física. De aquí que las consideraciones acerca de la importancia de la noción de concepto que propone Toulmin son extensibles a esta propuesta.

- Una tercera reflexión acerca de la obra de Toulmin es el carácter **evolucionista** con el que asume los cambios de las poblaciones conceptuales. Al respecto sostiene: "*... nuestras descripciones del cambio conceptual como evolutivo sólo implican que los cambios de un corte temporal al siguiente suponen la perpetuación selectiva de variantes conceptuales*". (op. cit., p. 327).

En este sentido, el establecimiento de ciertas poblaciones conceptuales capaces de "perpetuarse" a lo largo de diferentes períodos escolares es deseable a los fines de la construcción del corpus de conocimiento de la Física. En el caso del concepto de interacción, como se ha explicado en otro lugar, se trata de un concepto que atraviesa las diferentes aproximaciones a las explicaciones de los fenómenos físicos en los distintos años de la escolaridad.

I La evolución de las disciplinas intelectuales

En el tercer capítulo de su obra *La comprensión humana*, recorre las diferentes alternativas que puede atravesar una población conceptual.

Entiende que para analizar el proceso histórico del cambio conceptual en las disciplinas intelectuales en términos de un modelo de población, podría optarse por alguna de las siguientes tres alternativas.⁸

1. Tomar cortes sucesivos a través del contenido intelectual de la disciplina en una secuencia de conjuntos representativos que abarquen la totalidad de los conceptos vigentes en la disciplina en tiempos sucesivos. En este caso se trata de una mirada a las relaciones entre conceptos contemporáneos. Este análisis impide discernir cómo han resultado los cambios entre conjuntos representativos sucesivos de conceptos que, según el autor es donde verdaderamente es factible estudiar la racionalidad. (op. cit. p. 208).
2. Considerar la aparición, el desarrollo y el destino de conceptos particulares a lo largo de toda la historia en un conjunto de genealogías de conceptos particulares. Es una mirada longitudinal, donde cada interrupción en la línea vital de un concepto corresponde a una unidad de cambio conceptual,

⁸ Nótese que asume a las disciplinas como poblaciones (conceptuales). De manera análoga ocurre con los contenidos escolares que se desarrollan a lo largo de toda la formación preuniversitaria.

acerca del cual se puede plantear la pregunta ¿se realizó ese cambio a sabiendas y por buenas razones a la luz de consideraciones atinentes y convincentes o se produjo de manera inadvertida o irracional por causa de algún defecto en el proceso de transmisión disciplinario o algún prejuicio ajeno al tema?. (op. cit. pág. 209).

Parecería que este modelo no deja diferenciar las causas por las cuales una variante conceptual se ha seleccionado para el repertorio ya establecido; y por otra parte, resta el debate sobre las variantes cuyo mérito no se ha evaluado. (op. cit. p. 210).

3. Combinar los dos modelos anteriores rastreando el desarrollo genealógico de todos los conceptos importantes a través de una sucesión de conjuntos representativos, de este modo se analiza el cambio conceptual como un proceso dual de variación conceptual y selección intelectual. (op. cit. p. 212).

La tercera alternativa permite identificar las diferencias entre la innovación y la selección. Registra explícitamente el hecho de que sólo algunos conceptos corrientes de una disciplina son, en cada etapa particular de una disciplina, temas de debate e innovación. Los conceptos *bien establecidos* forman una base, sobre la cual se discuten problemas no resueltos, permitiendo de esa manera introducir innovaciones. También se advierte que cada punto de ramificación o discontinuidad representa el resultado no de un simple cambio repentino, sino de un proceso más complejo de ensayo y error.

En el caso del tema de esta tesis, el concepto de interacción es parte de esta base de conceptos bien establecidos, sobre el cual reposa un importante número de problemas no resueltos.⁹ Por ejemplo, por citar dos de ellos: ¿será factible la unificación de todas las formas de interacción a una única explicación?; ¿cómo hacer posible la comprobación experimental del gravitón?

A modo de cierre, cabe mencionar que las aportaciones de Piaget y García a cómo se construye el conocimiento se orientan en términos de sujetos individuales y hacia los mecanismos que tales sujetos ponen en ejercicio al momento de actuar sobre el mundo de los objetos. La obra de Toulmin, por su parte, aporta consideraciones desde el lugar de ese mundo real que el sujeto va a abordar. En particular, ese mundo es concebido como poblaciones conceptuales que guardan una cierta estructura, con ciertos condicionantes de adaptación y “supervivencia” en diferentes etapas históricas. Luego, la obra de Toulmin, arroja luz sobre las condiciones de esos conceptos, sobre los problemas que con ellos se pueden resolver o no y con ello, habla acerca de las demandas intelectuales que esos problemas presentarán para los sujetos que actuarán sobre ellos intentando abordarlos.

⁹ En acuerdo con Alonso-Finn " *la física es una ciencia cuyo objetivo es el estudio de los componentes de la materia y sus interacciones. En términos de tales componentes e interacciones, el científico intenta explicar las propiedades generales de la materia, así como los demás fenómenos naturales que observamos*". (Alonso-Finn, 1995, p. 2).

De lo antes expuesto es que se estima que se trata de visiones que pueden complementarse a los fines de describir la manera en que se construye el corpus científico.

2.4 Lineamientos didácticos

Planear la puesta en escena de una propuesta didáctica acerca del concepto de *interacción* determina, necesariamente, el planteo de consideraciones sobre lo que se entiende por didáctico. Puesto que el propósito de este apartado no es discernir respecto del campo de acción de una disciplina como la Didáctica, se restringe el alcance al siguiente hecho: para esta tesis es de interés (por los motivos que se han expuesto en el capítulo 1) pensar en la enseñanza del concepto de interacción en las clases de Física de primer año del Polimodal.¹⁰

Diferentes autores (Schwab, 1973, Novak, 1982) han identificado a los elementos que se involucran en ese proceso: el que enseña, el que aprende, los modos de relación entre ambos, el contexto en que esa enseñanza tiene lugar, el conocimiento que atraviesa esas relaciones, la evaluación, etc. Luego, asumir un modelo para pensar el proceso educativo no es otra cosa, que clarificar una determinada concepción de la enseñanza, del aprendizaje, de las personas que intervienen en el proceso, de los objetivos generales de la educación y del entorno sociocultural y físico.

La tabla que sigue tomada de Aprender y enseñar ciencia (Pozo y Gómez Crespo, 1998, p. 306) resume a las posturas que, mayoritariamente, han sido empleadas en la enseñanza de las ciencias durante diferentes momentos históricos.

	Supuestos	Criterios de secuenciación	Actividades de enseñanza	Papel del profesor	Papel del alumno
TRADICIONAL	Compatibilidad Realismo interpretativo	La lógica de la disciplina como un conjunto de hechos	Transmisión verbal	Proporciona conocimientos verbales	Recibe los conocimientos y los reproduce
DESCUBRI-MIENTO	Compatibilidad Realismo interpretativo	La metodología científica como lógica de la disciplina	Investigación y descubrimiento	Dirige la investigación	Investiga y busca sus propias respuestas
EXPOSITIVA	Compatibilidad Constructivismo (?)	La lógica de la disciplina como sistema conceptual	Enseñanza por exposición	Proporciona conocimientos verbales	Recibe los conocimientos y los asimila
CONFLICTO COGNITIVO	Incompatibilidad Constructivismo	Los conocimientos previos y la lógica de la disciplina	Activación y cambio de conocimientos previos	Plantea los conflictos y guía su solución	Activa sus conocimientos y construye otros nuevos
INVESTIGA-CIÓN	Incompatibilidad Constructivismo	La lógica de la disciplina como solución de problemas	Enseñanza mediante resolución guiada de problemas	Plantea los problemas y dirige su solución	Construye su conocimiento mediante la investigación
MODELOS	Independencia o integración jerárquica Constructivismo	Los contenidos disciplinares como medio para acceder a las estructuras conceptuales y modelos	Enseñanza mediante explicación y contrastación de modelos	Proporciona conocimientos, explica y guía la contrastación de modelos	Diferencia e integra los distintos tipos de conocimientos y modelos

Tabla 2: Diferentes enfoques para la enseñanza de las Ciencias

¹⁰ Los detalles acerca de la población con que se prevé la propuesta didáctica se explicitan en el capítulo 5.

El **enfoque tradicional** que ha primado durante años y que aún hoy sigue vigente en algunas aulas (op. cit. p. 268) concibe al profesor como un proveedor de conocimientos; la interacción con los alumnos tiene como propósito la transmisión de informaciones; los alumnos actúan como receptores, y gracias a la imitación y la reiteración, se espera que logren reproducir los conocimientos que les fueron transmitidos. El papel preponderante dentro del proceso educativo lo asume el profesor, puesto que el propósito fundamental es mostrar un conjunto de conocimientos "acabados" o "absolutos". El foco del análisis didáctico en esta concepción está puesto en el profesor, en su manera de transmitir la información de que dispone.

Otra variante respecto de la concepción sobre la enseñanza de la ciencia ha sido la conocida como **enseñanza por descubrimiento**. Este enfoque está fundamentado en el supuesto de que la metodología didáctica más eficaz es la propia metodología de la investigación científica. Es un supuesto "fuerte" en el sentido de que con él se asume que los estudiantes serán capaces de poner en juego (en las situaciones que se los involucre), capacidades similares a las de los científicos y más aún, haciendo uso de la metodología científica, arribarán a conclusiones similares. En este modelo el elemento en torno del cual se organiza el proceso educativo es el método.

Una vía alternativa a las dos anteriores, la proponen Ausubel, Novak y Hanesian (1978) cuando enfatizan conjuntamente tanto en el rol del alumno, como en el del docente. Se trata de la **enseñanza expositiva**, un modelo constructivista, donde hace falta partir de lo que el alumno ya sabe (op. cit, p. 280) para, a partir de allí, presentar el cuerpo organizado del conocimiento. Es el docente quien tiene a su cargo la exposición deliberada del corpus científico intentando, *"transformar el significado lógico en significado psicológico"*. Es decir, la meta consiste en lograr que, progresivamente, los estudiantes asuman como propios, los significados científicos.

Se apunta a conseguir que el estudiante reconstruya esa jerarquía conceptual de la ciencia que está aprendiendo.

Otro modelo que tuvo su auge en los años noventa es el de la **enseñanza mediante el conflicto cognitivo**. Es un modelo que surge como respuesta al reconocimiento de las concepciones alternativas de los estudiantes, (Driver, Guesne y Tiberghien, 1985; Posner y otros, 1982) en pos de lograr el cambio conceptual hacia los modos científicamente aceptados. El foco del interés es el alumno, quien debería tomar conciencia de sus inconsistencias para resolverlas. El supuesto de este modelo es que sometiendo los conocimientos de los estudiantes (concepciones alternativas) a un conflicto, abandonarán las ideas erróneas en favor de explicaciones más completas. Es un modelo donde es central el diseño de las secuencias educativas, empleando una variedad de estrategias y recursos, para provocar el cambio conceptual.

Un retorno al aprendizaje por descubrimiento un par de décadas después de su aparición, pero incorporando otros elementos, lo constituye la **enseñanza mediante la investigación dirigida**. En este caso se abandonan ciertos supuestos inductivistas del modelo basado en el descubrimiento asumiendo que la investigación científica es un proceso social y que debe estar basado en

problemas generados desde la propia disciplina. Nuevamente el foco vuelve a insertarse en la lógica de la disciplina, bajo la atenta mirada del profesor.

Por último, los autores proponen **el modelo de enseñanza por explicación y contrastación de modelos**. Se trata de una visión donde el alumno reconstruye los métodos, valores y sistemas conceptuales científicos mediados con la ayuda del docente, quien colabora para que los conocimientos se vuelvan comprensibles y contrastables. El núcleo organizador de este enfoque son los diferentes modelos con que se representa el conocimiento en un dominio específico.

Es una propuesta integradora que se declara subsidiaria de todos los enfoques anteriores, aunque no significa que sea una postura en la que "todo vale". Se esperaría que el profesor sea capaz de crear ciertos escenarios explicativos para hacer dialogar a los estudiantes acerca de los fenómenos que se estudian. (Pozo y Gómez Crespo, 1998, p. 301)

Este es el enfoque que se asume en esta investigación, en el cual las situaciones que se generan en el aula colaborarán para que los estudiantes sean capaces de explicar la interacción gravitatoria a partir del empleo de los modelos de acción a distancia y campo.¹¹

Hasta aquí, la presentación de los diferentes enfoques se ha orientado en términos de la funcionalidad en que podría desarrollarse una propuesta. Esto es, se ha caracterizado a la dinámica en que se articulan los diferentes elementos que son parte del proceso educativo. Por ejemplo, cuando se habla de la enseñanza basada en la explicación y contrastación de modelos hay implícitas ciertas funciones propias de cada uno de los elementos que participan del proceso, para que el mismo tenga lugar: el docente será quien explica un cierto modelo, los estudiantes discutirán los alcances y limitaciones que esa propuesta tiene frente a otra alternativa, el docente colaborará en las discusiones orientándolas hacia los aspectos que estime más destacables, etc. Esa dinámica puede reducirse a cuatro elementos básicos: alumno, conocimiento, comunicación que se instala en el aula y docente.

Los referenciales específicos en relación con la manera en que se concibe la participación de los alumnos se comentan en el parágrafo 2.5.6 donde se discuten las distintas posturas que permitirían explicar cómo es que los estudiantes pueden otorgar significado a los conceptos científicos.

Las incumbencias acerca del conocimiento que forma parte de la propuesta didáctica se hace explícito, por una parte en este mismo capítulo en el apartado 2.2 y por otra, a lo largo de todo el capítulo 5 que presenta la planificación de la propuesta didáctica propiamente dicha.

La comunicación es entendida como el nexo mediante el cual los otros tres elementos, alumnos, conocimiento y docente, "entran" en relación. Es el elemento que dinamiza la relación.

"La dificultad del acto de enseñar está en el hecho de que él no puede ser analizado únicamente en términos de tareas de transmisión de contenidos y de métodos definidos a priori, una vez que son las comunicaciones verbales en

¹¹ En el apartado 2.5. 6 de este mismo capítulo, bajo el título la Teoría de los Campos Conceptuales, se hacen especificaciones alrededor de la noción de situación.

clase, las interacciones vivenciadas, la relación y la variedad de acciones en cada situación que permitirán o no, a diferentes alumnos, qué es lo aprendido en cada intervención. Así, las informaciones previstas son regularmente modificadas de acuerdo con las reacciones de los alumnos y de la evolución de la situación pedagógica y del contexto. Lo que constituye la especificidad de la enseñanza se trata de un trabajo interactivo" (Tardiff, J. 1992 en Perrenoud et. al. 2001, p. 26)

De la comunicación que se desenvuelve en el aula, se registran los discursos orales sostenidos en las clases en que se desarrolla la propuesta didáctica y algunas producciones escritas elaboradas por los estudiantes. Estos dos tipos de registros son, a la vez, las manifestaciones mediante las cuales se analizarán los significados que construyen los estudiantes. Luego, para esta tesis, los discursos orales sostenidos durante las clases son el medio que permite inferir los resultados de la propuesta. Este es el motivo por el cual la concepción de discurso se explicita en el capítulo 3, que está dedicado a los referenciales metodológicos de la investigación.

Por último, hace falta referirse al rol del profesor. Aún cuando no es el foco de este trabajo, debe quedar claro que su participación es decisiva a la hora de poner en marcha una cierta situación con miras a colaborar en la construcción de los significados de los estudiantes. *"En el interior de esa vivencia interactiva de comunicación, en una situación contextualizada, compleja e incierta de enseñanza-aprendizaje con alumnos específicos, es que se realizan las tareas del profesor. De ahí, las dificultades de definir las enteramente y de tenerlas todas previstas anticipadamente. El profesor puede planear, preparar su derrotero, pero continúa habiendo una parte de "aventura", ligada a los imprevistos que tienen origen en esas acciones sobre la marcha y en lo desconocido proveniente de las reacciones de los alumnos. Esto requiere una gran cantidad de tomas de decisión, una movilización de conocimientos dentro de la acción y hasta mismo, una modificación de decisiones en la acción en la sala de aula.* (Perrenoud, et. al, 2001, p. 27).

El profesor es, ante todo *"un profesional de la articulación del proceso de enseñanza-aprendizaje en una determinada situación, un profesional de la interacción de las significaciones compartidas"* (op.cit. p. 26). Para alcanzar esa articulación que propone Perrenoud hace falta que el profesor ponga en juego una serie de competencias, entendiendo por tal a un conjunto de saberes, acciones, actitudes, posturas. Es decir, se trata de habilidades cognitivas, sociales, afectivas, etc. Estudios que centran la atención en las competencias esperadas en los futuros docentes sin desconocer el entramado de variables a que estas competencias se ven expuestas destacan la necesidad de la formación en tres ámbitos bien definidos: el disciplinar, el didáctico y el dialógico. (Villani y Pacca, 1997; Pacca y Villani, 2000).

La competencia disciplinar atiende al conocimiento específico de la Física para organizar la disciplina y decidir las orientaciones de los estudiantes hacia las ideas consensuadas desde la ciencia. Esta competencia incluye, además de los conocimientos específicos de la disciplina a impartir, las bases epistemológicas en las que este conocimiento se asienta.

La competencia didáctica nuclea las herramientas necesarias para planear y poner en práctica las tareas y actividades en que se pretende involucrar a los estudiantes desde algunos objetivos prefijados. Esta competencia incluye un importante corpus de conocimiento práctico proveniente de la experiencia en situaciones en las que el profesor ha tenido "éxito", son saberes muchas veces implícitos, saberes que permitirían distinguir un experto de un novato. (Sternberg, 1985 en Perrenoud et. al. 2001, p. 30).

Por último, la competencia dialógica se refiere a la disponibilidad del profesor para acompañar a los estudiantes orientándolos en la construcción de los significados (esto implica una necesaria reflexión sobre los modos de pensar de los alumnos) a la vez que la capacidad para decidir cuándo es el momento de alejarse y convertirse sólo en un asesor. Son saberes ligados a la acción, vinculados con la capacidad de adaptación que el profesor tiene frente a una determinada situación.

Estas tres competencias que se han explicitado a los fines de la descripción se desarrollan de manera simultánea en el momento de la clase y justamente *"uno de los problemas de la enseñanza es desenvolver al mismo tiempo la forma operatoria del conocimiento, esto es, el saber hacer y la forma predicativa del conocimiento, esto es el saber explicitar los objetos y sus propiedades. (...) Entonces cuando nosotros cuestionamos a los profesores ellos frecuentemente no tienen capacidad de explicitar sus razonamientos condicionados"* (Vergnaud, 1996, p. 13).

Luego, debe quedar claro que la dinámica que permite reconocer las competencias de un profesor, es el resultado de una considerable cantidad de variables que se constituyen hacia el interior de cada uno de los tres ejes antes mencionados y también "en los cruces" entre uno y otro de estos ejes. Como señala Tochon (1991 en Perrenoud et. al. p. 29) son saberes estratégicos que se sitúan en las intersecciones de lo cognitivo y lo afectivo o saberes pragmáticos, según Tardiff (1993 en Perrenoud et. al. p. 29): *"los saberes de los docentes no corresponden a un conocimiento en el sentido usual de ese término, ellos se refieren mucho más a representaciones concretas, específicas, son prácticas orientadas para el control de las situaciones, la solución de los problemas, la resolución de objetivos en un contexto. En resumen, se trata de saberes pragmáticos, esto es, en el sentido primero del término, de saberes construidos en contacto con las cosas en sí, esto es, situaciones concretas del oficio de profesor"*.

2.5 Lineamientos desde la psicología

Desde hace más de dos décadas la investigación en enseñanza de la ciencia se viene ocupando de generar estrategias pedagógicas para acercar los conceptos que construyen los estudiantes a los conceptos que los científicos emplean para explicar determinados fenómenos. Con ese propósito han surgido enfoques alternativos como el del cambio conceptual, la evolución conceptual, los perfiles conceptuales, por citar algunos. Posner, Strike; Hewson

y Gertzog (1982); Moreira (1993), Vosniadou (1994); Mortimer, E. (1994); Benlloch y Pozo (1996).

A pesar de este interés manifiesto en el cambio de los conceptos es escasa la discusión acerca de qué cosa pueda considerarse un concepto y cómo es que los conceptos se aprenden. Piénsese, por un momento cuánto se da por supuesto cada vez que se evalúa el concepto construido por un alumno desde el referencial teórico del docente.

Es aceptado entre los estudiosos de la psicología del conocimiento que los conceptos cumplen, fundamentalmente, con la función de participar en la organización del mundo. Es gracias a ellos que se consigue reducir la diversidad con que se presenta ante nuestros ojos, a la vez que permiten predecir algunos hechos que suceden a diario. Por ejemplo: todos los gatos maúllan, a cada primavera le sucede un verano, etc. Sin embargo, no está para nada claro por el momento, cómo es que se entiende a la formación de conceptos ni qué tipo de conceptos resulta de una determinada formación.

Durante las últimas décadas se han transitado diferentes caminos tratando de describir la adquisición conceptual. Básicamente se ha intentado ofrecer una explicación acerca de cómo es que estos conceptos cambiarían en los individuos, manteniendo una serie de supuestos desde los que trabaja la psicología evolutiva.

En adelante se realizan dos recorridos: el primero de ellos consiste en una descripción abreviada de algunas posturas acerca de la formación conceptual. El segundo recorrido presenta las implicaciones de dos de las teorías psicológicas más conocidas entre los investigadores sobre enseñanza de las ciencias en este tema: Vigotsky y Ausubel. Por último y en la misma línea que los dos autores anteriores, se detalla la teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud que constituye el referencial psicológico de esta tesis.

2.5.1 La estructura clásica

Desde un punto de vista “clásico”, los conceptos guardan la misma estructura que las clases lógicas. Es decir, hay unas ciertas propiedades necesarias y suficientes que permiten definir una determinada categoría a la que pertenece un número de ejemplares de ese concepto. Así, *“la clase de los mamíferos reúne a todos los ejemplares que ostentan una serie de atributos, por ejemplo: amamantar a sus crías y tener pulmones. Dentro de esta categoría un gato es tan mamífero como un delfín. No hay grados que diferencien a los ejemplares”*. (Benlloch, 1997, p. 22)

Siguiendo esta línea de pensamiento se han desarrollado variadas investigaciones intentando averiguar qué ocurriría con la formación de conceptos artificiales. Esto es, conceptos “preparados” o, en otros términos, los conceptos de “laboratorio”, en clara alusión a la formación de conceptos científicos. Los trabajos de Hull (1920 en Benlloch, 1997, p. 23) pueden resumirse de la siguiente manera:

El sujeto debe tratar de descubrir un concepto que no conoce. En particular, desarrolla el caso de un alfabeto chino nombrando con una palabra arbitraria aquellos caracteres con un radical o un rasgo en común. Para ello, el experimentador le presenta al sujeto, una serie de estímulos de a uno por vez. Un carácter chino en cada prueba, donde el sujeto tiene que adivinar de qué carácter se trata. El mismo nombre se repite cada vez que aparecen caracteres con el mismo radical. Después que el sujeto arriesga un nombre el experimentador le da la respuesta correcta y le dice si su juicio es o no un ejemplar del concepto que debe descubrir. Se continúa hasta que el sujeto no comete más errores identificando todos los caracteres que poseen en común ese radical.

Nombre del radical (concepto)	lista 1	lista 2	lista 3	lista 4	lista 5	lista 6
彳	律	沛	咏	池	狄	漆
石	玗	玗	玗	玗	玗	玗
力	勑	勑	勑	勑	勑	勑
弓	弦	弧	弓	弗	鞞	鞞
石	舌	砗	月	碧	碧	碧
宀	宀	空	窕	窕	窕	窕

Figura 5 : Conjuntos de símbolos empleados como estímulos en la propuesta de Hull.

A partir de los resultados de experiencias con actividades como la que se acaba de comentar, Hull arriesga una explicación: el mecanismo que guía a la formación de conceptos se caracteriza por procesos de **discriminación** y **generalización**. Es decir, el hecho por el cual un sujeto tiene la posibilidad de reconocer el atributo en común de todos los ejemplares de un determinado concepto está emparentado con el hecho de haber establecido, previamente, una disociación de los rasgos ante cada uno de los estímulos ofrecidos, de manera que luego, puede concluir respecto de cuál es el rasgo que resulta común en todas las presentaciones. Con estas consideraciones, la formación conceptual que propone Hull trasunta una cierta naturaleza jerárquica y lógica. Dentro de esta misma tradición clásica, esto es, bajo supuestos similares respecto de los procesos que se estarían llevando a cabo por los sujetos cognoscentes: discriminación y generalización de atributos, surgió la teoría de la **comprobación de hipótesis**. Los adherentes a esta propuesta, sostienen que la formación conceptual surge elaborando hipótesis sobre aquello que se está intentando conocer, mediante un proceso de disgregación y reunión de los rasgos de cada una de las entidades. Entre los representantes que han optado por esa tendencia, pueden citarse los trabajos de Bruner, Goodnow y Austin (1956 en Benlloch, 1997, p. 23). Ellos han seguido dos metodologías de trabajo diferentes: el método de recepción y el método de selección.

Método de recepción: El experimentador selecciona cada una de las tarjetas que mostrará al sujeto, de manera que siempre la primera tarjeta es un ejemplar positivo del concepto que se quiere formar. Después de verla, el sujeto arriesga si está ante la presencia o no de un ejemplar del concepto, explicando cuál es su hipótesis acerca de lo que está formando. El experimentador le dice, cada vez, si la respuesta ha sido correcta o errada. La experiencia continúa de esta manera hasta que el sujeto deja de cometer errores.

Método de selección: En este caso, se comienza con la presentación de un estímulo positivo, luego el sujeto tiene a su disposición 81 tarjetas entre las que elegirá un ejemplar del concepto que está formando según la hipótesis que elabore respecto del mismo. Después de cada selección el experimentador le dice si acierta o yerra.

Es necesario notar que cuando se trata de conceptos conjuntivos los sujetos tienen dos alternativas en la resolución. Una alternativa es tomar del primer ejemplar acertado todos sus rasgos como definitorios. Luego, por sucesivas hipótesis, eliminará los rasgos ausentes en el resto de los casos que el experimentador le apunte como positivos. Otra estrategia para descubrir el concepto es que el sujeto tome sólo algunos rasgos como definitorios. En este caso, el sujeto debe confiar en su memoria respecto de los casos anteriores cada vez que formula una nueva hipótesis. El ejemplo que sigue (adaptado de Lawson, A., 1994) intenta aclarar este punto:

La primera fila de la figura que se muestra más abajo contiene cinco "criaturas" llamadas *mellinarks* (Elementary Science Study, 1974). Ninguna de las criaturas de la segunda fila es un *mellinark*. A partir de estos datos se trata de descubrir cuál/es de las criaturas de la tercera fila es/son un *mellinark*.

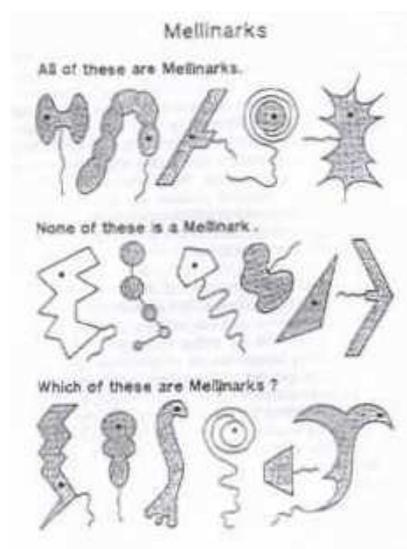


Figura 6: Estímulos para "descubrir" cómo se forma el concepto de *Mellinark*.

La respuesta correcta es que la primera, la segunda y la sexta criatura son ejemplares de un *mellinarks*. ¿Cómo se llega a la respuesta correcta?. Mirando la primera fila se ve que todas las criaturas tienen cola. Tienen un punto grande y muchos puntos pequeños. Están encerrados por membranas que pueden tener partes rectas o curvas. Asumiendo estos rasgos como definitorios se trata de decidir cuáles son las cruciales. Rápidamente se advierte que el tipo de membrana con parte recta y también con parte curva está presente en la primera fila. Con esto, este rasgo puede ser eliminado. Luego, la importancia de las otras tres características puede comprobarse planteando una serie de posibilidades como las que siguen:

Los *mellinarks* son criaturas que tienen:

- Sólo un gran punto.
- Sólo una gran cantidad de puntos pequeños.
- Sólo una cola.
- Un punto grande y muchos pequeños.
- Un punto grande y una cola.
- Muchos puntos pequeños y una cola.
- Un punto grande, muchos puntos pequeños y una cola.

Si se admitiera como correcta la primera de las opciones antes explicitadas, se estaría en condiciones de predecir que todas las criaturas de la primera y ninguna de las que aparecen en la segunda fila tienen un punto grande. Como esto no es lo que ocurre se descarta esta alternativa. De manera análoga a ésta se procede hasta arribar a que sólo la última de las opciones es la correcta. Otros autores tales como Bolton, 1977; Holland et al., 1986; Langford, 1987; Olson, 1980; Mayer, 1983 apoyan este “formato” de generación de hipótesis para formar un concepto. Por su parte, estudios más antiguos (Hume, 1739, Locke, 1690) aludirían a esta situación diciendo que se han inducido una serie de rasgos característicos para luego pasar a generalizarlos a otros ejemplos, bajo el rótulo de teorías articuladas de la abstracción.

La posibilidad para que un sujeto forme conceptos desde esta perspectiva está fuertemente influenciada por su capacidad de generar y comprobar posibilidades. Es decir, en términos actuales, hay un fuerte componente de conocimiento procedimental.

En síntesis, la visión clásica acerca de la formación de conceptos describe las propiedades que cada miembro de una categoría debe tener para pertenecer a ella y esa descripción es única.

Los experimentos antes comentados intentan dar cuenta de la formación conceptual de conceptos científicos. Ahora bien, ¿cómo se explica la formación de los conceptos que no forman parte del campo de las ciencias?. ¿Es posible que los conceptos que se emplean a diario presenten la exhaustividad que exigen las clases lógicas?. Un ejemplo simple para pensar sobre este punto puede ser el caso del concepto de “amistad” (Rodrigo, 1993 en Benlloch, 1997, p. 25) o, siguiendo a Wittgenstein (1953 en Benlloch, p. 26) ¿qué rasgos definen el concepto de juego?.

En cualquiera de los dos casos, se advierte la dificultad de establecer las condiciones necesarias y suficientes para “definir” el concepto.

Otras cuestiones para responder: ¿Cómo puede tener lugar la formación de conceptos cuando los atributos que lo definen no son perceptibles?. En el caso de los *mellinarks*, la formación se alcanza a partir del establecimiento de relaciones entre los atributos observables en la figura. Hay otros conceptos que surgen a partir de la presencia de estímulos sensoriales. Ejemplos de estos últimos son: frío o caliente, intenso o apagado. En otros casos, responden a estados internos como hambre, sed, cansancio. Estos últimos ejemplos se conocen como conceptos por aprehensión (Northrop, 1947 en Lawson, 1994), ya que se trata de conceptos que derivan su significado a partir del ambiente externo ó interno al sujeto. Si bien estos últimos ejemplos son conceptos con un significado para el sujeto (por ejemplo en el caso del vocablo hambre), no ocurre lo mismo que con aquellos conceptos que son "fabricados para el laboratorio" como el ejemplo de los *mellinarks*.

Parece claro que no en todos los casos los sujetos procederán formando conceptos (fundamentalmente con cierto significado) por clases lógicas. Por otra parte no todos los conceptos presentan esta posibilidad de “percibir o aprehender” sus rasgos definitorios. Se imponen otras explicaciones acerca de la formación conceptual.

2.5.2 La teoría probabilística

Una respuesta a las observaciones apuntadas para la teoría clásica acerca de la formación de conceptos la dio Eleanor Rosch (1975). En sus investigaciones realizó una serie de experiencias en las que se evidenciaba que para identificar un ejemplar de un cierto concepto no siempre es posible enumerar sus condiciones necesarias y suficientes. La cuestión de los atributos que un ejemplar de un cierto concepto posee no es una cuestión de todo o nada. Más bien se trata de una graduación: hay ejemplares que poseen rasgos más definitorios que otros: las vacas son ejemplares más típicos de la categoría mamíferos que los murciélagos, por ejemplo. (Benlloch, 1997, p. 26).

Según este enfoque las categorías quedan determinadas por una cierta tendencia central y unas fronteras difusas.

Los trabajos de Rosch se asientan en dos supuestos (De Vega, 1984):

- a) el mundo responde a una estructura correlacional. Es decir, la aparición de un cierto atributo está siempre acompañada de algún otro y esta aparición conjunta es altamente probable mientras que no ocurre lo mismo con otra asociación y
- b) el sistema de categorías que los hombres diseñan para comprender el mundo, les permite obtener un máximo de información con un mínimo de gasto cognitivo. Ubicar un ejemplar en una cierta categoría despliega una cantidad de información acerca de ese ejemplar sin necesidad de examinarlo en detalle, que facilita notablemente el trabajo de su análisis.

En esa categorización que los sujetos hacen de los elementos que se les presentan Rosch propone que se reconocen **dos dimensiones** con las que introduce las nociones de **prototipo** y **tipicidad**: la **dimensión vertical** y la **horizontal**.

La **dimensión vertical** comprende tres tipos de categorías que son jerárquicas, según el grado de abstracción que se considere: una **categoría básica** que responde a elementos categorizados según los atributos perceptibles del entorno. Por ejemplo todas las flores son fácilmente identificables como flores, aún cuando puedan agruparse bajo diferentes nombres.

Una segundo nivel lo constituye la categoría **supraordinaria**, que incluye a la categoría básica. Por ejemplo son categorías supraordinarias: muebles, plantas, mamíferos. En este nivel prácticamente no hay rasgos en común entre una y otra categoría, a diferencia de lo que ocurre entre los diferentes ejemplares de las categorías básicas.

Por último, reconoce a las categorías **subordinadas** que presentan mucha información respecto de cada ejemplar, aunque se vuelve complejo diferenciar a dos ejemplares entre sí. Por ejemplo, entre las flores pueden citarse las margaritas y las caléndulas que responden a nombres diferentes pero tienen muchas similitudes entre ambas.

En una investigación sobre conceptos supraordenados (Rosch, 1975) se pedía a los sujetos que otorgaran un puntaje a una nómina de ejemplares de una cierta categoría supraordenada como, por ejemplo, *vehículos*. En ese caso, el elemento más típico fue *automóvil* y el menos típico o menos representativo para los sujetos partícipes de la experiencia fue *patín*. Esos resultados ponen en evidencia que existe una cuestión de gradación interna entre los elementos de una misma categoría (**dimensión horizontal**), de manera que un par de ejemplares que pertenecen a ella no son equivalentes entre sí.

Se trata de una teoría que ha tenido éxito en muchos ámbitos como consecuencia del descubrimiento de elementos prototípicos en todas partes. Incluso para conceptos como *número impar* que tienen definiciones claras, también se encuentra una estructura prototípica de manera que 3 es un ejemplar más representativo de esta categoría que el número 27. (Fodor, 1999, p. 134).

“Parecería, entonces, que la tipicidad es alguna cosa que tiene que ver con los rasgos más sobresalientes de una categoría, sobre todo cuando uno debe hacer juicios de categorización rápidamente, pero que no es necesariamente una caracterización fundamental de los conceptos”. (Greca y Moreira, 2001)¹²

Es una teoría en la que el supuesto de base es que los seres humanos son capaces de estructurar el mundo empleando un sistema de categorías, análogo al sistema en que éste, se encuentra estructurado o correlacionado. Es decir,

¹² A consecuencia de estas consideraciones se han postulado las llamadas teorías duales. Se trata de teorías que tomarían lo mejor de la teoría clásica y lo mejor de la teoría probabilística. Los conceptos estarían formados por unos ciertos *procedimientos de identificación* (proveniente de la teoría de los prototipos) y por los procesos de categorización más pensados (provenientes de la teoría clásica)

se supone que es posible obtener un "fiel reflejo de la realidad que se presenta". Se trata de un supuesto filosófico que estaría admitiendo un universal cognitivo de alcance intercultural. De Vega (1984, p.29, en Benlloch).

Otra cuestión que pone en jaque a la teoría probabilística es que hay conceptos complejos o compuestos para los cuales no resulta posible encontrar un prototipo.¹³. Esto sucede, por ejemplo, con el caso de las negaciones. Si se quisiera encontrar el prototipo de *no mesa*, podría pensarse en *ave* o *manzana* o *libro*. Es decir, no sería posible identificar cuál es el elemento más representativo de la categoría *no mesa*. De manera similar, ocurre con los conceptos de cosas que no existen. Más aún, Margolis y Laurence (1999, p. 296) sostienen que es perfectamente posible tener un concepto aunque no se conozca su prototipo.

"Algunos psicólogos argumentaron que nuestro conocimiento de un determinado concepto está mucho más ligado a los ejemplos iniciales a partir de los cuales aprendemos el concepto. (...) por ejemplo cuando a una persona que se arroja totalmente vestida a una piscina la clasificamos como bebida. Arrojarse vestido no es una categoría de definición ni es típico de alguien que esté bebido, se adapta más a un prejuicio o juzgamiento que es parte del concepto: las personas bebidas hacen cosas sin sentido. Consecuentemente, tal vez debiésemos ver los conceptos como algo que envuelve reglas del tipo si X está bebido, entonces X está fuera de su juicio. Concluir que una persona está bebida no es sólo encontrar un prototipo, es un tipo de inferencia abductiva basada en reglas. (Thagard, 1998)

Otra crítica a esta visión está en el hecho que, al igual que ocurre con la teoría clásica, ambas se focalizan en la identificación de los conceptos descuidando el tema de cómo es que las personas acceden al significado conceptual o cómo ese significado puede modificarse según los conocimientos a los que se acceda. (Benlloch,1997, p. 30)

2.5.3 Otros enfoques

Consideraciones como las vertidas por Thagard y Benlloch llevaron a algunos psicólogos a proponer que los conceptos son bastante más que un nombre para referirse a las cosas según la categoría en la que se los ubique; cumplen la función de auxiliar a los seres humanos en la comprensión del mundo y en las posibles explicaciones que pudieran hacer de él. *"Según Murphy y Medin, como en las teorías científicas, cuyo éxito depende de lo apropiado que sean los conceptos a partir de los cuales fueron creadas, nuestros conceptos, nuestra forma particular de clasificar y rotular el mundo que nos rodea, nos sirven para maximizar nuestra capacidad para comprenderlo y explicarlo". (Greca y Moreira, 2001). La cita anterior que análoga a la cognición con el pensamiento científico, ha cobrado importancia en varios estudiosos de la cognición que admiten que los conceptos se reconocen a partir del rol que desempeñan en el conocimiento que la gente tiene del mundo. Esto es, se los reconoce por el lugar que ocupan en las teorías mentales. (Laurence y Margolis, 1999, p. 44)*

¹³ Un concepto es compuesto o complejo cuando está formado por dos o más conceptos

De esta manera surgen adherentes a lo que se ha dado en llamar la **visión esencialista** de los conceptos. Autores como Medin y Ortony (en Greca y Moreira, 2001) sostienen que las personas actúan como si las cosas tuviesen cierta "esencia" que las hace ser de una determinada manera y no de otra. Según esta postura, los ejemplares que pertenecen a una cierta categoría comparten entre sí características que no se perciben de manera directa. Los rasgos que se comparten pueden ser aspectos vinculados con la anatomía o la fisiología, en el caso de los seres vivos, o la funcionalidad en el caso de artefactos.

Otra visión totalmente diferente a la anterior es la que tiene como principal representante a Jerry Fodor conocida como **atomismo conceptual**. Esta postura tiene el presupuesto básico de que los conceptos son innatos. Es decir, a diferencia de las corrientes anteriores donde se supone que la mayoría de los conceptos son compuestos o complejos, aquí se postula que si se realiza un análisis retrospectivo respecto de cuáles son los elementos constitutivos de unos ciertos conceptos, necesariamente hay que desembocar en que los conceptos son innatos. El problema de tal afirmación está en que se trata de un innatismo radical. En ese caso, faltaría desentrañar cómo es que se establecen las relaciones entre el mundo y la mente, ya que estas relaciones determinan el contenido de los conceptos. (Laurence y Margolis p. 64 en Greca y Moreira, 2001)

Otro enfoque que ha cobrado cierta importancia, especialmente entre los lingüistas, es el **enfoque neoclásico**. Se trata de una visión que contempla parte de los condicionantes propuestos por la teoría clásica. *"Lo que los lingüistas pretenden explicar es el hecho de que, por detrás de la aparente complejidad del lenguaje natural parece existir un sistema de reglas abstractas que podrían dar cuenta de la creatividad del lenguaje. (...) Esta perspectiva neoclásica, entonces, tiene objetivos muy diferentes en relación con los de la visión clásica de los conceptos: la aceptación de condiciones necesarias, en este caso, tiene por finalidad explicar las regularidades del lenguaje, desde el punto de vista léxico. Así la mayoría de los teóricos que están comprometidos con esta línea no están comprometidos con la elaboración de una teoría más completa de los conceptos"*. (op. cit.)

Hasta aquí se han comentado diferentes enfoques con relación a la forma en que los sujetos estarían formando los conceptos que emplean. Se ha dado especial relevancia a la manera en que estaría aconteciendo la formación de "conceptos artificiales" y considerando los procedimientos que se estarían empleando para ello es que, en diferentes momentos, se han planeado las intervenciones didácticas en el aula.

Como se ha dicho en otro lugar, los conceptos, su formación y su aprendizaje han sido abordados en reiteradas oportunidades desde diferentes posiciones: la de los filósofos, la de los psicólogos, la de los didactas. Sin duda, se trata de un aspecto de interés de varias disciplinas. En particular, se hace preciso especificar cómo está siendo comprendida la formación conceptual al momento de diseñar propuestas de enseñanza y de aprendizaje.

Entre los modelos empleados en el diseño de situaciones para la enseñanza y aprendizaje de las ciencias se comentan a continuación las propuestas de Vigotsky y de Ausubel.¹⁴

2.5.4 La formación de conceptos en Vigotsky

Para discutir el modo en el que Vigotsky concibe a la formación conceptual se sintetizan, a continuación, las tesis que varios autores reconocen como definitorias de su teoría socio-histórica. (Wertsch, 1988, Rivière, 1988, Baquero, 1996)

Los procesos psicológicos superiores (PPS) tienen un origen histórico y social. Se trata de procesos que se constituyen en la vida social, son específicos de los seres humanos. Gozan de la característica de controlar voluntariamente las acciones. Dentro de estos PPS, Vigotsky distingue entre los PPS rudimentarios y PPS avanzados. Los primeros se adquieren por todos los miembros de una sociedad y en la vida social "en general". Los PPS avanzados, se adquieren en procesos específicos de socialización, como puede ser durante la escolarización. (Baquero, 1996, p. 34 y 35)

En la constitución de esos procesos, los instrumentos de mediación tienen un rol central. Los instrumentos de la actividad psicológica son los que van a permitir al hombre apropiarse del conocimiento del mundo. Vigotsky considera que el lenguaje es el sistema de signos más importante con el que una persona puede desenvolverse dado que es el instrumento que le ofrece la posibilidad de liberarse de vínculos contextuales.

Los PPS deben abordarse desde una perspectiva genética, es decir desde su constitución. El desarrollo cognitivo que asume Vigotsky surge de la internalización de instrumentos y sistemas de signos producidos culturalmente en procesos sociales. En otras palabras, las funciones mentales superiores se alcanzan por la internalización de las relaciones sociales, previa mediación de instrumentos y signos. Esto pone de manifiesto que para Vigotsky, los procesos de los niños son diferentes de los procesos de los adultos, luego los conceptos de los adultos serán más descontextualizados que los de los niños, que estarán más próximos a las percepciones sensoriales. Vigotsky asume un cambio representacional global que acontece a medida que el sujeto internaliza el lenguaje.

La unidad de análisis de Vigotsky es la palabra. "El significado de la palabra... es la unidad de ambos procesos, (pensamiento y lenguaje) que no admite más descomposición y acerca de la cual no se puede decir qué representa: un fenómeno del lenguaje o del pensamiento." (Vigotsky, 1934: 288-289 en Baquero, 1999). Es decir, será la palabra, el signo mediador para adquirir un cierto concepto. "En la formación de conceptos, ese signo es la palabra que en principio tiene el papel de medio en la formación de un concepto y, posteriormente, se torna su símbolo". (Vigotsky, 1987, p. 48)

¹⁴ Si bien el aporte de J. Piaget ha sido de los más difundidos en la educación, no tuvo, desde el propio Piaget, la intención de explicar lo que sucedía en el aprendizaje escolar. Éste es el motivo por el cual en este trabajo se lo considera desde los referenciales epistemológicos y se reserva para el caso del aprendizaje escolar, a las aportaciones de Vigotsky y de Ausubel.

Lo importante en el desarrollo de los significados de las palabras es la transformación estructural a la que Vigotsky alude del siguiente modo: *“que partiendo de formas inferiores y más primitivas de generalización del pensamiento verbal, llega a formas superiores y de máxima complejidad que encuentran su expresión en los conceptos más abstractos (...) a lo largo del desarrollo histórico de la lengua varía no sólo el contenido de la palabra en cuanto objeto referido, sino también el propio carácter del reflejo y de la generalización de la realidad en la palabra.”* (op.cit. p. 75)

Este comentario tiene que ver con la evolución en el contenido y en la estructura de los significados de las palabras a lo largo del desarrollo subjetivo. En este desarrollo subjetivo se implican funcionalidades diferentes de acuerdo a las “formas de funcionamiento” del pensamiento.

Caracterizó al desarrollo del significado de las palabras ó dicho en otros términos, al **proceso natural de la formación de conceptos** en tres grandes momentos o modalidades: la primera modalidad es el pensamiento sincrético, la segunda, pensamiento en complejos y la tercera pensamiento conceptual.

La primera fase o **pensamiento sincrético** se caracteriza por compilaciones no organizadas de conceptos. El agrupamiento que realizan los niños que son objeto de la investigación, está orientado por criterios subjetivos y casuales. *“Esta etapa es una manifestación del estadio de ensayo y error en el desarrollo del pensamiento. El grupo se crea al azar y cada agregado es una simple conjetura.”* (Vigotsky, 1977, p. 93)

La segunda modalidad es la del **pensamiento en complejos**. Las agrupaciones que realizan son agrupaciones de objetos concretos, sobre la base de una vinculación real entre ellos. Hay superabundancia de conexiones pero ausencia de abstracción. La categorización carece de unidad lógica y de abstracción, las asociaciones son descubiertas a través de la experiencia.

*“La última fase del pensamiento por complejos es la de los **pseudocconceptos**. En esta fase, las generalizaciones de los niños, aunque superficialmente (fenotípicamente) similares a la de los adultos tienen un origen diferente, pues continúan siendo complejos. Así, por ejemplo, consiguen juntar objetos que podrían haber sido agrupados a partir de un concepto abstracto, pero según Vigotsky el análisis experimental muestra que el niño no se orienta por un concepto abstracto sino por semejanza visual concreta, formando un complejo asociativo restringido a un determinado tipo de conexión visual”.* (Greca, 2001)

Es el enlace con el pensamiento conceptual. Puede ocurrir que aún cuando se delimite el mismo objeto que en el caso del pensamiento conceptual lo haga mediante un criterio propio del pensamiento en complejos.

Por último, la tercera modalidad es la del **pensamiento conceptual** o de los "conceptos verdaderos". Se caracteriza por la agrupación de objetos a partir de atributos abstractos. Se trata de la verdadera clasificación categorial de los objetos.

Para el caso de los conceptos científicos, Vigotsky entiende que el proceso de adquisición transita otras variantes, diferentes a las comentadas para la formación natural de conceptos. *“Los conceptos científicos se encuentran en la*

encrucijada de los procesos de desarrollo espontáneo y de aquellos inducidos por la acción pedagógica. Revelan simultáneamente las modalidades de construcción subjetivas y las regulaciones de la cultura. Resultan punto de encuentro de la experiencia cotidiana y de la apropiación de cuerpos sistemáticos de conocimientos". (Baquero, 1999, p. 126-127).

En relación con esta cita es preciso destacar que:

- El punto de partida para la construcción de los conceptos científicos es una definición verbal con relación a un sistema predefinido en el cual ese concepto cobra sentido. Esta es una diferencia notable con los conceptos espontáneos que comienzan desde los referentes concretos. Mientras que los conceptos cotidianos se producen fuera de un cuerpo sistemático y ascienden hacia generalizaciones más abstractas, los conceptos científicos descienden hacia lo concreto o hacia el fenómeno.
- La posibilidad de dominar los conceptos científicos está fuertemente condicionada por la participación de los sujetos en prácticas específicas, como son las escolares.
- Los conceptos científicos se construyen como resultado de la apropiación gradual de formas de conceptualización crecientemente abstractas en colaboración con la ayuda y participación de otro sujeto, como puede ser el caso del docente.

El análisis de la evolución de los conceptos implica analizar cómo varían las estructuras de generalización de los sujetos y cómo varían las relaciones de comunalidad en cada etapa del desarrollo de un sujeto.¹⁵ Establecer relaciones de comunalidad es alcanzar la capacidad de operar con determinados elementos e identificar que comparten ciertos rasgos de manera que es factible colocarlos en un mismo "saco".

La competencia de generalidad responde al carácter sistémico de las disciplinas científicas, esto es, a ordenamientos jerárquicos entre los diferentes conceptos. Sería comparable a la posibilidad de etiquetar a ese "saco" en el que se han reunido un grupo de objetos. La transición entre un estadio y otro, acarrea instancias de continuidad e instancias de ruptura. Alcanzar la fase de generalización no significa anular la fase anterior de comunalidad. Por el contrario, la generalización se realiza sobre objetos que ya se han generalizado anteriormente. Es decir, se trata de una generalización sobre los pensamientos o generalizaciones previas. (op. cit, p. 134).

En síntesis, la formación de conceptos según Vigotsky, se desarrolla a partir de considerar la intervención de tres elementos: los procesos psicológicos superiores, el papel del lenguaje como el mediador por excelencia en las situaciones en que se construye conocimiento (sea cotidiano o científico) y las prácticas sociales en las que el sujeto participa. Con relación a esta última variable, le otorga especial relevancia a la función de la escolarización como el ámbito propicio para desarrollar los procesos de internalización de los sujetos,

¹⁵ Vigotsky diferencia entre *comunalidad* y *generalización*. Captar la comunalidad es lograr aplicar los mismos rasgos a diferentes objetos (mediante la percepción). Eso no significa que se haya alcanzado la generalización que es captar un concepto jerárquicamente superior. (Vigotsky, 1934)

definiendo a la zona de desarrollo próximo (ZDP) como la categoría central para el análisis de las prácticas educativas.¹⁶

2.5.5 La formación y la asimilación de conceptos en Ausubel

El concepto más importante de la teoría de Ausubel es el de aprendizaje significativo. Se trata de un proceso mediante el cual la información nueva se relaciona de manera no arbitraria y sustantiva con un aspecto relevante de la estructura cognitiva del individuo¹⁷. Es decir, nuevos conceptos o ideas pueden ser aprendidos significativamente, cuando otros conceptos e ideas estén disponibles en la estructura cognitiva del estudiante como puntos de anclaje, o conceptos subsumidores, de los primeros. (Moreira, 2000). En ese proceso, la nueva información se relaciona con la ya existente, de manera que la incluye, incorporándola y asimilándola. Al final del proceso ambas informaciones resultan modificadas. Esta modificación se debe, no solamente al hecho de que la nueva información pasa a relacionarse con la ya existente posicionándose en términos de subordinación o supraordenación, sino además, con el componente idiosincrático que toda significación acarrea para un individuo.

Ese aprendizaje significativo puede ser representacional, de conceptos o proposicional. El aprendizaje representacional es el más básico de los tres. Consiste en atribuir significados a ciertos símbolos que habitualmente, son palabras. Debe quedar claro que no es una simple correlación entre un símbolo y un referente, ya que siendo un aprendizaje significativo, el sujeto lo relacionará de manera sustantiva con otros contenidos relevantes en su estructura cognitiva.

Ausubel (1978, p.96) define a los conceptos como "objetos, eventos, situaciones o propiedades que poseen atributos criteriosales comunes y son designados, en una dada cultura, por algún símbolo o signo aceptado". Es importante notar, en la cita anterior, que para hablar del aprendizaje de los conceptos, habrá que tomar en consideración el aprendizaje representacional ya que se admite que esos conceptos se designan por algún signo o símbolo, oportunamente acordado.

Mientras que en el aprendizaje representacional se establece una equivalencia entre un símbolo (el sonido de una cierta palabra) y un referente, en el aprendizaje por conceptos la equivalencia es entre ese símbolo y los atributos criteriosales que son comunes a variados referentes. Por ejemplo el aprendizaje

¹⁶ La ZDP se define como la diferencia entre la capacidad de un sujeto, para resolver un problema de manera independiente y la capacidad potencial que ese mismo sujeto tendría si lo resolviese en colaboración con un compañero más experto.

¹⁷ La noción de información está presentada en un sentido amplio entendiendo por tal a conceptos, ideas, proposiciones.

representacional de "cuchara", para un niño pequeño, significa la asignación del sonido de la palabra "cuchara" a la cuchara que su mamá emplea en darle el alimento. El sonido y ese referente concreto son en sí, la misma cosa. Si este niño adquiere un aprendizaje del concepto "cuchara", estará en condiciones de establecer una equivalencia entre ese símbolo (el sonido de la palabra "cuchara") y cualquier otro objeto que reúna ciertos atributos comunes a diferentes ejemplos del referente. (cucharas más grandes que la que emplea su mamá, cucharas de madera o de metal, cucharas con mangos coloreados, etc.)

El aprendizaje proposicional implica el aprendizaje del significado de ciertas ideas conectadas en forma de proposición. "De un modo general, las palabras combinadas en una oración para constituir una proposición representan conceptos. La tarea, sin embargo, no es aprender el significado de los conceptos (aunque sea pre-requisito) y sí, el significado de las ideas expresadas verbalmente, a través de esos conceptos, bajo la forma de una proposición. O sea, la tarea es aprender el significado que está más allá de la suma de los significados de las palabras o conceptos que componen la proposición". (Moreira, 2000)

Durante los años previos al ingreso a la escolarización la formación de conceptos es consecuencia de las experiencias personales. El niño construye ciertas ideas genéricas a partir de experiencias concretas en las cuales va realizando, entre otros procesos, progresivas discriminaciones, abstracciones, comprobación de hipótesis y generalizaciones. (Ausubel, 1978, p. 91)

Ya en los primeros años de la escuela, los conceptos se adquieren principalmente, a través de un proceso significativo orientado a hipótesis. "Durante los últimos años de la escuela primaria, son necesarios apoyos concretos y empíricos (ejemplos tangibles, perceptibles o verbales de los atributos) para la asimilación de conceptos. Este último proceso ocurre cuando los atributos de criterio del concepto se presentan, por definición o con base en el contexto, y luego se relacionan directamente con la estructura cognoscitiva del alumno (conceptos secundarios). Finalmente, al empezar el período de los estudios secundarios, el alumno puede soslayar estos apoyos al relacionar directamente los atributos de criterio presentados a su estructura cognoscitiva". (op. cit, p. 86)

De la cita anterior queda en evidencia que el proceso de adquisición de conceptos ocurre mediante el proceso de asimilación. Se trata de un proceso según el cual una nueva idea o concepto o proposición, potencialmente significativo, se relaciona con una idea, concepto o proposición que ya estaba establecido en la estructura cognitiva del sujeto. Esta idea nueva queda relacionada, presentándose como un ejemplo, una extensión, o una elaboración de la ya existente. En ese proceso, las dos informaciones, la nueva y la vieja, resultan al final del proceso, modificadas, de manera que el resultado del aprendizaje significativo no es el nuevo significado que ha conseguido "anclarse" sino el significado compuesto que resulta de la interacción entre la idea ancla y la nueva idea. Este nuevo significado reorganizará la estructura cognitiva del sujeto que aprende a partir de procesos de diferenciación

progresiva y reconciliación integradora. En cualquier caso, la adquisición de un concepto nuevo implica una reestructuración de los ya existentes a consecuencia de re combinaciones de los elementos previos. (op.cit, p. 124)

En el caso de niños pequeños la asimilación debe ser apoyada por referentes concretos que les permitan realizar ciertas "inferencias" para reconocer los atributos de criterio que se quieren ejemplificar. En cambio, cuando los niños ya están en la escuela, los conceptos se les presentan como definiciones o se hallan implícitos en el marco del contexto en el que están siendo empleados. Luego, el aprendizaje que tenga lugar, aún cuando sea catalogado como "aprendizaje por recepción" no es simplemente un proceso de absorción pasiva. (op. cit. p. 95)

A modo de síntesis, la formación de conceptos según Ausubel, se alcanza mediante procesos donde se abstraen las características comunes de una cierta clase de objetos, eventos o acontecimientos que varían contextualmente respecto de otros aspectos que no están siendo explorados. Los procesos que participan en la forma más avanzada de la formación de conceptos pueden resumirse según la siguiente secuencia (op. cit. pág. 96-97):

- El análisis discriminativo de diferentes patrones de estímulos;
- La formulación de hipótesis en relación con los elementos comunes abstraídos;
- La comprobación de esas hipótesis en situaciones específicas;
- La designación selectiva entre ellos y una categoría general bajo la cual puedan incluirse con éxito todas las variantes;
- La relación del conjunto de los atributos con ideas de la estructura cognitiva;
- La diferenciación del nuevo concepto respecto de los ya relacionados y previamente aprendidos;
- La generalización de los atributos del nuevo concepto a todos los miembros de la clase;
- La representación del nuevo concepto por medio de un símbolo lingüístico que concuerde con el uso convencional.

La teoría de Ausubel ha tenido, y sigue teniendo, vigencia en los modelos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias a pesar de que el propio Ausubel se ha retirado, hace ya muchos años, a trabajar en psiquiatría abandonando el desarrollo y la aplicación de su teoría a situaciones de enseñanza.

2.5.6 La teoría de los campos conceptuales de Vergnaud

Es una teoría cognitivista que se propone desentrañar el modo en que se genera el conocimiento. El objetivo de la **teoría de los campos conceptuales** de Vergnaud es el de proporcionar un encuadre teórico a las investigaciones sobre actividades cognitivas complejas, en especial referidas a los aprendizajes

científicos y técnicos (Moreira, 2002). Se trata de una teoría psicológica del concepto o, mejor dicho, de la conceptualización del real, que permite estudiar las filiaciones y las rupturas entre los conocimientos desde el punto de vista conceptual. (Vergnaud, 1990, p. 133).

Uno de sus presupuestos básicos es que el conocimiento se constituye y se desenvuelve en el tiempo, en interacción adaptativa del individuo frente a las situaciones que experimenta. El funcionamiento cognitivo de un individuo (niño, adolescente o adulto), cuando se enfrenta a una cierta situación, tiene que ver con los conocimientos que ya dispone y con los aspectos nuevos que esos conocimientos incorporan por estar siendo empleados para abordar una situación diferente. Son esos nuevos aspectos los que colaboran en el desenvolvimiento de competencias más complejas. La teoría de Vergnaud busca colocar en el mismo foco esos dos aspectos: el funcionamiento y el desenvolvimiento cognitivo. (Franchi, 1999, p. 160).

¿Qué significa en el tiempo? Vergnaud argumenta que *“uno de los problemas de la psicología cognitiva es el de reconstruir los conocimientos implícitos en la acción”* (Vergnaud, 1996 b, p. 14). Para dar respuesta a ello, el autor se propone, en sus investigaciones, analizar la evolución de las concepciones y las prácticas de los individuos en diferentes situaciones. De este modo se ocupa de la psicogénesis a corto y a largo plazo. (Franchi, 1999, p.161)

La expresión interacción adaptativa proviene de la influencia notable de las ideas de Piaget que se irán comentando en distintos pasajes de esta presentación. Se trata de una de las ideas más fundamentales de la obra de Piaget quien traslada la idea de evolución adaptativa de las especies al desarrollo del niño, particularmente al pensamiento del niño. *“...una evolución adaptativa de los conocimientos en el niño le permite proponerse como proyecto científico no sólo elaborar y acreditar la tesis según la cual los conocimientos actuales del sujeto proceden de la interacción entre su experiencia y sus conocimientos anteriores (la tesis interaccionista), sino también la que afirma que el conocimiento procede fundamentalmente de la acción sobre el mundo, puesto que es sobre todo mediante la acción como el sujeto pone a prueba sus conocimientos y los modifica (tesis operatoria)”*. (Vergnaud, 1996, p. 196)

Por último una referencia a las situaciones a las que se alude en el párrafo. Si bien más adelante se volverá sobre la noción de situación, se adelanta por ahora que *“nos limitaremos al sentido que le atribuye usualmente el psicólogo, o sea, los procesos cognitivos y las respuestas del sujeto son función de las situaciones con las cuales son confrontados”* (Vergnaud, 1990, p. 50)

Los procesos cognitivos *“son aquellos que organizan la conducta, la representación y la percepción, así como el desenvolvimiento de competencias y de concepciones de un sujeto en el curso de su experiencia”* (Vergnaud, 1995 en Franchi, 1999, p. 156). El conocimiento no es ni teórico ni práctico, el conocimiento tiene que ver con los saberes que se expresan en forma de enunciados y también con los procedimientos o competencias. Vergnaud (1998, p. 173) no admite la separación entre conocimiento declarativo y

procedimental. El saber hacer o el empleo de procedimientos no puede ser vacío de contenido conceptual. No se pueden proponer hipótesis para resolver un problema sin tener en cuenta el contenido conceptual que esa hipótesis conlleva: enunciados y procedimientos son indisolubles.

La Teoría de los Campos Conceptuales permite entonces, analizar cómo se organizan las ideas que los sujetos ya tienen conectadas unas con otras y de qué forma esto genera nuevos conceptos y representaciones a lo largo del tiempo. En estas afirmaciones se advierten los procesos antes mencionados de funcionamiento y desenvolvimiento cognitivo. El funcionamiento cognitivo (unas ideas o nociones, vinculadas a otras) se desenvuelve para hacer frente a una cierta situación tornándose (ese funcionamiento) más poderoso en tanto incorpora aspectos nuevos que le ofrece la situación. Es para destacar la relevancia asignada a los conocimientos previos que ya trae el sujeto para hacerle frente a los problemas que se le presentan. Estos problemas son tanto de índole práctica cuanto teórica. (Vergnaud, 1994, p. 42).

Es una teoría que se ocupa del conocimiento y de cómo se produce ese conocimiento cognitivamente y las respuestas a ello hay que buscarlas en lo que las personas hacen y en la manera en que organizan su conocimiento. *“La teoría de los campos conceptuales supone que el alma del desenvolvimiento cognitivo es la conceptualización”*.(Vergnaud, 1996 a, p. 118, 1998, p. 173)

Las consideraciones previas ponen de relieve que la base para el desarrollo cognitivo es la conceptualización de donde deriva la importancia atribuida al contenido.

Vergnaud va a proponer que la única forma de poder dar evidencias de ciertas dificultades que experimentan los estudiantes es analizando la especificidad de los contenidos del conocimiento sobre los que se están conceptualizando. *“Todas las formas de reduccionismo son peligrosas en la medida, precisamente, en la que la conceptualización del real es específica del contenido y no puede ser reducida ni a operaciones lógicas generales, ni a operaciones puramente lingüísticas, ni a la reproducción social, ni a la emergencia de estructuras innatas, ni en fin al modelo de procesamiento de la información.”* (Vergnaud, 1998, p. 392)

Como se puede apreciar, se trata de una teoría que intenta dar cuenta de la complejidad del proceso de conceptualización y en ese intento se vuelve compleja: *“los conceptos constitutivos de la teoría son complejos, exigiendo mucha lectura y reflexión para su apropiación.”* (Franchi, 1999, p. 156)

Vergnaud reconoce que ha conformado su propuesta, incorporando aportaciones de Piaget, de quien es su discípulo, y de Vigotsky.

De Piaget recupera, además de la noción de que el conocimiento es adaptativo que ya se ha comentado más arriba, el concepto de esquema, sobre el que también esta presentación se explaya más adelante. Se trata de una idea muy potente, que sintetiza la manera en que un sujeto puede representarse una acción haciendo uso de alguna forma de lenguaje. El concepto de esquema es la bisagra entre la representación (que se asume en alguna forma de lenguaje) y la acción.

Esta propuesta supera a la piagetiana en dos aspectos notables:

- a) El sujeto de Vergnaud es un "*sujeto en situación*". Son las situaciones las que constituyen el campo de entrada a un determinado campo conceptual. Es a partir de ellas que podrán estudiarse los procesos de funcionamiento y desenvolvimiento cognitivo.
- b) Se hace referencia explícita al contenido del conocimiento y se preocupa por analizar el dominio conceptual de ese conocimiento. (Franchi, 1999, p. 160). Vergnaud no acuerda con el desarrollo de las "capacidades generales de los sujetos". Por el contrario, considera que solamente conociendo ciertas especificidades de un dominio conceptual se estará en condiciones de proponer situaciones para colaborar en la conceptualización de los individuos. "*Piaget ha demostrado que el conocimiento y la inteligencia se desarrollan a lo largo de un largo período de tiempo, pero él ha hecho esto analizando el desarrollo de los niños en términos de capacidades generales de la inteligencia, principalmente lógicas, sin prestar la suficiente atención a los contenidos específicos del conocimiento. La necesidad de comprender mejor la adquisición y el desarrollo de conocimiento específico y habilidades, en relación con situaciones y problemas, es lo que me ha permitido introducir el marco de campo conceptual.* (Vergnaud, 1983 a, p. 127)

En cuanto a los aportes vigotskianos, se advierte en el planteo un énfasis tanto en el dominio de simbolismos y el lenguaje, como en el rol del docente, como el mediador por excelencia cuya función específica es la de proporcionar las situaciones más oportunas para que los estudiantes puedan poner en juego sus esquemas en la zona de desarrollo próximo. (Vergnaud, 1998, p. 181). La tarea del profesor es ayudar a los estudiantes a desenvolver sus esquemas ofreciendo las situaciones más oportunas. En ese proceso de acomodación el papel del lenguaje es importante.

A los fines de ofrecer un panorama de la teoría de los Campos Conceptuales de Vergnaud, en la página siguiente se presenta un mapa conceptual en el que se relacionan los conceptos claves de la teoría.

El mapa puede comprenderse a partir de identificar la confluencia de dos espacios:

- 1) el ubicado en la mitad superior, donde prevalece la tríada esquema, representación y realidad de evidentes connotaciones piagetianas y
- 2) el que se sitúa en la mitad inferior, formado por otra tríada: mediación¹⁸, realidad y representación que, tanto por el lugar del simbolismo como de la mediación, es más próximo a los aportes vigotskianos..

A continuación se profundiza en el tratamiento de cada uno de ellos.

¹⁸ La palabra mediación ha sido encerrada en un óvalo para denotar que se trata de un término que no forma parte de los conceptos relevantes de la teoría sino que se trata de la función que se le asigna al docente.

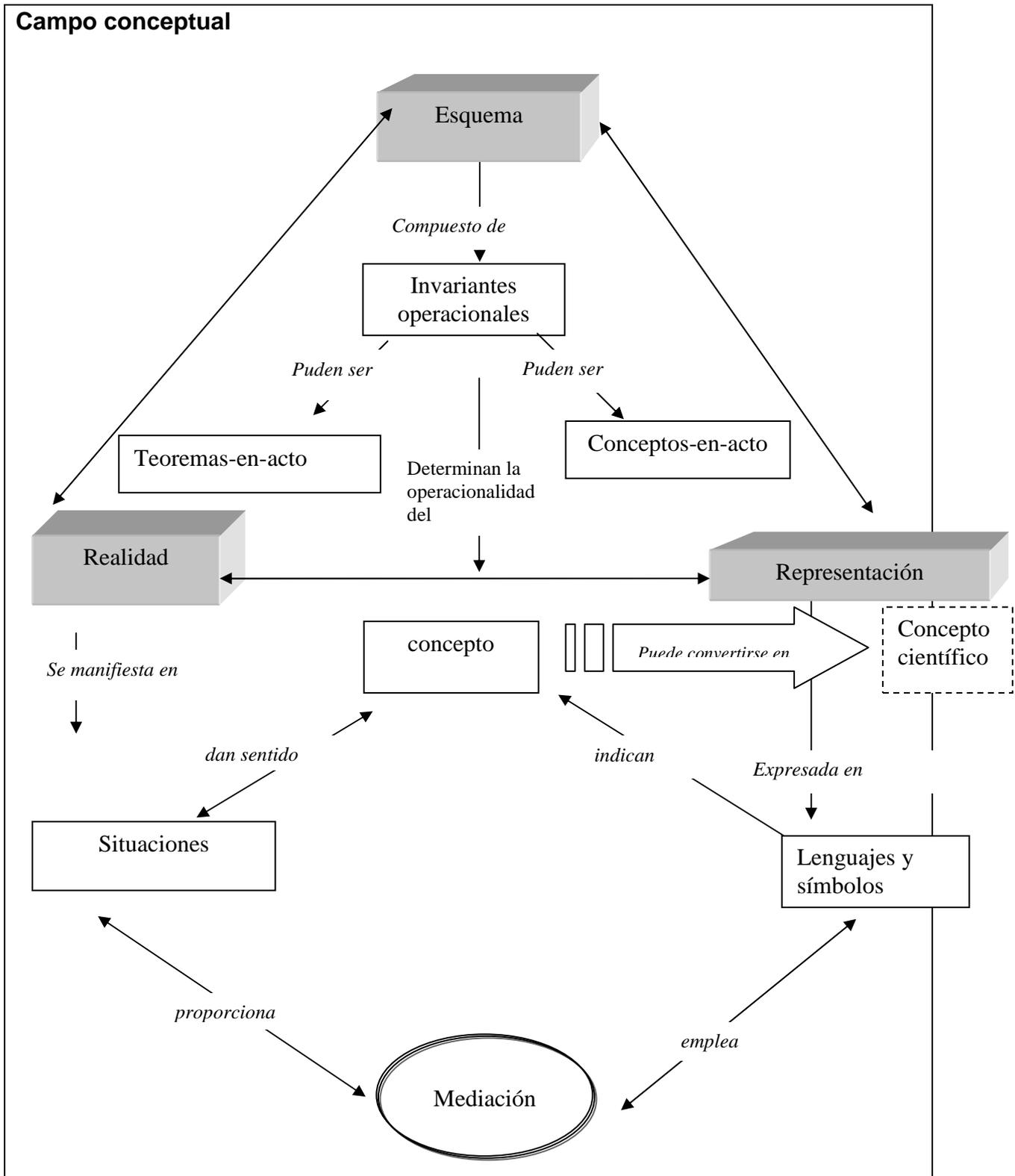


Figura 7: Mapa conceptual sobre la Teoría de los Campos Conceptuales

I La noción de esquema

Respecto del espacio superior, es claro el lugar de jerarquía ocupado por el concepto de esquema. Según este autor, si se admite que la Psicología cognitiva está interesada en teorizar sobre la acción y la actividad el concepto de **esquema** es el más importante de los conceptos de Psicología cognitiva.

El esquema se define como la organización invariante del comportamiento para una cierta clase de situaciones. (Vergnaud, 1990, p. 136; 1994, p. 53; 1998, p.168). Es el articulador o transductor necesario entre el real (que se halla inmerso en un campo conceptual) y la representación¹⁹. Se trata de una totalidad dinámica funcional para interpretar las relaciones entre la acción y el lenguaje.

Esta noción de esquema, que como ya se mencionara, es parte del componente piagetiano de esta teoría deriva, en última instancia, del aporte de Kant recreado por Piaget. Constituyó un esfuerzo teórico por encontrar para la acción un análogo a lo que los representantes de la Gestalt habían propuesto para la percepción²⁰. (Vergnaud, 1987, p.5)

La organización cognitiva de los individuos para interpretar la realidad e interiorizarla está provista de esquemas. Son estructuras flexibles que confieren funcionalidad al desenvolvimiento cognitivo. Son los esquemas los responsables de la posibilidad de adaptación frente a las situaciones con las que se enfrenta un sujeto.

La mayor parte de la actividad cognitiva está hecha de esquemas. (1998, p. 172). Los esquemas forman parte de todos los registros posibles de la conducta, incluidas competencias bien diferentes como los gestos, las actividades intelectuales, la afectividad, las conductas lingüísticas. (1996 c, p. 202). Piénsese para esto en los diferentes “modos” de proceder que tienen los seres humanos: expresiones orales, expresiones escritas, desenvolvimientos sociales, gestuales, etc.

En circunstancias, puede ocurrir que enfrentando a los individuos a situaciones con ciertas características comunes los mismos respondan de manera similar. Por ejemplo al bailar una danza específica como un vals o un tango; al caminar, al correr, hay conductas que se asientan en un repertorio de esquemas que el sujeto ya dispone y que puede evocar sucesivamente o simultáneamente (1990, p. 140). Sin embargo estos esquemas no son estereotipos. Lo que se mantiene invariante no es el comportamiento sino su organización. (Vergnaud, 1998, p. 172). De un modo general puede asumirse que todas las conductas tienen partes automatizadas y partes de decisión consciente.

De manera similar a lo que se describe para los estereotipos hay que decir también que la mayoría de los esquemas no son algoritmos. “*Un algoritmo es*

¹⁹ Más especificaciones sobre el real y la representación se detallan al momento de clarificar la noción de campo conceptual.

²⁰ Véase el apartado referido a los Lineamientos epistemológicos en este mismo capítulo donde se alude a las propuestas de Kant.

una regla efectiva o un set de reglas efectivas para resolver una cierta clase de problemas. Este set de reglas hace posible encontrar una solución a cualquier problema de esa clase en un cierto número de pasos, si es que esa solución existe ó mostrar que no hay solución” (Vergnaud, 1998, p.172). Lo que deja oculto esta definición es el hecho de que la efectividad del algoritmo depende de establecer las relaciones necesarias entre las características de los problemas y el conjunto de reglas que hay que aplicarle. Y esto es algo que depende de cada sujeto en la medida de los conocimientos previos que tiene: de las relaciones que sea capaz de realizar, de las combinaciones entre los conocimientos que ya dispone y la incorporación de los aspectos “nuevos” que propone la actual situación. Luego, el algoritmo es eficaz por sí mismo para una cierta clase de situaciones, el esquema con que se aborde la situación permite la acomodación o no del sujeto. Es decir, si el esquema empleado por el sujeto resulta ineficaz frente a una cierta situación, la experiencia lo lleva a cambiar de esquema o a modificarlo. (1990, p. 138). Después de todo el esquema es el regulador de la adaptación.

Vergnaud (1998, p. 173) sostiene que es posible reconocer cuatro ingredientes que componen los esquemas:

Finalidades y anticipaciones: un esquema está siempre dirigido a situaciones en las cuales el sujeto puede descubrir una posible finalidad de su actividad, o ciertos efectos o ciertos fenómenos que ella envuelve. (1996c, p. 201)

Reglas de acción, búsqueda de la información y control: son reglas del tipo "si ... entonces", son las verdaderas generadoras de los esquemas, las que ponen en marcha la secuencia de acciones.

Invariantes operacionales: son los conocimientos que están contenidos en los esquemas. Constituyen el núcleo conceptual implícito o explícito de los esquemas. Contienen la información que permite inferir las reglas de acción y el objetivo a alcanzar. Se trata de un conocimiento que está en la mente, que es implícito, pero que no será del todo un concepto si el sujeto no es capaz de explicitarlo y desde ese lugar, la posibilidad de analizar la explicitación permitirá construir progresivamente objetos más explicativos. (Vergnaud, 1998, p. 173)

Hay dos grandes clases de invariantes, **los teoremas-en-acto y los conceptos-en-acto**. Los teoremas en acto son proposiciones tenidas como verdaderas sobre el real. Los conceptos en acto, por su parte, son los predicados, las categorías llamadas a ser relevantes para la situación que se presenta. Hay una relación dialéctica entre ambos: los conceptos son parte de los teoremas en acción, pero estos últimos son quienes les dan su contenido a los primeros. *“Los conceptos en acción son los ingredientes necesarios de los teoremas en acción, de la misma manera que las funciones proposicionales y argumentos son los ingredientes necesarios de las proposiciones. Pero los conceptos no son teoremas. No permiten derivación (o inferencia o computación); una derivación requiere proposiciones. Las proposiciones pueden ser verdaderas o falsas; los conceptos pueden ser, sólo relevantes o irrelevantes. Aún no hay proposiciones sin conceptos. Recíprocamente no hay conceptos sin proposiciones, como es la necesidad de derivar la representación del mundo y de tener verdaderas (o al menos más verdaderas) concepciones del mundo que hagan los conceptos necesarios. Un modelo*

computable de conocimiento intuitivo debe comprender conceptos en acción y teoremas en acción como ingredientes esenciales de los esquemas". (1994, p. 55)

Los conceptos-en-acción no son necesariamente conceptos científicos. Se trata de conceptos que resultan relevantes para la situación en que se está inmerso. Es más: puede tratarse de un concepto, de un objeto o de un predicado.

Tanto los conceptos-en-acción como los teoremas-en-acción son los verdaderos generadores de la acción del sujeto. *"EL concepto de teorema-en-acción es la principal herramienta para describir el razonamiento a largo plazo de las competencias de los estudiantes en un campo conceptual dado y trazar filiaciones y rupturas". (Vergnaud, 1988, p. 160).* Como se puede inferir de lo anterior, los teoremas-en-acción son construcciones mentales más complejas que los conceptos-en-acción a quienes incluyen. Serán las reglas de acción las que orientarán la construcción de los teoremas-en-acción.

"Está claro que tales reglas de acción no son teoremas, así como su función no es que sean verdaderas sino apropiadas y eficientes; pero cuentan con teoremas implícitos que yo llamo teoremas-en-acción. Los teoremas-en-acción están dados para ser verdaderas proposiciones, incluso aunque puedan ser totalmente implícitos, parcialmente verdaderos o incluso falsos. Dicen algo acerca del mundo de objetos y acerca de la realidad, mientras que las reglas de acción no. Las reglas de acción son también proposiciones muy a menudo implícitas, e inevitablemente lacónicas. Dicen algo acerca de la conveniencia de las acciones del sujeto, no directamente acerca del mundo de los objetos". (Vergnaud, 1997, p. 14)

Posibilidades de inferencia: son las posibilidades de hacer anticipaciones en función de los invariantes que dispone el sujeto y de las informaciones con que cuenta.

II Realidad / situaciones, representación / lenguajes y símbolos

Antes de avanzar en las especificaciones de cada uno de estos conceptos a la luz de la teoría de los Campos conceptuales, hay que observar que el mapa conceptual de la página 57 es la interpretación personal de la teoría y por lo tanto las asociaciones que allí se hacen tienen supuestos que merecen explicitarse para un mejor aprovechamiento de lo que en adelante se comente.

Los conceptos de esquema, representación y realidad se han destacado porque se apunta a que el lector pueda colocarlos en un plano diferente al que incluye a las nociones: situación, lenguajes y símbolos. Mientras que para los tres primeros el plano está más próximo de dar cuenta de la manera en que Vergnaud ha construido su teoría (plano epistemológico), el plano que incluye al lenguaje y los símbolos, a las situaciones y a los invariantes operacionales es de carácter más "operatorio", es decir nuclea o reúne a los indicadores de esos constructos (esquema, realidad y representación).

¿Cuál es el argumento para hablar de un plano con connotaciones epistemológicas? El propio Vergnaud (1998, p. 167) asume la necesidad de comenzar justificando hablar de la **representación**: *"Hay al menos dos simples e ingenuas razones para considerar a la representación como un elemento importante para los estudios científicos. La primera es que todos*

experimentamos representaciones como un fluido de imágenes internas, gestos y palabras. La segunda es que las palabras y símbolos que usamos para comunicarnos no se refieren directamente a la realidad sino a entidades representadas: objetos, propiedades, relaciones, acciones y construcciones sobre las cuales no hay acuerdo automático entre dos personas". Luego hace falta establecer cuál es el rol de la acción en la representación. Es decir de qué manera los sujetos se representan el mundo físico y social que forman parte de la noción de realidad. Con estas consideraciones es que la representación se concibe como un proceso dinámico, que se apropia de la forma en que se organiza la acción. Es la propia noción de representación la que acarrea, en su carácter dinámico, a la idea de acción. Ésta es una diferencia importante respecto de otros investigadores de la ciencia cognitiva que emplearon términos como razonamiento o concepción y hasta terminaron reduciendo los pensamientos a las reglas de producción. (op. cit, p. 167). Luego el plano que incluye a las nociones de esquema, realidad, representación pondría en evidencia cómo es que los conceptos (que pueden derivar en científicos) tienen su origen en el comienzo de ciertas acciones y representaciones sobre el mundo y hasta podrían guardar una distancia con los mismos conceptos contemporáneos.

La tríada **esquema/representación/realidad** tiene el propósito de sustituir el triángulo de Aristóteles (objeto- representación del objeto- símbolo asociado al objeto) por una teoría más completa. En el caso de la metáfora de Aristóteles la estaticidad del triángulo tiene que ver con la ausencia de la acción del sujeto sobre el objeto de conocimiento. El foco o referente es el propio objeto que tiene su significado en la representación y su significante en el símbolo asociado a ese objeto.

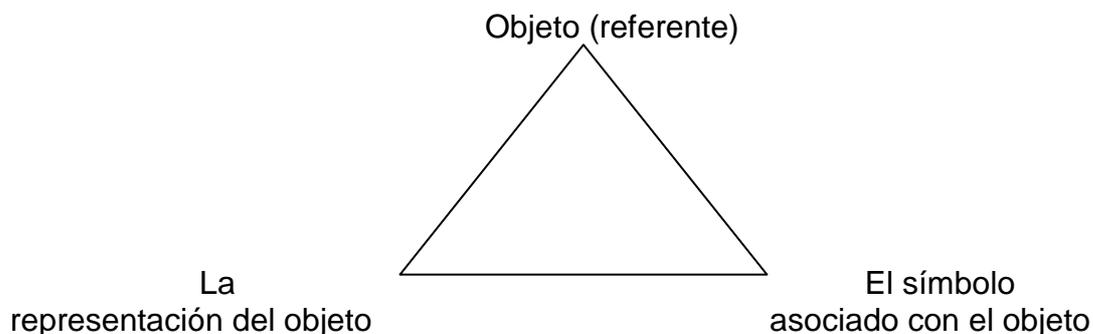


Figura 8: La metáfora del triángulo

La **realidad** se refiere no solamente a objetos sino también a situaciones pero las acciones y los esquemas se refieren a situaciones. (op. cit., p. 167).

¿Cómo se liga en esta propuesta a las situaciones con la realidad y a las representaciones con los símbolos y el lenguaje?

"...el desarrollo cognitivo consiste ante todo y principalmente en el desarrollo de un vasto repertorio de esquemas" (1996 c, p.203)

Para que este desarrollo tenga lugar hace falta proveer a los alumnos de las situaciones más oportunas.

Las **situaciones** a las que el sujeto se enfrenta no hay que entenderlas en el sentido de situaciones didácticas. Se trata más bien de tareas. Toda situación compleja puede ser analizada como una combinación de tareas de las que es importante conocer su naturaleza y las dificultades propias. (1990, p. 149). La dificultad de una tarea no es consecuencia del resultado de adicionar las dificultades de las subtareas que son parte de ella. Sin embargo el desempeño en cada subtarea afecta al desempeño global. (Vergnaud, 1990,p. 3)

"Se puede pensar en situación como un cierto complejo de objetos, propiedades y relaciones en un espacio y tiempo determinado, envolviendo al sujeto y a sus acciones". (Franchi, 1999, p.158).

En esta cita Franchi recrea la idea de situación asociada al sujeto que la enfrenta, actuando sobre ella, en unas determinadas condiciones espacio-temporales.

Vergnaud (1996 a, p. 117) identifica dos características básicas en relación con el sentido de las situaciones: la historia y la variedad. Es decir, en un cierto campo conceptual existe una gran variedad de situaciones y los alumnos conceptualizan en función de las situaciones que se les presentan y que progresivamente dominan. En particular, son de gran importancia las primeras situaciones que se le presentan en relación con los conocimientos y procedimientos que nos interesa que aprendan. Sostiene Vergnaud que muchas de las concepciones de los estudiantes provienen de las primeras situaciones que han enfrentado y han dominado o han intentado modificar.

Luego, hay que asumir que son las situaciones las responsables por el sentido que es atribuido a un cierto concepto. (Barais & Vergnaud, 1990, p.70). No obstante, debe quedar claro que el sentido no está ni en las situaciones ni en el concepto sino en la relación que el sujeto establece con esa situación. Claro que esa relación que el sujeto establece al ser enfrentado a una situación está mediada de esquemas. Serán, entonces, los invariantes operacionales contenidos en los esquemas del sujeto, los responsables por el sentido atribuido a la situación. Pero como ya se anticipó, cada dominio conceptual puede abordarse por infinidad de situaciones, de manera que el sentido de un cierto concepto resulta de los diferentes esquemas que el sujeto es capaz de desenvolver frente a una variedad de situaciones en las cuales ese concepto participa.

Por ejemplo, el sentido de energía para un estudiante es el conjunto de esquemas que él es capaz de poner en juego cuando se encuentra frente a situaciones que envuelven la idea de energía. Esos esquemas pueden tener que ver con expresiones matemáticas que aluden a una cierta forma de energía, con esquemas o diagramas en los que se involucran la energía, con expresiones lingüísticas, etc. Asimismo una situación particular en la que se hagan consideraciones energéticas de un cierto objeto en caída libre, no evoca en el individuo todos los esquemas que dispone en relación con la noción de energía. El sentido de esa situación particular sobre la energía no es el sentido de energía para ese sujeto así como no lo es una fórmula (representación simbólica).

Es interesante en este punto, notar cómo el tratamiento de los diferentes conceptos clave de la teoría de los Campos Conceptuales se organiza de manera sistémica. Esto es, se han expresado en este apartado, consideraciones que justifican la introducción de la noción de **representación**

como un elemento de importancia a la hora de estudiar la conceptualización. Esa aceptación ha llevado a cuestionar qué es lo que un sujeto se representa y con ese criterio se ha hablado de la **realidad** o del real. La diversidad de esa realidad puede comprenderse mejor segmentándola en lo que se ha dado en considerar **situación**. Luego se han establecido relaciones mediante las cuales ha quedado claro que frente a una dada situación, el individuo se acomoda actuando sobre ella en función de los esquemas disponibles.

Ahora bien, que un sujeto, por ejemplo un estudiante frente a la resolución de un problema, sea capaz de hacer frente a una cierta situación, no resulta equivalente a que ese mismo sujeto, consiga expresar en el lenguaje natural qué es lo que ha hecho. Esta apreciación es general y vale también para otras personas que se desenvuelven en diferentes ámbitos. Se comenta antes, en alusión a la tarea de los profesores, que hay mucho de conocimiento estratégico o pragmático en su actuación y que ese conocimiento es básicamente implícito. Por tanto, **palabras y otros símbolos, sentencias y otras expresiones simbólicas**, son instrumentos cognitivos indispensables para la transformación de invariantes operatorios, implícitos, en conceptos y teoremas científicos, explícitos. (Vergnaud, 1990, p. 20)

Este carácter sistémico que ha permitido trazar relaciones entre los conceptos de realidad, representación, situaciones y lenguajes impregna también a las situaciones de clase que esta investigación analiza aunque con características diferentes. En las situaciones de aula, en las cuales, para esta investigación, interesa analizar la conceptualización sobre la interacción a partir de una propuesta didáctica, puede reconocerse un esquema como el siguiente:

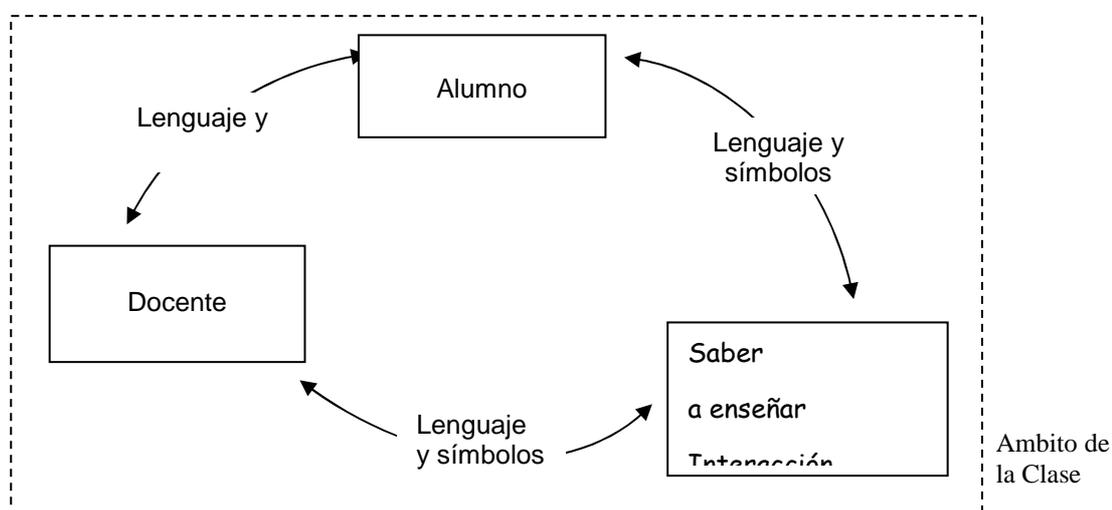


Figura 9: Esquema que vincula los componentes de una situación de aula

Este esquema debería entenderse asumiendo:

- para el docente, las connotaciones que se han explicitado oportunamente cuando se discutieron los lineamientos didácticos;
- para el saber a enseñar, las consideraciones epistemológicas que también ya se han comentado y más especificaciones sobre el mismo se pueden encontrar en el capítulo 5 cuando se presenta la propuesta didáctica

- para el alumno, las especificaciones de carácter psicológico que se vienen desarrollando en este apartado.

En este caso, la sistematicidad resulta de considerar la confluencia de los componentes psicológicos del estudiante, los epistemológicos del contenido a enseñar y los asociados con la práctica del docente. Es importante hacer observaciones respecto de algunos conceptos que cumplen funciones tanto en el plano psicológico cuanto en el didáctico ya que no necesariamente la función es la misma, cosa que no siempre resulta clara. Tal es el caso del concepto de situación. En el plano psicológico, una situación ha sido definida antes en términos de Vergnaud y de Franchi como un constructo que intenta dar cuenta de las relaciones que un sujeto pone en juego cuando se enfrenta a determinados objetos en un espacio y tiempo definidos. Asimismo se ha destacado que esta situación no hay que entenderla en términos de una situación didáctica. No obstante cuando Vergnaud (1998, p. 180) se refiere al rol del profesor sostiene que el acto de mediación del docente consiste en proveer al estudiante de las situaciones más productivas. Estas consideraciones podrían dar lugar a pensar que cuando se diseña una propuesta didáctica como la que se presenta en el capítulo 5 de esta tesis, cada una de las actividades escritas que allí se enuncian constituyen una situación.

En esta investigación la noción de situación se asume en un sentido amplio, formando parte del evento didáctico e involucrando componentes psicológicos. Por evento didáctico se entiende un "recorte" de la clase, una delimitación en el espacio y el tiempo, en el cual estudiantes y docente se abocan a una cierta actividad diseñada, sobre la base de estudios previos y con un propósito definido. Esa actividad que puede estar presentada en lenguaje escrito u oral (un problema o una pregunta) es solamente la intención (escrita u oral) de lo que será la situación. La situación involucra tanto a las acciones que los estudiantes llevan a cabo para hacerle frente cuanto a las intervenciones que el docente realiza, de manera deliberada para colaborar en la conceptualización. La situación, en esta investigación, es aquello que el docente y el estudiante hacen sobre la actividad en un determinado momento de la clase. Como el interés está puesto en la conceptualización que los estudiantes hagan sobre la noción de interacción, el foco del análisis se realiza sobre indicadores de la acción de los estudiantes, pero eso no significa ignorar la intervención del docente. La situación tiene una importante función dentro de la investigación educativa ya que no es ni más ni menos que el espacio en el que se recrean las condiciones de aprendizaje y de enseñanza sobre la base de un cierto plan prefijado. Nótese que se está asumiendo a la situación como un constructo para el proceso de investigación educativa, de manera similar a como un psicólogo haría con los procesos que recrea un paciente.

Según Vergnaud (1990, p. 50) los procesos cognitivos y las respuestas de los sujetos son función de las situaciones con las cuales se enfrenta. Por tanto, la situación es, en sí misma, dinámica. Las palabras, expresiones, gestos que los docentes emplean para referirse al alumnado, accionan el desenvolvimiento de unos ciertos esquemas y no de otros. A su vez, las respuestas de los estudiantes frente a un determinado tema, llevan al docente a realizar determinadas intervenciones en pos del objetivo prefijado. En este proceso de

mediación por parte del docente el lenguaje tiene un papel relevante y en términos de las aspiraciones dentro de una institución educativa, la situación se convierte en el espacio posible de generar aprendizaje significativo. En esas situaciones el lenguaje y los símbolos ocupan un lugar de relevancia. Los profesores usan palabras y oraciones para explicar, hacer preguntas, seleccionar información. Hay mucha información en gestos y expresiones faciales. Pasar desde los invariantes operacionales que pudieran poner en juego los estudiantes para afrontar las situaciones, a palabras y a textos no es simple. Ante todo, se requiere de la práctica del lenguaje natural. Además los sistemas lingüísticos y semióticos no se caracterizan por representar lo que cada individuo tiene en mente, se sabe que hay huecos importantes entre lo que es representado en la mente individual y el significado usual de las palabras (Vergnaud 1998, p.177). Luego, la cuestión del simbolismo es de sumo interés en la conformación de los esquemas.

A modo de síntesis importa destacar que la situación se entiende, en este trabajo, con una doble función: la de generar espacios de enseñanza y aprendizaje y la metodológica, para la investigación educativa con todos los componentes que se han enumerado. Estos dos roles están íntimamente relacionados y son difíciles de diferenciar.

De manera análoga, el lenguaje y los símbolos también desempeñan una doble función. Por una parte, son los mediadores en el proceso de conceptualización y por otra, son los indicadores que en esta tesis (las expresiones orales y las producciones escritas), permitirán dar cuenta de esa conceptualización. Al igual que en el caso del concepto de situación las dos funciones son inseparables.

III Concepto

Vergnaud (1990, p. 145, 1993, p.8) define al concepto como un triplete $C = (S, I, R)$ donde:

S: es el conjunto de situaciones que dan sentido al concepto (la referencia);

I: es el conjunto de invariantes sobre las cuales reposa la operacionalidad del concepto (el significado) y

R: es el conjunto de representaciones simbólicas (formas lingüísticas y no lingüísticas) que pueden ser usadas para indicar o representar los invariantes. (el significante)

Nótese que en el mapa de la página 57 el concepto es justamente la confluencia de estos tres elementos. *El concepto no es una simple definición. Se refiere a un grupo de situaciones y envuelve un grupo de diferentes invariantes operacionales, y sus propiedades pueden ser expresadas por representaciones lingüísticas y simbólicas diferentes.*(1998, p. 177). Será entonces, la intervención deliberada del docente, su **mediación** ofreciendo situaciones, la que puede contribuir a que esos invariantes operacionales evolucionen hacia verdaderos conceptos científicos. Se trata de una tarea prolongada y que no se alcanza de una vez y para siempre, por el contrario, requiere de un trabajo sostenido en el tiempo.

"Una definición pragmática podría considerar a un concepto como un conjunto de invariantes utilizables en la acción, pero esta definición implica también un conjunto de situaciones que constituyen el referente y un conjunto de esquemas puestos en acción por los sujetos en esas situaciones. De ahí, el triplete (S; R; I), donde, en términos psicológicos, S es la realidad e (I; R) la representación que puede ser considerada como dos aspectos integrantes del pensamiento, el significado (I) y el significante (R). (op. cit. p. 141)

Esto pone en evidencia que para estudiar el empleo de un concepto, la manera en que se desenvuelve ese concepto en procesos de aprendizaje como es el interés de esta investigación, hace falta considerar simultáneamente a esos tres elementos que se han mencionado antes: las situaciones, el significado (los invariantes operacionales que se pueden reconocer como aquellos que los sujetos emplean para dominar las situaciones) y el conjunto de representaciones simbólicas para indicar y representar los invariantes.

IV Campos conceptuales

Por último se aborda el concepto de campo conceptual que, en el mapa de la página 61, enmarca a las relaciones que hasta aquí se han comentado.

Para Vergnaud el conocimiento se organiza en campos conceptuales. *Un campo conceptual es un conjunto informal y heterogéneo de problemas, situaciones, conceptos, relaciones, estructuras, contenidos y operaciones de pensamiento, conectados unos con otros y, probablemente, entrelazados durante el proceso de adquisición (1982, p.40)*

Se trata de una unidad de estudio que permite darle sentido a las dificultades en la conceptualización, asumiendo que la conceptualización es la esencia del desenvolvimiento cognitivo.

Dominar un campo conceptual es una tarea sinuosa, prolongada en el tiempo con aciertos y mal entendidos que puede demorar varios años. Esto tiene como correlato que un concepto no se forma con una sola situación a la vez que una situación no se analiza con un único concepto. (Vergnaud, 1983a, p.393). Es importante notar, también, que diferentes campos conceptuales pueden estar relacionados unos con otros aumentando la complejidad de las operaciones de pensamiento requeridas para operar en ellos. Él sostiene que es preciso hacer recortes y en ese sentido los campos conceptuales resultan unidades de estudio fructíferas en relación con la conceptualización. (op. cit, p. 393)

Vergnaud ha estudiado especialmente los campos conceptuales de las estructuras aditivas y multiplicativas en la Matemática (1983b, p.128). Pero él mismo admite que lo que ha desarrollado es válido en otros campos como el de la Biología (1996 a, p.116).

2.5.7 ¿Por qué la teoría de los Campos Conceptuales?

A modo de cierre, se enumeran a continuación, un grupo de aseveraciones (recuperadas de lo ya expuesto) que justifican que esta investigación se enmarque en este referencial psicológico:

- Permite comprender el modo en que se genera el conocimiento entendiéndolo en la doble concepción de saber declarativo ("saber decir") y saber procedimental ("saber hacer").
- Busca dar cuenta del conocimiento que está contenido en las acciones ordinarias identificando las rupturas y las continuidades del conocimiento desde el punto de vista conceptual. En este punto se diferencia de otros autores que han intentado explicar el desenvolvimiento cognitivo en función de estructuras generales de carácter lógico o lingüístico, colocando al contenido como el referente obligado.
- Propone el empleo de la teoría con independencia del estadio de madurez cognitiva en que se encuentran los sujetos que construyen el conocimiento.
- Da cuenta de los registros de las actividades humanas cuando los sujetos se enfrentan a diferentes situaciones.
- Articula los aspectos observables de la actividad de un sujeto (en función de lo que dice y/o escribe) con los elementos mentales de la representación de esa actividad.
- Está concebida (y puesta en práctica) para ser implementada en investigaciones que contemplen el ámbito educativo en toda su complejidad.
- El rol de los profesores, desde esta teoría, es decisivo para colaborar en el desenvolvimiento cognitivo de los estudiantes de manera que cada vez puedan hacerle frente a situaciones más complejas.

En síntesis: *“La teoría del campo conceptual suministra un esqueleto para la comprensión de las relaciones entre situaciones ofrecidas a los estudiantes y las diferentes tareas cognitivas con las que ellos deben tratar, los conceptos en acción que son relevantes para seleccionar la información, los teoremas en acción que son necesarios para computar las reglas adecuadas de acción y expectativas y los diferentes términos y representaciones simbólicas que pueden usarse provechosamente para hacer las estructuras y los procedimientos explícitos en diferentes fases del proceso de aprendizaje de los estudiantes”.* (Vergnaud, 1997, p. 24)

Luego, a la luz de las consideraciones precedentes es posible resignificar el problema planteado en el capítulo 1.

En principio hay que decir que se asume, como meta de la enseñanza de la Física, la búsqueda de un aprendizaje significativo, en este caso para el tema interacción gravitatoria. Para esto se hace preciso diseñar una propuesta didáctica que contemple lo siguiente:

1. conocer cuáles son las ideas que los estudiantes estarían usando para dotar de significado a la interacción e
2. identificar a los contenidos escolares que se esperarían poner en juego en las situaciones de clase. Estos contenidos no son otra cosa que las ideas científicamente consensuadas sobre la interacción. En términos de la teoría de los campos conceptuales, los significados esperables para decidir cuándo el aprendizaje de los estudiantes puede aceptarse como significativo consiste en la identificación de aquellos invariantes operacionales (recuérdese que son ellos los responsables del significado sobre la conceptualización) a los que las situaciones de clase deberían apuntar.
3. poner en práctica y analizar los alcances de las situaciones de clase que tomen en cuenta lo mencionado en 1 y 2.

3

La metodología

3.1 Introducción

Luego de la delimitación del problema y las consecuentes preguntas que éste dejara planteadas en el capítulo 1, en este capítulo se discute el referencial metodológico que ha orientado el proceso seguido en la investigación.

Se sitúa a la investigación en el marco del paradigma cualitativo, particularizando en cuestiones relacionadas con el tipo de investigación, los criterios que orientaron el diseño y la selección de los procedimientos empleados en la recopilación de información. El proceso seguido en el tratamiento de los datos, se detalla de manera pormenorizada en los capítulos 4 y 6 donde se presentan los estudios diagnósticos y los resultados de la implementación de una propuesta didáctica, respectivamente.

3.2 La investigación cualitativa

Para situar a esta investigación en el marco de referenciales cualitativos se comienza este apartado ilustrando la génesis de la investigación cualitativa, para dar paso, luego a las diferentes tradiciones que han primado a lo largo del siglo XX y que son las que actualmente atraviesan a las investigaciones que se enrolan en esta corriente.

Hamilton (1994 en Valles, M. 2000, p. 21-22) se ha ocupado de delimitar algunos aspectos que ponen de relieve el origen de las tradiciones cualitativas insistiendo en que las mismas no surgieron de manera espontánea sino como producto de que los investigadores sociales influenciados de ciertos pensamientos occidentales han conseguido tomar posturas propias y admitiendo también, que no hay un único relato histórico que documente de manera indiscutible esta génesis y el consecuente desarrollo de las metodologías cualitativas en las ciencias sociales.

Esos aspectos pueden resumirse como sigue:

- La obra de Descartes (1596-1650) con su especial importancia hacia el pensamiento matemático, la objetividad y la búsqueda de la verdad se consideran los pilares de la investigación cuantitativa.
- El pensamiento filosófico de Kant (1724-1804) se constituye en una ruptura al objetivismo cartesiano proponiendo un modelo de racionalidad humana en el que la interpretación y la comprensión cobran importancia en el conocimiento. Entre los que adoptan posturas kantianas se destaca Engels (1845) autor de *La Condición de la clase obrera en Inglaterra*, obra en la que aparecen conexiones entre la ciencia social, el cambio social y la emancipación.
- Otro aporte de interés a la conformación de una tradición cualitativa proviene de los aportes de Dilthey (1833-1911) dedicados especialmente a diferenciar los trabajos en ciencias sociales de los realizados en las Ciencias Físicas. Destaca especialmente que en las Ciencias Sociales el interés está en comprender comportamientos de los individuos en contextos sociohistóricos más que explicar un fenómeno a partir de una relación causal.
- En los Estados Unidos y en el Reino Unido, surgen entre finales del siglo XIX y comienzos del XX una gran diversidad de tradiciones (etnografía de la comunicación, interacción simbólica, psicología ecológica, etc.) que comparten la preocupación de estudiar la experiencia vivida por los sujetos atendiendo a diferentes matices.

En el continuo histórico que ha ido conformando el momento actual en el que se encuentra la investigación cualitativa, la síntesis que proponen Denzin y Lincoln (1994) permite encuadrar el desarrollo de esta tradición durante el siglo XX.

<i>Paréntesis cronológico</i>	<i>Denominación del período histórico</i>	<i>Caracterización</i>
(1900-1950)	Tradicional	Positivismo. Epoca del etnógrafo solitario.
(1959-1970)	Modernista o "edad dorada"	Postpositivismo. Análisis cualitativo riguroso: <i>Poys in White</i> (Becker et. al 1961). <i>The Discovery of Grounded Theory</i> (Glaser & Strauss, 1967)
(1970-1986)	Géneros desdibujados (<i>Blurred genres</i>)	Interpretativismo. Geertz (1973, 1983)
(1986-1990)	Crisis de representación	Reflexividad, (auto) crítica, Marcus y Fisher (1986)
(1990-)	Postmoderno	Descubrimiento y redescubrimiento de modos de investigar cualitativos.

Tabla 3: Temporalización histórica de la investigación cualitativa en el siglo XX

El quinto momento o etapa actual de la cronología de Denzin y Lincoln puede resumirse del siguiente modo (op. cit. p. 34):

- a) Los momentos históricos anteriores siguen operando en el momento actual, tanto como un legado de otras tradiciones cuanto como un referente para avanzar "en contra de".
- b) La variedad de estrategias y métodos de análisis es la principal característica del momento actual.
- c) La afirmación anterior trae como consecuencia el hecho de que permanentemente se estén descubriendo modos diferentes de investigaciones cualitativas.
- d) *"El acto de investigación cualitativa no podrá enfocarse nunca más desde una perspectiva positivista, neutra u objetiva. La clase, la raza, el género y la etnicidad conforman el proceso de investigación, haciendo de la investigación un proceso multicultural."*

A modo de síntesis pueden enumerarse un grupo de consideraciones sobre qué cosa es la investigación cualitativa en términos actuales. Tales consideraciones son comunes a diferentes estudiosos de esta temática (Taylor y Bogdan, 1986, p. 20; Miles y Huberman, 1994, p. 7 y 8; Stake, 1995, p. 47) aunque suelen presentarse organizadas en términos de criterios diferentes.

1. El investigador cualitativo intenta captar los datos desde el campo en que se suceden. Es un proceso de empatía con los actores o tópicos de discusión a la vez que de ruptura de sus preconcepciones sobre el asunto.
2. Una tarea fundamental es la de explicar las formas en que las personas comprenden, actúan o narran sus situaciones particulares.
3. Se emplean pocos instrumentos estandarizados. El principal instrumento es el investigador.
4. Para el investigador cualitativo todos los escenarios o personas son dignos de estudio.

5. La investigación cualitativa es holística, contextualizada, orientada al campo, con énfasis en las observaciones de los informantes.

3.3 La investigación de tipo etnográfico y su empleo en las prácticas educativas

EL motivo que orienta a esta investigación a encuadrarse en la línea de tipo etnográfico es que se intentan investigar las acciones y relaciones que configuran la experiencia escolar de un grupo de estudiantes cuando el tema en estudio son las interacciones gravitatorias. Estudiar las acciones y relaciones que se suceden en la experiencia escolar en el propio contexto en el que acontecen (el aula) es una manera de estudiar la cultura de esa aula.

En un trabajo anterior, este investigador ha empleado el abordaje etnográfico para el estudio del discurso que se construye en las clases de ciencia, atendiendo especialmente a las intervenciones del docente. Esa investigación desarrollada en aulas donde se dictaron clases de Tecnología, fue de gran importancia para el aprendizaje sobre el uso de metodologías cualitativas para analizar situaciones de enseñanza y prácticas educativas específicas. Entre otras producciones derivadas de esta investigación, se encuentra *El discurso del profesor de Física: un estudio de tipo etnográfico* (Stipcich y Massa, 2002). Este artículo, reúne una serie de consideraciones acerca del empleo de la etnografía con fines educativos que a continuación se sintetizan por entenderse que son extensivos a la investigación actual.

En principio, hace falta notar que hay diferentes acepciones relacionadas con el concepto de etnografía. Spradley (1979), por ejemplo, sostiene que lo fundamental en un estudio etnográfico es registrar el conocimiento cultural; Gumperz (1981) orienta su atención hacia los patrones de interacción social de una determinada cultura y Lutz (1981), en cambio, se focaliza en el análisis holístico de las sociedades.

"El uso y justificación de la etnografía están marcados por la diversidad antes que por el consenso. Más bien, hay que reconocer diferentes posiciones teóricas o epistemológicas, cada una de las cuales confirma una versión del trabajo etnográfico" (Atkinson y Hammersley et al., 1994).

En un sentido amplio, la etnografía es un esquema de investigación destinado a estudiar la cultura en una sociedad. Los antropólogos, quienes originalmente han desarrollado lo que actualmente se cataloga como diseño etnográfico, entienden que hay dos maneras de referirse a la etnografía:

1. Como el conjunto de ciertas técnicas para recolectar datos vinculados con hábitos, creencias, lenguajes y prácticas de una cierta unidad cultural, y/o
2. Como el relato escrito que resulta de emplear esas técnicas para referirse a ese grupo social.

Cualquiera de estas dos acepciones resulta reduccionista. La primera, porque se circunscribe a un grupo de técnicas y la segunda porque hace lo propio en relación con una narración.

Asumiendo que la etnografía es más que cada una de estas miradas parcializadas, en este trabajo se entiende la etnografía como un modo de

investigación por el que resulta posible obtener información sobre el estilo de vida de una unidad social concreta. Aquí, la unidad es la clase de Física en la que participa un grupo humano durante el tratamiento del tema interacción gravitatoria.

Este modo de investigación se organiza en torno a supuestos, que determinan el empleo de unas ciertas técnicas y métodos para el registro de la información que se recoja y también es el modo el que condiciona la manera de presentar los resultados.

"Cuando hacemos etnografía de una determinada unidad social, estamos intentando construir un esquema teórico que recoja y responda lo más fielmente posible a las percepciones, acciones y normas de juicio de esa unidad social" (Rodríguez, G.; Gil Flores, J.; García Jiménez, E., 1996).

En líneas generales hay acuerdos para emplear estudios etnográficos cuando:

- se desea conocer un cierto fenómeno en profundidad. En este caso, se busca comprender el modo en que los estudiantes estarían asignando significado a la idea de interacción gravitatoria a partir del diseño de una situación didáctica;
- se está más preocupado por el proceso en que se desarrolla el fenómeno que por los resultados que del mismo pudieran derivarse. Se admite aquí, que el modo en que los estudiantes estarían asignando significados tiene relación con el contexto en que se desenvuelve la clase, esto es, con el paso a paso de las acciones que ocurren en el aula;
- se procuran encontrar nuevas hipótesis teóricas, nuevas relaciones o nuevos conceptos sobre un cierto tema;
- se busca retratar el dinamismo de la situación.

Los antropólogos buscan describir los hábitos, prácticas, creencias, lenguajes y significados de un grupo social que caracterizan una cultura. En el caso de los investigadores en educación, lo que se procura es la descripción de cómo sucede un determinado proceso educativo, teniendo en cuenta las relaciones que se dan entre los hechos y los actores. Luego, en la investigación en educación opera una adaptación del diseño de los antropólogos, pertinente con el objeto de estudio. Una escuela, una clase o un grupo de profesores pueden ser unidades sociales educativas posibles de estudiarse etnográficamente. Cuando el estudio se restringe a una unidad social con límites claramente definidos, que presenta interés de por sí, que puede presentar alguna similitud con otras unidades y, al mismo tiempo, diferir por alguna determinada singularidad, se dice que configura un estudio de caso etnográfico. En esta oportunidad el caso etnográfico es el conjunto de clases de Física durante las cuales se desarrolla el tema interacciones gravitatorias a partir de la propuesta didáctica que se presenta en el capítulo 5.

3.4 Algunas características de un estudio de tipo etnográfico

En lo que sigue se reseñan algunas características que los estudiosos del tema, (André, 1998; Lüdke y André; 1986) destacan como ilustrativas de un estudio de caso de tipo etnográfico y se las ejemplifica para esta investigación.

- *Hay un fuerte énfasis por interpretar el fenómeno que se estudia en el contexto en que se desarrolla*

Cada uno de los segmentos discursivos extractados, para identificar las categorías de análisis se resignificó en relación con el resto de la clase de la que ese segmento formaba parte, de manera tal que cobrara sentido en el contexto en el cual había sido producido. Esto acuerda con el modelo discursivo adoptado donde el lenguaje es una realización que se construye y reconstruye en relación con el medio social, que simultáneamente también se modifica.

- *Los estudios de caso buscan mostrar una realidad de forma compleja y profunda*

Se busca que el informe de la investigación pueda plasmar la realidad en la que el observador está inmerso de la manera más acabada, contemplando el máximo posible de variables intervinientes en la situación de estudio.

Por ejemplo, para diseñar la propuesta didáctica se han previsto un grupo de estudios preliminares en los que se contemplan las siguientes variables:

- opiniones de los estudiantes,
- opiniones de los docentes y
- tratamiento que los libros de texto dan al tema interacción.

A su vez, cada una de estas variables se acota en función de consideraciones propias del ámbito en que esta investigación se inserta. Para más detalles sobre qué estudiantes son los que opinan, cómo se han escogido los docentes y los textos puede consultarse el capítulo 4 donde se comentan todas estas consideraciones.

En el caso de la realidad que contextualiza a la implementación de la propuesta didáctica, se ha procedido de manera similar a lo que acaba de comentarse para los estudios preliminares. En el capítulo 5 se han destinado espacios para comentar aspectos vinculados con:

- el desenvolvimiento académico de los estudiantes que serán parte de esta propuesta,
- los contenidos previos que esos alumnos ya han trabajado y
- especificaciones alrededor de la dinámica en que se desenvuelven las clases de Física en ese establecimiento educativo.
- A las consideraciones anteriores hay que agregar lo que este investigador (en tanto docente de ese establecimiento educativo) conoce de la propia "escena" en que se desenvuelve la propuesta. Se entiende que el panorama que acaba de describirse constituye un soporte interesante para comprender *la realidad de forma compleja y profunda*, cuyo análisis se detalla en el capítulo 6.

- *Los estudios de caso usan variadas fuentes de información*

Esta característica está en íntima relación con la mencionada anteriormente. De manera que en un estudio de caso es necesario recorrer una gran variedad

de datos que recolectan información en diferentes momentos y en situaciones diversas. En este trabajo se tomaron datos a partir de:

1. Test implementado con los ingresantes a la Facultad de Ciencias Exactas de la UNICEN de la ciudad de Tandil.
2. Entrevistas mantenidas con los profesores de nivel polimodal que dictan clases de Física en la ciudad de Tandil.
3. Test y entrevistas (a posteriori de la implementación de los tests) mantenidas con los estudiantes de nivel Polimodal del Colegio de la Sierra que aún no habían participado de clases de Física donde se tratara el tema de las interacciones gravitatorias.
4. Los libros de texto de uso más frecuente entre los estudiantes de Polimodal y entre los futuros docentes de Física.
5. Notas de campo y registros en audio de los episodios acontecidos en las aulas durante el tiempo que se desarrolló la propuesta didáctica.²¹
6. Materiales escritos elaborados por los alumnos que formaron parte de la propuesta didáctica.

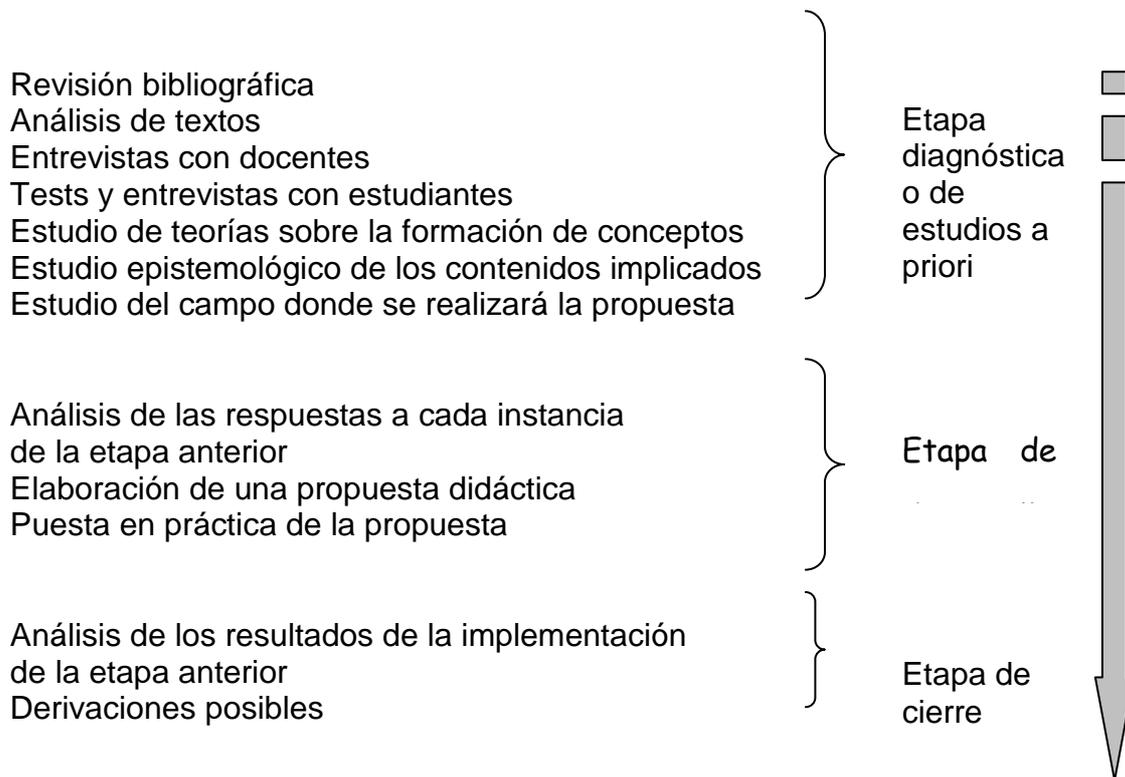
3.5 Las fases en que se desarrolla la investigación

El proceso dinámico que envuelve a una investigación educativa está constituido por un grupo de etapas o fases en las cuales la delimitación entre una y otra resulta ficticia. De manera que bosquejar este proceso no resulta sencillo.

No obstante, se presenta un esquema que intenta mostrar la evolución que esta investigación ha seguido. Debe quedar claro, que este esquema busca situar al lector en los "grandes momentos de la investigación". De allí que se haya propuesto la caracterización por etapas.

Cada etapa o momento reúne un grupo de actividades desarrolladas por el investigador. La secuencia en que se presentan no está ordenada de manera correlativa. Más aún en reiteradas circunstancias, algunas actividades se desenvuelven de manera simultánea. Asimismo, hay actividades de carácter permanente a lo largo de todo el proceso (la revisión de la bibliografía, por ejemplo) y que deberían incluirse en cada fase o etapa.

²¹ En realidad, el investigador ingresó al aula unos quince días antes de comenzar con el desarrollo del tema que le interesaba. Se estimó que, aún cuando no se había desempeñado como profesor de esos alumnos, siendo un docente del mismo Colegio, era tiempo suficiente para familiarizarse con el grupo humano.



Las consideraciones derivadas de cada una de estas fases se informan de distintos capítulos de esta Tesis.

Los aspectos vinculados con criterios para decidir los instrumentos de recolección de datos y el procesamiento de los datos registrados para los estudios a priori se discuten en detalle en el capítulo 4.

En adelante, se comentan los criterios que orientaron el registro de datos durante la implementación de la propuesta didáctica a la vez que las decisiones en torno a la técnica para analizar esa información.

3.6 La recolección de los datos: La observación participante

La observación participante es el procedimiento más empleado en la investigación cualitativa. Se trata de un método interactivo de recogida de la información implicando al observador en los acontecimientos o fenómenos que está observando. Esa implicación supone participar de la vida social y las actividades fundamentales que desarrollan las personas que se observan. (Rodríguez Gómez et. al. 1999 p. 165)

La observación participante tiene, necesariamente, diferencias con la observación común en la que todos los seres humanos se hallan implicados. Köning (1973 en Valles, 2000, p. 143) destaca las siguientes consideraciones para la observación participante como herramienta de la investigación social:

1. El principio de *constancia* en la observación. El mismo apunta a generar condiciones de sistematicidad en aquello que pretende observarse. Para esto, se hará necesario una planificación previa de posibles aspectos a cubrir en el escenario de la investigación.²²
2. El principio de *control del sesgo* del observador. Todo observador debe ser consciente que la observación que realiza está imbuida de sus intereses, referenciales teóricos, aspiraciones, etc.
3. El principio de *la orientación teórica* de los actos de observación científica.

Además de las consideraciones acerca del método de observación participante, se hace necesario diferenciar aquello que hace un observador de lo que hace un experimentador. Mientras que este último accede a la información por vías indirectas (por ejemplo encuestas, documentos, como se han comentado antes para el caso de los estudios previos a la implementación de la propuesta didáctica), el observador necesita insertarse en el contexto natural donde tiene lugar la acción, en este caso, las clases de Física. Esta función del observador social tiene que ver con la búsqueda de un *realismo* y de la *reconstrucción del significado* a partir del punto de vista de los sujetos que son parte del estudio. Claro está que se trata de una cuestión que presenta matices. El hecho de que el investigador sea partícipe de la escena no significa que el realismo que es capaz de describir sea transparente e ideal. (op. cit. p. 144)

Ahora bien, asumiendo la función del observador participante, se vuelve necesario preguntarse ¿qué hace un observador participante de diferente respecto de lo que habitualmente desarrolla como partícipe de la sociedad?. Dicho de otra forma ¿cómo se pasa del rol de observador profano al de observador profesional? Spradley (1980, p.58 en op. cit. p. 150) resume en un cuadro que se reproduce a continuación las características de un participante ordinario en relación con la de un profesional.

<i>Participante ordinario</i>	<i>Observador participante</i>
1. <i>Propósito único</i> : realizar actividades correspondientes a la situación social en la que participa naturalmente.	1. <i>Propósito doble</i> : implicarse en actividades concernientes a la situación social a estudio, y observar a fondo dicha situación.
2. <i>Desatención selectiva</i> : estado de bajar la guardia o de dar las cosas por supuesto.	2. <i>Atención incrementada</i> : estado de mayor alerta.
3. <i>Observación de ángulo cerrado</i> : limitada al propósito inmediato de realización de las actividades corrientes.	3. <i>Observación de ángulo abierto</i> : ampliada por el propósito añadido de estudiar los aspectos culturales tácitos de una situación social.
4. <i>Experiencia desde dentro</i> de la situación, desde la condición de miembro y parte de la escena.	4. <i>Experiencia desde dentro y desde fuera</i> de la escena, desde la doble condición de miembro y extraño.
5. <i>Introspección natural</i> : Uso corriente en la vida cotidiana de la	5. <i>Introspección aplicada</i> : Explotación de la introspección natural como

²² Esto no significa que la eventual aparición de situaciones "no planeadas" deban dejarse fuera de la observación cuando justamente, su ocurrencia inesperada colabora en la explicación de un cierto evento.

<p>experiencia personal para comprender la ajena.</p> <p>6. <i>No registro sistemático</i> de actividades introspecciones, observaciones.</p>	<p>instrumento de investigación social.</p> <p>6. <i>Registro sistemático</i> de actividades introspecciones, observaciones.</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabla 4: Comparación entre los roles de observador participante y participante ordinario

Evidentemente, a juzgar por la caracterización que propone Spradley, el rol de observador profesional no hace más que profundizar en ciertas funciones que ese individuo, probablemente ya desarrolla como miembro de una sociedad particular.

En relación con el *rol* que el observador profesional desempeña en la situación a observar, diferentes autores proponen criterios distintos para ello. Por ejemplo Junker (en op. cit. p. 153) combina el grado de participación del observador con el grado de ocultación o revelación de la actividad de observación. Por su parte, Spradley (1980) alude solamente a los tipos de participación, identificando 5 categorías: no participación, participación pasiva, participación moderada, participación activa y participación completa.

En el caso de esta investigación, la observación participante se ha desarrollado con las siguientes consideraciones:

- El investigador es docente de la institución donde se desarrolla la propuesta desde el año 1998. Participar desarrollando una propuesta didáctica en un ámbito del que ya se "es parte" es interesante. Además de facilitar los accesos al campo, agrega un plus de tranquilidad en cuanto a que se puede volver sobre los informantes con facilidad y hay costumbres propias de esa institución que el investigador ya conoce (como por ejemplo, los vínculos docentes/autoridades; docentes/padres; estudiantes/docentes).
- Los estudiantes que se involucran en la propuesta están informados de la presencia de este investigador en calidad de *observador del desarrollo de las clases de Física* en el tema interacciones gravitatorias. También son conocedores de que no se intervendrá ni en las participaciones del docente ni en las de los alumnos.
- La profesora a cargo de las clases de Física es una colega con la que se viene trabajando, desde hace tres años en diferentes tópicos vinculados a la enseñanza de la Física. De hecho, fue ella la informante clave al momento de determinar los conocimientos previos de los estudiantes, algunas posibles respuestas frente a las actividades que conforman la propuesta, etc.

Si bien este investigador también desarrolla la misma propuesta didáctica en un "curso paralelo" al que se decide observar, es de destacar que la puesta en práctica por otro docente (aún cuando esta investigación no busca establecer generalizaciones) es interesante en varios sentidos. Por una parte, permite al investigador tomar "distancia" (ubicándose en el lugar de observador) de su propuesta didáctica para realizar un análisis crítico de las facilidades o limitaciones que el diseño introduce en la situación concreta de la clase. Por otra, le obliga a establecer una empatía máxima con el modo de trabajo del docente a cargo de la clase. Caso contrario, se

estaría ante la posibilidad de que el diseño no se desarrollara en los términos que ha sido concebido. Por último, que el propio investigador realice su puesta en escena en paralelo es una variable de control para las dos consideraciones previas.

- Los estudiantes que participan de la propuesta no han sido hasta esta fecha, alumnos del investigador. El vínculo estudiante/investigador es el propio de un estudiante y un docente que no es su profesor pero dicta clases en el Colegio al cual él asiste.

Hay que apuntar además, que los estudiantes dieron su autorización para la reproducción de las discusiones orales sostenidas y los trabajos escritos elaborados durante las clases observadas.

Por último, en acuerdo con Valles (op. cit. p. 154) se asume que el investigador que observa es también observado. De manera que aunque no se proponga intervenir, su sola presencia genera indicadores de aceptabilidad, rechazo, etc. Ambos roles pueden ir cambiando en el curso de la interacción que tiene lugar durante el trabajo de campo.

3.7 El registro de los datos

Buscar comprender la forma en que los estudiantes estarían asignando significados a partir de la observación participante que se ha comentado antes, determina la necesidad de registrar las interpretaciones que los alumnos hacen. Estas interpretaciones que involucran los estados internos de los sujetos, pueden inferirse a partir de la mediación del lenguaje en las diferentes participaciones que llevan a cabo en las clases. Luego, se opta por registrar el audio de los discursos orales sostenidos durante las clases a la vez que algunas producciones escritas elaboradas individualmente.

El estudio sobre la conformación del discurso escolar, (Edwards y Mercer, 1987, 1988; Edwards, 1990; Cazden, 1991, Baker-Sennett, Matusov y Rogoff, 1992; Fisher, 1993,) se desarrolla bajo determinados supuestos vinculados con los fenómenos de interés que pueden aportar información acerca de la comprensión de las organizaciones conceptuales que suceden en el transcurso de las clases.

"El estudio de los fenómenos lingüísticos en ámbitos escolares debería orientarse a la búsqueda de soluciones para los problemas docentes. Las formas lingüísticas nos interesan únicamente en la medida en que a través de ellas podemos observar desde dentro de las circunstancias sociales de la clase, y, consecuentemente, la capacidad de asimilación de los alumnos. Y nos interesan los contextos sociales de cognición porque la expresión oral combina lo cognoscitivo y lo social. El currículum real (en oposición al pretendido) consiste en los significados que una clase y un profesor concretos representan o realizan. Para aprender, los estudiantes tienen que valerse de lo que ya saben si quieren encontrarle sentido a lo que el profesor les explica. La expresión oral permite someter a reflexión los procesos mediante los que el alumno relaciona nuevos y antiguos conocimientos, si bien dicha posibilidad

depende de las relaciones sociales y del sistema de comunicación que implante el profesor". (Barnes, 1974 en Cazden, 1991. P. 12)

La noción de comunicación se entiende como un proceso socialmente construido. Esta noción responde al criterio del dualismo funcional de los textos, según el cual se entiende que las dos funciones básicas que cumple un texto son *“transmitir los significados adecuadamente y generar nuevos significados”* Lotman (1989).

Tal como señala Wertsch (1991) las dos funciones anteriores se vinculan a dos modos diferentes de concebir la comunicación. El primero, similar al modelo de transmisión caracterizado por la unidireccionalidad y el supuesto implícito de un mensaje inalterado a lo largo del proceso. El segundo, en cambio, asumiendo que los emisores se ven influenciados por situaciones previas (otros receptores) y futuras y con un mensaje que se genera en el momento preciso en que se está produciendo. Ambas perspectivas son posibles y la prevalencia de una por sobre la otra queda vinculada a los contextos socioculturales.

El discurso se entiende aquí como la significación inherente a toda organización social. Es decir, toda práctica social, es significada de alguna manera cuando los agentes sociales se apropian de ella (Edwards y Potter, 1992). Luego, las prácticas educativas, en tanto prácticas sociales son también discursivas. El lenguaje en su carácter de sistema semiótico constituye una realización del contexto social (que es en sí, a su vez, otro sistema semiótico). Hay una interacción mutua entre ambos, opuesta a cualquier noción unilateral de causa-efecto. Esta caracterización responde a un modelo de discurso sistémico y funcional (Halliday et. al, 1993). Este modelo permite enfocar el discurso en el aula desde dos perspectivas complementarias: la de las representaciones externas de los sujetos en tanto instrumentos que vehiculizan, en parte las representaciones internas y la perspectiva del contexto social en que se desenvuelve ese discurso.

"...la fascinación por el análisis del discurso deriva de la comprensión de que el lenguaje, la acción y el conocimiento son inseparables". (Stubbs, 1983, p. 17).

En síntesis estudiar como se lleva a cabo una interacción social, como es el caso de las prácticas escolares, implica que los sujetos partícipes comparten ciertos conocimientos y suposiciones y también que el lenguaje y la situación son inseparables. *“La interacción, la comunicación es imposible si el hablante y el oyente no comparten ciertos conocimientos y suposiciones. El lenguaje y la situación son inseparables. Juegos, creencias y rituales se establecen con relación a ciertas palabras como parte de la acción, dada una situación de aula... Se pueden alterar o crear situaciones utilizando el lenguaje de distinta forma. Toda elección de palabras crea un microcosmos, universo del discurso, y predice lo que puede ocurrir en ese contexto.”* (Marcelo, 1992)

3.7.1 El análisis de contenido

El tema bajo estudio requiere de un abordaje metodológico que contemple las siguientes dos alternativas:

- realizar una descripción de las dimensiones de análisis de la situación de clase, relevando información que permita captar la totalidad de la configuración, se trata de las dimensiones que dan cuenta del dinamismo de las acciones que se desarrollan en la clase.
- insertar en el marco anterior, las relaciones temáticas que específicamente se buscan identificar.

Esto significa que el análisis atiende a una doble instancia: la dinámica y la sinóptica (Lemke, 1997). La primera de ellas tiene que ver con lo que un evento le significa a quien lo está observando. Es decir, es la apreciación que se hace de lo que se dice y se hace en un determinado momento, en este caso, de la clase de Física. La variante sinóptica es la visión de todas las acciones o discursos que se sucedieron en otro momento y que se “miran” como una secuencia de acciones tendientes hacia un fin.

Para poder llevar adelante un análisis que contemple lo antes comentado se emplea el análisis de contenido. Básicamente, se trata de un conjunto de procedimientos sistemáticos y objetivos que se proponen describir el contenido de los mensajes. Este análisis puede ser el análisis de los significados, es decir, el análisis temático ó el análisis de los significantes. *"Recurrir a estos instrumentos de investigación laboriosa de documentos es situarse en las filas de quienes, de Durkheim a Bourdieu, pasando por Bachelard, quieren decir no a la ilusión de transparencia de los hechos sociales, rechazando o intentando alejar los peligros de la comprensión espontánea"* (Bardin, 1986, p. 21).

Lo que se proponen quienes acuden a las técnicas de este tipo de análisis es la *"inferencia de conocimientos relativos a las condiciones de producción (o eventualmente de recepción), con ayuda de indicadores (cuantitativos o no). El analista es como un arqueólogo. Trabaja a partir de restos: los documentos que pueden encontrar o que pueden suscitar. Pero estos restos son la manifestación de estados, de datos, de fenómenos"*. (op. cit. p. 29)²³

En la cita anterior se advierte que la inferencia puede aludir tanto a los antecedentes del mensaje que se analiza (condiciones de producción) como, aunque menos frecuentemente reconocidas, a las consecuencias o efectos posibles del mensaje en quien lo recibe.

Algunos autores llaman *condiciones de producción* al conjunto de hechos que pueden deducirse lógicamente a partir de ciertos índices especialmente diseñados. Se trata de una expresión ambigua ya que la producción de un cierto mensaje puede venir condicionada por factores vinculados con el sujeto que produce el contenido, con el contexto, etc. En cualquier caso, se relega el lugar de efectuar inferencias sobre la recepción del mensaje.

Actualmente hay acuerdos en que la especificidad del análisis de contenido consiste en la articulación entre las estructuras semánticas o lingüísticas y las estructuras psicológicas o sociológicas de los enunciados. Este es el proceso que lleva a cabo un médico cuando deduce la salud de su paciente como

²³ En el caso de esta investigación los documentos que pueden encontrarse son los documentos escritos, elaborados durante las clases. Los documentos que pueden suscitar son los que devienen de los intercambios orales que se registran en audio.

consecuencia de los síntomas que el mismo presenta. Algo similar ocurre con el análisis de contenido, pero con el agregado de que el procedimiento de análisis es parte del desenvolvimiento habitual y de la comprensión del mensaje. Así, por ejemplo, mientras que un grafólogo puede extraer conclusiones sin preocuparse por el sentido de la página que está leyendo o el arqueólogo puede completar los conocimientos históricos sobre una vasija sin necesidad de beber agua de ella, el analista de contenido está inmerso en un doble esfuerzo:

- Comprender el significado de la comunicación y
- Desplazar su mirada hacia otras significaciones paralelas a la primera, una especie de búsqueda de sentido en segundo grado. (op. cit., p. 31-32)

El análisis de contenido resulta así, en un conjunto de técnicas complementarias que intentan sistematizar el contenido de los mensajes y la expresión de esos contenidos para asistir al analista en la intención de efectuar deducciones vinculadas con los emisores y el contexto en que participan o, eventualmente con los efectos de ese mensaje.

Entre las diferentes técnicas que se cuentan pueden mencionarse: el análisis categorial, el de la evaluación, el de la enunciación, el de la expresión, etc.

En esta investigación se hará empleo del **análisis de la enunciación**. Se trata de una técnica que asume el supuesto de que la comunicación es un proceso, no un dato inmovilizado. En ese proceso comunicativo el discurso se entiende como palabra en acto. Es decir, la producción de un enunciado comporta un proceso en el que se elabora un sentido y se operan transformaciones. No se trata de un discurso acabado. Por el contrario, comporta un momento de un proceso. En ese momento la elaboración es espontánea pero al mismo tiempo forzada por la situación de clase, con lo que eso implica de inconsistencias y falta de conclusiones. En síntesis, se trata de un discurso dinámico, que es consecuencia de un conjunto de transformaciones del pensamiento que opera a diferentes niveles. En la enunciación se busca construir un discurso coherente pero atendiendo a la vez, a las circunstancias en que se produce (Bardin, 1986, p. 132-134). Ha sido especialmente aplicado a entrevistas catalogadas como no directivas. Sin embargo, buena parte de las características de este tipo de entrevista se adecuan a las situaciones de clase que conforman este trabajo, de allí que se entienda su pertinencia.

Entre otras características pueden citarse (op. cit. p. 134):

- *Consideración positiva incondicional*. Se trata de alcanzar una actitud de empatía frente al objeto de estudio (la clase de Física). En particular, siendo que el investigador es también docente del nivel Polimodal en que se desarrolla esta propuesta y tiene a cargo un curso "paralelo" al que es objeto de este estudio, se trata de una característica factible de desarrollar.
- *Sujeta, únicamente, a las consideraciones temáticas*. En este caso, todo el material (registros orales y escritos) que se analizan empleando esta técnica han estado restringidas únicamente por el hecho de que el contenido temático en todos los casos ha sido el de las interacciones gravitatorias.
- *Caracterizada por una forma mínima*. Esto supone que los registros a analizar comporten la dosis justa de autonomía y coherencia como para que

cada clase constituya un conjunto coherentemente organizado. En esta oportunidad "el protocolo base" que orienta a cada clase está formado por las actividades que conforman la propuesta didáctica y que constituyen el hilo conductor del desarrollo de todas las clases. La autonomía está representada por la espontaneidad propia de las intervenciones orales de cada uno de los sujetos de la clase (docente y estudiantes) según la dinámica instalada.

Las cuestiones vinculadas con el procesamiento de la información recogida se pueden encontrar en el capítulo 6 que reúne los resultados de la implementación de la propuesta didáctica.

3.8 Algunas notas acerca de los criterios de confiabilidad de los resultados

Para hablar del rigor metodológico de una investigación hay que remitirse, necesariamente, a tres cuestiones: ¿cómo ha sido diseñada?, ¿cómo ha sido desarrollada? y ¿cuál es la confianza que puede esperarse sobre los resultados alcanzados?. Para responder a las dos primeras cuestiones el investigador puede aportar su opinión a la vez que fundamentar las tomas de decisiones y elecciones parciales durante el proceso. No obstante, la opinión de otros miembros de la comunidad científica será la que mejor podrá analizar (en función de lo que el informe de la investigación exprese) la coherencia entre las pautas de diseño y de actuación.

Para decidir acerca de la confianza sobre los resultados obtenidos los investigadores cualitativos han adoptado posturas diversas. Hammersley (citado por Valles, 2001, p. 101-102) identifica tres posiciones al respecto:

- La de quienes intentan extender los criterios de la investigación cuantitativa a la cualitativa. Se trata de los seguidores de trabajos desarrollados básicamente por Campbell quien, tomando como modelo a la investigación lógica experimental, intenta responder a las cuestiones vinculadas con la validez y fiabilidad de los diseños de investigación cualitativa. Un ejemplo de investigación que se enrola bajo estas consideraciones es el trabajo de Kirk Miller (1986).
- La de quienes sostienen que los criterios de los investigadores cuantitativos deben redefinirse para ser empleados en las investigaciones cualitativas. Hammersley piensa que en este grupo se encuentra la mayoría de los investigadores cualitativos aunque también asume que no hay acuerdos acerca de los estándares evaluativos en esta línea. Ejemplo de trabajos que buscan definir sus propios criterios son el de Lincoln y Guba (1985).
- La de aquellos que rechazan todo tipo de criterios debido a la naturaleza propia de la investigación cualitativa. Por ejemplo Smith (1984).

Obviando las posturas extremas como la tercera, entre las anteriormente comentadas, queda claro que las consideraciones metodológicas son una exigencia de cualquier acto de investigación y, más aún, que hay una coincidencia entre los investigadores como es reconocer que hay que mejorar los estándares de calidad en la investigación social.

Entre los criterios alternativos, autores como Erickson (1989) sostienen que la clave para decidir la calidad de una investigación cualitativa está en el modo en que ésta es narrada y en las evidencias que se encuentran para apoyar la autenticidad de aquello que se narra. (Rodríguez Gomez et. al, 1999, p. 286)

Erlandson y otros (1993) proponen tres grupos de criterios para decidir la calidad de los estudios cualitativos:

- 1) Criterios de confiabilidad
- 2) Criterios de autenticidad
- 3) Criterios éticos

Entre las recomendaciones que se incluyen en el grupo de los criterios de confiabilidad aparecen las nociones de *transferibilidad* y *confiabilidad* que más adelante se detallan.

Los criterios de autenticidad y éticos no se vinculan tanto con la adecuación metodológica como en el caso de la confiabilidad. Atienden a la capacidad del investigador para renegociar las relaciones personales de manera de poder captar la pluralidad de realidades que conviven en el contexto que observa. Se trata de una doble dimensión: por una parte, el investigador se vuelve confiable como para recibir los aportes de los diferentes subgrupos que conforman la población estudiada de manera que sus miembros le autorizan o le otorgan el consentimiento de reproducir discusiones, producciones, etc, pero a la vez, por otro lado, esperan de él estándares habituales de privacidad y confidencialidad. Es en este sentido que se trata de una renegociación dinámica, que acontece en el paso a paso de la investigación.

La noción de *credibilidad* tiene que ver con la instrumentación de un conjunto de recursos que el investigador emplea para dotar de confianza a sus hallazgos.

Entre esos recursos técnicos pueden citarse:

- *La presencia prolongada en el campo:* en este caso, la participación en todas las clases de Física en que se desarrolla la propuesta didáctica, además del conocimiento previo que el investigador tiene de la población, facilita la comprensión de aquello que es esencial pudiendo diferenciarlo de lo meramente anecdótico para ajustar las categorías de análisis a la realidad escolar que se busca describir.
- *La triangulación:* es un procedimiento muy difundido mediante el cual se contrastan datos e interpretaciones empleando diferentes fuentes de datos, las opiniones de varios investigadores y/o el empleo de distintas metodologías. En este caso, se han empleado las siguientes triangulaciones:
 - de investigadores: para el diseño de la encuesta (ver capítulo 4) aplicada a los ingresantes y con ciertas modificaciones a los estudiantes de polimodal se procede con la colaboración de cinco investigadores. De manera análoga ocurre para la conformación de las categorías de análisis de los discursos de clases. Dos investigadores por separado validan el contenido de las categorías de la enunciación propiamente dicha que pueden consultarse en el capítulo 6. En este mismo sentido es importante destacar que una vez finalizada la etapa de análisis de los datos, se llevaron a cabo

comprobaciones con la profesora del curso como una instancia que colaborara en aumentar la credibilidad de los resultados. Se trata de la estrategia que Lincoln y Guba (1985) denominan establecimiento de adecuación referencial.

de datos: la información que determina cuáles son las construcciones que realizan los estudiantes se recopila a partir de registros orales, de producciones escritas y de notas de campo tomadas durante la observación participante.

La idea de transferibilidad se asocia a la posibilidad de aplicar los resultados de la investigación en otros contextos. Si bien no se busca la generalización porque tratándose de estudios etnográficos el carácter del contexto es único e irrepetible, cabe la posibilidad de que haya algún tipo de transferencia si es que esta se encuadra en los condicionantes propios del nuevo contexto en que se busca insertarla. En el caso de esta investigación el primer intento de transferibilidad está dado por el hecho de que la propuesta didáctica se ha replicado en dos cursos paralelos. Uno de los cursos estuvo a cargo del investigador (cuyos resultados se toman como base para el diseño de las categorías de la enunciación) y el otro a cargo de otra profesora. Este último, resulta ser el curso seleccionado (muestreo deliberado) para esta investigación ya que tratándose de cursos paralelos dentro de un mismo establecimiento educativo y con estándares académicos y sociales similares (entre los estudiantes) facilita la transferencia de hipótesis de trabajo.

Finalmente, para juzgar las posibilidades de transferibilidad de esta investigación podrán consultarse las minuciosas narraciones de los capítulos 5 y 6, básicamente.

4

Resultados preliminares

4.1 Introducción

En este capítulo se detalla el proceso seguido para llevar a cabo, un grupo de estudios diagnósticos. Los mismos se realizaron para recabar información con miras al diseño e implementación de una propuesta didáctica entre estudiantes de Primer año Polimodal. Tales estudios se han focalizado en tres de los elementos que forman parte de una situación de clase: los alumnos, los docentes y los textos. Para obtener información acerca de las ideas de los alumnos sobre la interacción gravitatoria, se discuten los criterios para la elaboración de un test y los resultados que el mismo arrojó cuando fue aplicado a estudiantes que se disponían a ingresar a carreras de la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. El mismo test se aplica a estudiantes

de Primer año de Polimodal con las necesarias modificaciones que el cambio de población supone.

La intención de describir la manera en que los estudiantes se representan el concepto de interacción no puede dejar de lado la variable de la intervención docente. Él opera activamente en la cadena de sucesivas transposiciones que sufre el conocimiento científico desde los estratos más eruditos, por considerar un límite. Para recabar las opiniones de los docentes alrededor de la noción de interacción se elabora y pone en práctica un grupo de cuestiones que conforman un protocolo lo suficientemente flexible de implementar entre colegas respecto del tema de interés.

Para averiguar qué es lo que los textos presentan sobre la interacción se analizan los universitarios más citados en las Físicas básicas y los de nivel preuniversitario que los docentes manifiestan emplear con mayor frecuencia para preparar sus clases o como material que recomendarían a sus alumnos.

Este estudio diagnóstico desemboca, al final del capítulo en el enunciado de un conjunto de lineamientos que estructurarán el diseño de la propuesta didáctica, a los fines de colaborar en la evolución de las conceptualizaciones de los estudiantes.

4.2 Los textos²⁴

Siendo los libros de texto uno de los recursos que más se emplea en la elaboración de los currículos, es de interés analizar cuál es el lugar que desde ellos se asigna al concepto de interacción.

Se acepta para esto, que las producciones de los estudiantes (a partir de las cuales se inferirán sus representaciones) estarán influenciadas, entre otros factores, por resultados de la enseñanza previa que han recibido los alumnos. Estas consideraciones orientaron a indagar sobre posibles materiales de trabajo que habrían consultado los docentes responsables de la educación científica de estos estudiantes de polimodal. Este proceso condujo hacia los textos universitarios (los libros de base en la formación de los docentes) y los textos de polimodal vigentes en la práctica educativa actual.

4.2.1 Las fuentes de datos

Se han analizado los textos que se emplean en el ámbito universitario básico y textos para ser usados en polimodal. Para seleccionar los primeros, se recurre a los recomendados (en el apartado bibliografía) por las cátedras de las Físicas básicas de la UNICEN (Universidad Nacional del Centro), por tratarse del centro de formación del que proviene la mayoría de los docentes en ejercicio en la ciudad

²⁴ Stipcich, M. S. y Moreira, M. A (2001) *El tratamiento del concepto de interacción en textos de polimodal y universitarios*. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências Vol. 1, jan/abril. La publicación es una versión reducida de lo que aquí se presenta sobre los textos.

en la que se llevará a cabo el estudio. Las Físicas Básicas contemplan contenidos vinculados con los siguientes tres ejes: Mecánica, Electricidad y Magnetismo.

El criterio para la selección de los textos del nivel polimodal atiende a aquéllos que los docentes en ejercicio manifiestan utilizar más frecuentemente. Los años de docencia en las cátedras de Didáctica de Física y Práctica de la Física (correspondientes al Profesorado en Matemática y Física de la UNICEN) es un antecedente importante por cuanto aporta, para este estudio, un conocimiento de la población docente de la ciudad y, consecuentemente, el rápido acceso para la consulta personal. En términos de Samaja (1993) genera una información que contribuye al empleo de criterios sustantivos para decidir acerca de las muestras de los objetos que conforman el estudio, en este caso, los libros de texto que los docentes manifiestan emplear con mayor frecuencia.

4.2.2 Tratamiento de los datos

Se trata de un análisis acerca del contenido que los textos presentan sobre la interacción. Para llevar a cabo el análisis se procede definiendo a priori, algunas categorías para el abordaje de los textos. La definición de tales categorías ha estado guiada por los condicionantes teóricos presentados anteriormente. La definición de categorías a priori no obstaculiza la redefinición, supresión o integración de las mismas sobre la marcha del proceso de análisis (Dey, I. 1993).

Se parte de rastrear la importancia que los textos asignan a la interacción de manera de poder describir tendencias acerca de cómo se trata el tema, siendo esta última una de las finalidades propias del análisis de contenido (Hernández Sampieri et. al, 1991). Se estima que algunos indicadores acerca de la importancia que puede adjudicarse a un determinado fenómeno tendrán relación con factores tales como:

- a) La recurrencia con la que el concepto se trabaja a lo largo del texto.
- b) Las relaciones en las que el concepto aparece involucrado.
- c) El estilo de tratamiento que se le da al concepto.

Estos factores se comentan a continuación

- a) La recurrencia con la que el concepto se trabaja a lo largo del texto.

Se entiende que si un concepto resulta de importancia para destacar dentro del entramado de la estructura conceptual de una disciplina será necesario acudir a él desde diferentes tópicos de la ciencia de manera de contribuir a la doble tarea de jerarquizarlo y diferenciarlo mediante sucesivas reestructuraciones teóricas. Más aún, se esperaría encontrar una presentación desde capítulos introductorios que se retomara en los que le siguen por delante.

Bajo estas consideraciones se proponen las tres categorías que siguen como representativas de la ubicación del concepto a lo largo de un mismo texto.²⁵

- Ubicación del concepto en el capítulo introductorio (UIN).
- Ubicación del concepto en capítulo/s que no es/son el introductorio (UNI).
- Ubicación del concepto en más de un capítulo (UEM)

b) Las relaciones en las que el concepto aparece involucrado.

Un concepto estructurador dentro de una disciplina ofrecerá la posibilidad de reinterpretar a otros fenómenos de la misma disciplina o de disciplinas afines. Las categorías que se definen para dar cuenta de esta posibilidad son las siguientes:

- Relación del concepto con otros conceptos dentro de la misma disciplina (RMD): se contemplan aquí los comentarios que dan cuenta de cómo la noción de interacción es abordada en diferentes capítulos de la obra.
- Relación del concepto con conceptos/tópicos de otra/s disciplina/s (ROD): alude a los vínculos que se presentan con disciplinas afines.

c) El estilo de tratamiento que se le da al concepto.

Este factor es de índole netamente procedimental y si bien no puede considerarse -en un sentido estricto- independiente de los dos anteriores, apunta al modo que el texto se refiere al concepto. Las categorías que se definen en este caso son:

- Abordaje por medio de ecuaciones: se asocian ecuaciones, que pueden presentarse de diferentes maneras:
Ecuaciones “algebraicas” (EAL)
Ecuaciones diferenciales (EDI)
- Abordaje por medio de imágenes: se incluyen imágenes que intentan dar cuenta de una interacción. Las ilustraciones pueden ser:
Basadas en elementos figurativos (IFI): todos los elementos se pueden considerar como figurativos, se representan objetos “reales” interactuando entre sí.
Basadas en elementos simbólicos (ISI): se muestran magnitudes o idealizaciones mediante signos arbitrarios.
Mixtas (IMI): contiene objetos y agentes figurativos pero se le superponen elementos simbólicos.
- Abordaje según el estilo con que se atiende al tema
Por comparación (COM): se hace explícita una comparación a modo de analogía entre conceptos/temas.
Por referencia (REF): se alude al concepto presentando una cita o comentario breve.

²⁵ Las siglas entre paréntesis se emplean como identificatorias de cada categoría asociándola con el contenido de texto que responde a cada una de ellas.

Es importante hacer notar, antes de pasar a los resultados propiamente dichos, cómo la enunciación de tres factores que podrían brindar alguna información acerca del lugar que se otorga a la interacción desde los textos, ha llevado a “desgranar” a ese factor en elementos más simples de identificar en un determinado segmento del texto. Empleando términos de corte metodológico se diría que se está en presencia de categorías para esos indicadores (que se estiman descriptores) y de metacategorías que las nuclean. Se entiende por metacategoría a un rubro que reúne a un grupo de categorías que responden a una temática común, por ejemplo la ubicación del concepto a lo largo del texto. Las categorías que pertenecen a diferentes metacategorías no son excluyentes. Esto significa que un segmento de texto bien puede identificarse con más de una sigla.

4.2.3 Textos universitarios

Para facilitar la lectura de los resultados se los presenta en forma de tabla, donde en las columnas se han colocado las categorías empleadas en el análisis y en las filas los diferentes textos consultados. A su vez, aquellas categorías que forman parte de una metacategoría se presentan agrupadas bajo el nombre asignado a la misma.

La pretensión del análisis de los textos es identificar la presencia de algunos elementos que se estiman posibles de brindar información respecto de la importancia que tiene el tema interacción en ese libro. De manera que se registra sólo la presencia o no de cada categoría a lo largo del texto; en este estudio no interesa registrar la frecuencia para cada categoría dentro de un mismo texto.

TEX TO	UBICACIÓN			RELACIÓN C/ OTROS CONCEPTOS		ABORDAJE						
						<i>Ecuaciones</i>		<i>Imágenes</i>			<i>Estilo</i>	
	UIN	UNI	UEM	RMD	ROD	EAL	EDI	IFI	ISI	IMI	COM	REF
1	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	NO	No	Sí	Sí	
2	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	No	No	No	Sí	
3	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	No	Sí	Sí	
4	No	Sí	No	No	No	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	
5	No	Sí	Sí	Sí	No	Sí	No	No	No	Sí	Sí	
6	No	Sí	No	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí	No	No	
7	No	No	No	No	No	Sí	Sí	No	No	No	Sí	
8	Sí	No	Sí	Sí	No	Sí	No	No	Sí	Sí	Sí	

Tabla 5: Las categorías de análisis para los textos universitarios

Antes de pasar a mostrar algunos ejemplos de cómo se ha llevado a cabo la asignación a una categoría se presentan algunas consideraciones:

1. La categoría REF ha sido eliminada dentro de las alternativas para el análisis por no reunir la calidad de excluyente respecto de COM. Dicho de otra manera: en algunos casos, la comparación entre dos formas de interacción, por ejemplo, gravitatoria y electrostática, se lleva a cabo por una simple referencia del estilo: *"Si bien la analogía entre el campo eléctrico y el gravitatorio son enormes, hay algo que los distingue apreciablemente: mientras que el campo gravitatorio que genera una masa es siempre atractivo, el campo eléctrico que genera una carga puede ser atractivo o repulsivo."*
2. La categoría ROD ha resultado difícil de identificar puesto que se desdibujan los límites entre el campo de estudio de la Física y otras disciplinas afines como es el caso de la Química. Concretamente, los segmentos seleccionados para la misma corresponden al tema Fuerzas intermoleculares donde los aportes de uno y otro campo se superponen.

Ejemplos para algunas de las categorías

Se presentan a continuación extractos de los textos analizados que ponen en evidencia cómo se ha llevado a cabo la asociación a diferentes categorías.

UIN: Ubicación del concepto en el capítulo introductorio

" la física es una ciencia cuyo objetivo es el estudio de los componentes de la materia y sus interacciones. En términos de tales componentes e interacciones, el científico intenta explicar las propiedades generales de la materia, así como los demás fenómenos naturales que observamos". (Página 2 de la Introducción al texto Física, Alonso-Finn, 1995).

UNI: Ubicación del concepto en capítulo/s que no es/son el introductorio

"La mayor parte de las fuerzas cotidianas que observamos entre objetos macroscópicos, por ejemplo: fuerzas de contacto y de rozamiento, así como las fuerzas ejercidas por muelles y cuerdas, son manifestaciones complicadas de las interacciones básicas electromagnéticas." (Página 161 del capítulo 6 del texto Física, volumen I, Tipler, 1978). En este texto esta es la primera alusión al concepto de interacción.

RMD y COM: Relación del concepto con otros conceptos dentro de la misma disciplina.

Se hace explícita una comparación a modo de analogía entre conceptos/temas.

" Como hemos visto en el ejemplo, la fuerza gravitatoria entre dos partículas elementales es tan pequeña comparada con la fuerza eléctrica entre ambas (siempre que estén cargadas), que puede despreciarse al describir sus interacciones. Gracias a que las grandes masas, como la Tierra, contienen casi exactamente el mismo número de cargas positivas y negativas, la fuerza gravitatoria es importante. Si las cargas eléctricas de estos cuerpos no se

cancelasen exactamente, las fuerzas eléctricas entre ellos sería mucho mayor que las fuerzas gravitatorias". (Página 605 del texto Física, volumen II, Tipler, 1996).

ROD: Relación del concepto con conceptos/tópicos de otra/s disciplina/s

" Hay otros tipos de enlaces moleculares, por ejemplo, enlaces metálicos, responsables, por ejemplo, del enlace atómico en una pieza sólida de cobre. En general, todas las fuerzas que actúan entre átomos y moléculas son manifestaciones complejas de la interacción electromagnética básica, y sus detalles sólo pueden comprenderse dentro de la estructura de la mecánica cuántica. (Página 171 del texto Física, volumen I, Tipler, 1978).

IMI: Contiene objetos y agentes figurativos pero se le superponen elementos simbólicos.

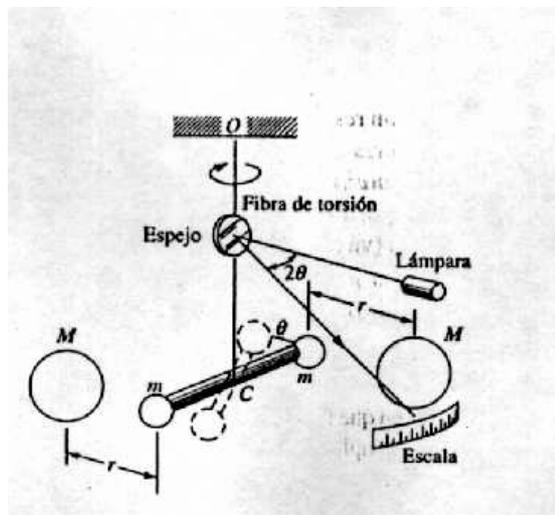


Figura 10: Tomada de la página 200 de Física, Alonso-Finn, 1995

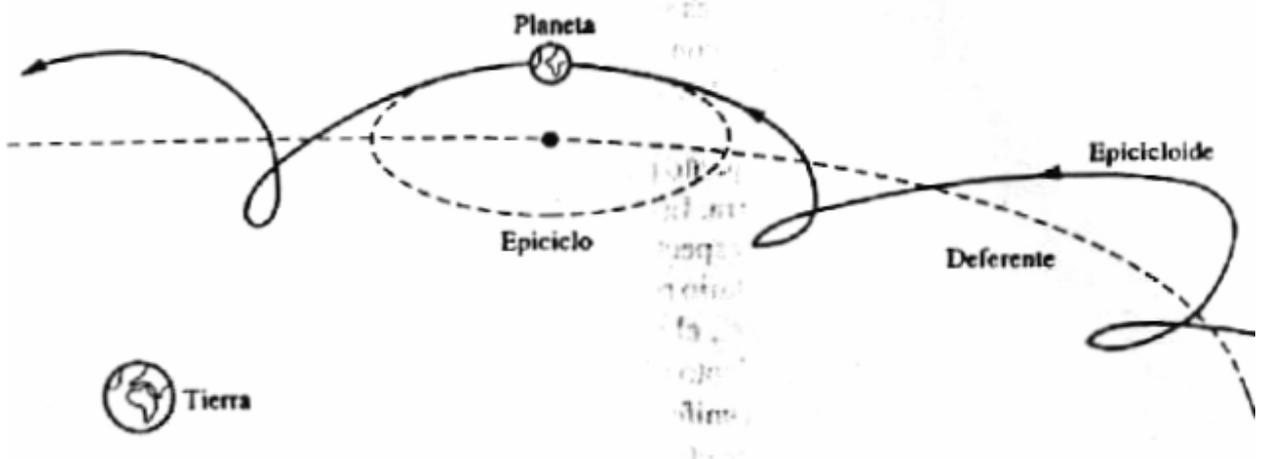


Figura 11: Tomada de la página 203 de Física, Alonso-Finn, 1995

En cualquiera de las dos imágenes anteriores se asigna a objetos reales un carácter figurado para el esquema y algunos códigos que son símbolos que se adoptan para la representación. Entre los objetos "reales" se puede citar a la Tierra, un cierto planeta, un espejo, una lámpara y entre los símbolos la epicloide que se corresponde con la trayectoria del planeta y una cierta flecha en posición de girar en sentido horario.

Del análisis de la tabla en que se presentan los resultados, hay que observar que:

- La mayoría de los textos analizados ubican a la interacción en capítulos que no son el de introducción a la obra en cuestión. Esta observación habla de *un modo de ver* la Física diferente al que supone comprenderla como el estudio de las interacciones, tal como muestra la cita que ejemplifica la categoría UIN. Esos mismos textos que no presentan la interacción en el capítulo introductorio, recurren al tema en más de una oportunidad a lo largo del desarrollo del mismo. Tal es el caso del texto 3 en el cual, la primera vez que se habla de la interacción es en el capítulo 6, dedicado a las fuerzas en la naturaleza, para ser retomado en el capítulo 16 cuando el tema es Gravedad. En esta oportunidad el tratamiento que puede advertirse es con independencia entre los desarrollos de uno y otro capítulo. A diferencia de esto, el texto 1, por ejemplo, exhibe al concepto interacción como formando parte del índice de materias y, a partir de éste, se constatan 26 páginas en las que se alude al mismo. Para el caso de la interacción gravitatoria, la electrostática y la magnética el mencionado texto recurre a referencias en relación con los temas que se han desarrollado con antelación. Es decir, el tratamiento de las diferentes formas de interacción no es independiente.
- La presencia de la categoría RMD en los textos analizados tiene dos formatos bien delimitados uno del otro. O se menciona a las cuatro interacciones fundamentales de las que da cuenta la física y se caracteriza a cada una de ellas, o se materializa la interacción a través de los conceptos de fuerza y campo, mayoritariamente. Por ejemplo, Tipler presenta la siguiente alusión: "*Todas las fuerzas distintas observadas en la naturaleza, pueden explicarse en función de cuatro interacciones básicas que ocurren en la naturaleza*". Resnick, por su parte alude a la fuerza de la siguiente manera: "A menudo las interacciones se expresan de manera cuantitativa en términos de un concepto llamado fuerza".
- En relación con ROD hay que decir que se trata de una de las categorías que se hace necesario revisar. Hoy día resulta difícil establecer límites claros que delimiten el campo de estudio de la Física respecto del de la Química. Un ejemplo de esto último lo constituye el campo de la mecánica estadística donde los fenómenos asociados al calor se resuelven aplicando métodos estadísticos acerca de leyes mecánicas que rigen el movimiento de un número grande de átomos. En particular, el tratamiento de la interacción molecular presenta aspectos discutibles para decidir acerca de catalogarse como un tema enteramente del campo de la Química o de la Física. Este obstáculo ha conducido a relevar la categoría en el análisis de los textos.

- En relación con aquellas categorías contenidas bajo el título abordaje, los resultados respecto de EAL y EDI son los esperados para textos de nivel universitario donde el tratamiento matemático contempla la complejización propia del cálculo diferencial. En lo que respecta a las imágenes que acompañan el tratamiento del tema no resulta casual el hecho de que la categoría IFI esté ausente, especialmente en el caso de la interacción electromagnética. Recuérdese que se han definido como figuradas a aquellas imágenes que involucran objetos reales. Para el caso de la gravitación se han identificado algunos esquemas. Los representantes de la categoría ISI son, mayoritariamente, esquemas en los que se representa el campo para una determinada partícula. Las comparaciones que se reconocen en el tratamiento de la interacción están dedicadas, fundamentalmente a dos estilos diferentes: por una parte se encuentran aquellas que permiten establecer inferencias a partir de los valores de la constante de acoplamiento para el caso de una y otra forma de interacción; por otra, se analogan los fenómenos que rodean el espacio circundante para una masa y una carga.

4.2.4 Textos de Polimodal

TEXTO	UBICACIÓN			RELACIÓN C/ OTROS CONCEPTOS		ABORDAJE						
						Ecuaciones		Imágenes			Estilo	
	UIN	UNI	UEM	RMD	ROD	EAL	EDI	IFI	ISI	IMI	COM	REF
1	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	
2	Sí	Sí	Sí	Sí		Sí	No	Sí	Sí	Sí	No	
3	Sí	Sí	Sí	Sí		Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	
4	Sí	Sí	Sí	Sí		Sí	No	Sí	Sí	No	No	
5	No	Sí	Sí	Sí		Sí	No	Sí	Sí	Sí	No	

Tabla 6: Las categorías de análisis para los textos de polimodal

Ejemplos para algunas de las categorías

UIN: Ubicación del concepto en el capítulo introductorio

" Un físico intenta desvelar las leyes básicas que siguen la materia y la energía en cualesquiera de sus formas. Se ocupa de su composición, forma, estructura, creación, aniquilación, interacción, movimiento. Trata con estrellas, átomos, luz, posición, tiempo, sonido, máquinas, gases, campos, núcleos, partículas elementales indivisibles (como quarks). Toda la materia y energía del Universo y su interacción es objeto de estudio de la Física". (De la página, 16 de Física I, Santillana, 1999).

UNI: Ubicación del concepto en capítulo/s que no es/son el introductorio

" En el siglo XX se reconoció la existencia de cuatro clases de fuerzas en la naturaleza: la gravitatoria, la electromagnética, la nuclear fuerte y la nuclear débil. Pero en la década de 1970 se consiguió establecer que la fuerza electromagnética y la nuclear débil, son, en realidad, dos manifestaciones de una única fuerza: la electrodébil." (De la página 158 de Física I, Aique, 1998)

RMD: Relación del concepto con otros conceptos dentro de la misma disciplina.
" Muchos campos de fuerzas (gravitatorios, electrostáticos, magnéticos) se pueden representar con un diagrama en el que las líneas indican la dirección del campo en cada punto, o sea la dirección de la fuerza que actuaría sobre una carga que estuviera allí ". (De la página 106 de Física II, Aique, 1999).

ROD: Relación del concepto con conceptos/tópicos de otra/s disciplina/s



Figura 12: Tomada de la página 75 de Física Santillana de Polimodal

En la figura se muestra el "funcionamiento del cerebro y el sistema nervioso se basa en la transmisión de impulsos eléctricos entre las neuronas." Se pone en evidencia una relación con la Biología.

ISI: Basadas en elementos simbólicos

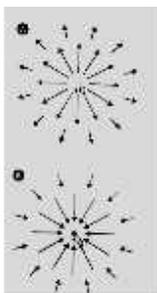


Figura 13: Vectores de campo eléctrico. Tomada de la página 75 de Física I de Santillana, 1999.

Los esquemas representan el campo electrostático para una carga positiva (A, figura superior) y una carga negativa (B; figura inferior).

IFI: Basadas en elementos figurativos



Figura 14: Electroscopios en funcionamiento. Tomada de la página 111 de Física II, Aique, 1999.

Se representa el funcionamiento de un electroscopio al acercarlo a él con una mano, una varilla cargada negativamente.

IMI: contiene objetos y agentes figurativos pero se le superponen elementos simbólicos.

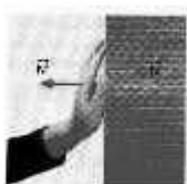


Figura 15: Pares acción y reacción. Tomada de la página 75 de Física I, Santillana, 1999.

Se representa una imagen mixta con elementos figurativos, la mano y la pared, y simbólicos como el caso del vector fuerza normal.

COM: Se hace explícita una comparación a modo de analogía entre conceptos/temas.

"Recuerda de la ley de la gravitación de Newton que la fuerza gravitacional entre dos objetos de masas m_1 y m_2 es proporcional al producto de las masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia d que los separa:

$$F = G.(m_1 y m_2) / d^2$$

Donde G es la constante de gravitación universal.

La fuerza eléctrica entre una par cualquiera de objetos satisface igualmente una relación del inverso del cuadrado de la distancia. " (De la página 539, Física Conceptual, Addison Wesley, 1995)

De manera similar a como se hizo para los textos de corte universitario se detallan a continuación las observaciones que se infieren desde la tabla de resultados correspondiente a los textos de polimodal.

- La mayoría de los textos analizados presentan a la interacción desde la introducción del texto y la retoman en capítulos siguientes, como demuestran la presencia de las tres categorías que comprenden "Ubicación".
- Respecto de la vinculación con otros conceptos de la misma disciplina, la mayoría de estas vinculaciones responde a simples referencias, como la que se presenta antes, a modo de ejemplo. Se ha encontrado una única alusión a otra disciplina con escasos comentarios respecto de cuáles son los nexos que se intentan clarificar. Asimismo esta imagen se presenta en el margen derecho del texto principal de la página del texto destinada al tratamiento de fenómenos electrostáticos y eléctricos.
- Tal como podía preverse según el nivel de tratamiento matemático que se desarrolla en el Polimodal, las ecuaciones que se emplean para las descripciones matemáticas de fenómenos asociados a la interacción son ecuaciones algebraicas. Se entiende que la edad de los posibles destinatarios de estos textos, es motivo de un número importante de imágenes figuradas (IFI) donde se presentan manos sosteniendo varillas cargadas que atraen a esferas, también cargadas, entre otras. La categoría COM, cuando se presenta toma la forma de establecer analogías y diferencias entre fenómenos de interacción gravitacional y electrostática sobre la base de las ecuaciones que los representan, fundamentalmente.

4.2.5 En síntesis

Como se ha dicho en un comienzo no se trata, en modo alguno, de dar un tratamiento cuantitativo, no obstante se ha definido una cantidad de categorías de análisis que se estiman como deseables para obtener algunos indicadores acerca de cómo se considera a la interacción. Releyendo los resultados derivados de la tabla de textos universitarios hay sólo dos de ellos (texto 1 y texto 3) donde es mayoritaria la presencia de las categorías aplicadas. A modo de reflexión final puede decirse que sólo en uno de ellos se identifica a la interacción como principio organizador para el estudio de la Física, siendo el caso del texto 1. Si bien tanto el texto 1 como el 3 tienen ocho categorías presentes, el primero de ellos comienza su consideración desde la introducción haciendo explícita la intención de centrarse en las interacciones que acontecen en la naturaleza y es, como ya se comentó más arriba, el único texto que incluye al concepto entre los que componen el índice de materias de que se ocupa el libro.

En relación con la tabla de categorías aplicadas a los textos de nivel Polimodal, los resultados difieren. Para estos últimos, aún cuando es mayor la frecuencia de presencia de tales categorías hay que destacar que, la mayoría de ellos presenta una considerable densidad de información en muy pocas líneas. Por ejemplo, se presenta a la interacción con la siguiente cita: "*que dos cuerpos interactúen*

significa que ejercen fuerzas entre sí" (Física I, Santillana, pág. 60). A continuación, en un espacio de no más de media página (13 líneas exactamente) el mismo texto comenta las fuerzas a distancia, de contacto, de fricción, elásticas y de vínculo. El tratamiento a algunos de estos tipos se retoma y, en no más de una página, se amplían las consideraciones anteriores. Si bien es claro que los lineamientos ministeriales sugieren que con anterioridad al nivel polimodal se desarrollen los contenidos vinculados a las fuerzas, esta apretada alusión a caracterizar las diferentes formas que admite una fuerza, parece, cuando menos, incompleta. Más aún si se entiende al nivel polimodal como la instancia de profundización de algunos temas desarrollados con anterioridad.

Pueden resumirse las consideraciones anteriores en las siguientes proposiciones:

- El tema interacción se aborda en diferentes capítulos dentro de un mismo texto.
- El empleo del concepto para establecer vinculaciones con otras disciplinas es escaso.
- La identificación de las fuerzas como los "ejemplares" que encarnan la interacción se presenta, mayoritariamente, de manera muy condensada. Suele adoptarse la enumeración, en pocas líneas, de las fuerzas de contacto, a distancia, de fricción, elásticas y de vínculo. En general, no se presenta a las fuerzas básicas de la naturaleza como la posibilidad de reunir en ellas a todas las alternativas antes mencionadas.
- No se advierten alusiones respecto de cuáles cuerpos son afectados por una determinada interacción. Es decir, no es explícito el criterio que hace que bajo ciertas circunstancias nos ocupemos de la interacción electromagnética, por ejemplo.
- No se advierten instancias que pongan en evidencia que diferentes formas de interacción puedan estar actuando simultáneamente y que el hecho de que se ponga el énfasis en una u otra forma depende de los intereses del estudio que se está abordando en cierto momento.
- No hay indicadores en relación con los tiempos en que estaría aconteciendo la interacción. Esto es, no resulta claro, en algunos casos, si se trata de un acontecimiento que ocurre de manera simultánea o no, entre quienes participan.
- Son escasas las alusiones a la posibilidad de analizar las interacciones entre más de dos cuerpos.

Estos resultados orientan a enunciar que, para los textos que aquí se han analizado, el tema interacción no es considerado un eje estructurador en el sentido que se ha comentado en la introducción de este apartado. En esta misma línea de razonamiento, parece preciso que como investigadores se revisen los aspectos distintivos y las características básicas que esta herramienta conceptual puede tener en la enseñanza de la Física.

4.3 Las ideas de los ingresantes: Características de la población, selección del instrumento y administración del mismo

El ingreso a la Facultad de Ciencias Exactas de la UNICEN, de la provincia de Buenos Aires, Argentina, está condicionado por la aprobación de un examen. El mismo puede rendirse por la alternativa "libre" o como resultado de la asistencia a un curso preuniversitario. La población que se selecciona es, precisamente, la constituida por aquellos estudiantes que se encuentran tomando el mencionado curso.

Se trata de 170 estudiantes, procedentes de diferentes centros educativos de esta misma ciudad o de otras ciudades, egresados de diferentes modalidades según las orientaciones imperantes en las escuelas de las que provengan. Por ejemplo, podría tratarse con egresados de una escuela técnica que presentara, a su vez, alternativas como electromecánica, informática o química. O bien, con egresados de escuelas nacionales que acreditan un título bachiller con orientación en ciencias. Fue esta diversidad en la población la que motivó a pensar que se estaría ante un espectro bien variado de opciones respecto de las posibles cursadas de física que se hubieran dictado en las escuelas, según se tratara de cada una de las posibles alternativas antes detalladas.

Se decidió que la estrategia a emplear en el proceso de recolección de información debería interferir lo menos posible en las actividades que se estaban desarrollando, de manera de no restar a los estudiantes, tiempo extra clases. A su vez, tratándose de un número considerable de sujetos, la recolección debería ser de aplicación sencilla. Se optó por la modalidad de un test semiestructurado, del que más adelante se dan detalles. La administración se realizó en forma simultánea en todas las aulas en las que se llevaba a cabo el dictado del curso introductorio, en un día de clases que promediaba la mitad del tiempo destinado al cursado. No hubo avisos previos y se procedió, con la correspondiente autorización de los docentes a cargo. En la presentación se comunicaba:

- el propósito (parte de una investigación en enseñanza de la Física) de obtener este registro,
- el carácter voluntario y anónimo de esta instancia
- la independencia de esta instancia con cualquier otra de las que estaban desarrollando para ingresar en la facultad.

De manera explícita, no se previeron instancias de aclaraciones para evitar los imponderables propios de quien estuviera al frente de cada grupo de respondientes. Merece destacarse, que cada uno de los docentes a cargo de cada comisión de alumnos y los correspondientes ayudantes de cátedra colaboraron activamente en la distribución y recolección del test a la vez que controlaron que las respuestas se realizaran de manera individual.

La administración se realizó mediante copia escrita para cada uno de los encuestados y se estimó un tiempo de entre veinte y treinta minutos para poder completarlo.

4.3.1 Fundamentos para la elaboración del instrumento para la indagación²⁶

El test que se presenta en la página siguiente, procura obtener información acerca de la manera en que los estudiantes que intentan ingresar a la Facultad de Ciencias Exactas en el año 2001, se refieren a la interacción.

DATOS PERSONALES

Año de egreso:-----

Modalidad de la que es egresado-----

Orientación:-----

Ciudad:-----

1. Es habitual en los textos de Física, ejemplificar la Ley de Gravitación universal presentando la interacción que tiene lugar entre la Tierra y su satélite, la Luna.

a) ¿Se te ocurre alguna manera de esquematizar ó representar tal interacción? Explica en no más de tres renglones qué representa tu esquema y qué papel juega cada uno de los elementos que usas en el esquema.

b) ¿Cómo se explica que la Tierra y la Luna interactúen sin estar en contacto?

c) ¿Cónocés alguna otra forma de interacción, además de la gravitatoria?. Indica cuáles .

d) ¿ Dirías que la Tierra es el causal de la interacción Tierra-Luna? ¿por qué?

²⁶ Stipcich, M. S. y Moreira, M. A. (2002) *Un test para indagar ideas sobre la noción de interacción*. Actas del VI Simposio de Investigadores en Educación en Física. Univ. Nac. del Nordeste. Corrientes. Se trata de una versión adaptada de lo que aquí se describe en el apartado 4.3.1

2. En lo que sigue se enuncian una serie de alternativas, de las cuales se te pide que marques aquellas que ayudan para describir las interacciones que hay en la naturaleza.

Hay interacción cuando los elementos que intervienen:

- a) están en movimiento.
- b) permanecen quietos.
- c) son de tamaño pequeño en relación a nosotros.
- d) son de tamaño grande en relación a nosotros.
- e) son de tamaño comparable al nuestro.
- f) están muy alejados entre sí.
- g) están muy próximos entre sí.

3. En la lista que sigue hay una serie enunciados de los que se pide que digas si los creés V o F (Dentro de cada Casilla). En cualquier caso, justifica tu respuesta.

	a) La interacción ocurre entre pares de elementos y por tanto sólo hay interacción cuando tenemos sólo dos elementos.
	b) La interacción ocurre entre pares de elementos pero ello no impide que haya más de dos elementos presentes y varias interacciones entre pares de ellos.
	c) Un mismo elemento puede estar sometido a la acción de más de una forma de interacción al mismo tiempo.
	d) Cuando se tiene la presencia de un cuerpo A, y un cuerpo B, la interacción de A con B ocurre al mismo tiempo que la de B con A.
	e) Cuando se tiene la presencia de un cuerpo A, y un cuerpo B, la interacción de A con B ocurre un tiempo después que la de B con A.
	f) Cuando se tiene la presencia de un cuerpo A, y un cuerpo B, la interacción de B con A ocurre un tiempo después que la de A con B.

Como interesa atender a los contenidos, procedimientos y valoraciones que los encuestados ponen en juego en sus respuestas, es de especial relevancia la validez de contenido del mencionado test. *"La validez de contenido se refiere al grado en que un instrumento refleja un dominio específico de contenido de lo que se mide"* (Bohrnstedt, 1976).

Para elaborarlo se ha tomado como referente el marco teórico que la comunidad científica de la Física adopta de manera consensuada, restringido a los temas interacción gravitatoria y electromagnética. Un mapa conceptual para las interacciones fundamentales (Moreira, 1989) reúne las principales consideraciones teóricas a tomar en consideración.

Un mapa conceitual para interações fundamentais (M.A. Moreira, 1989).

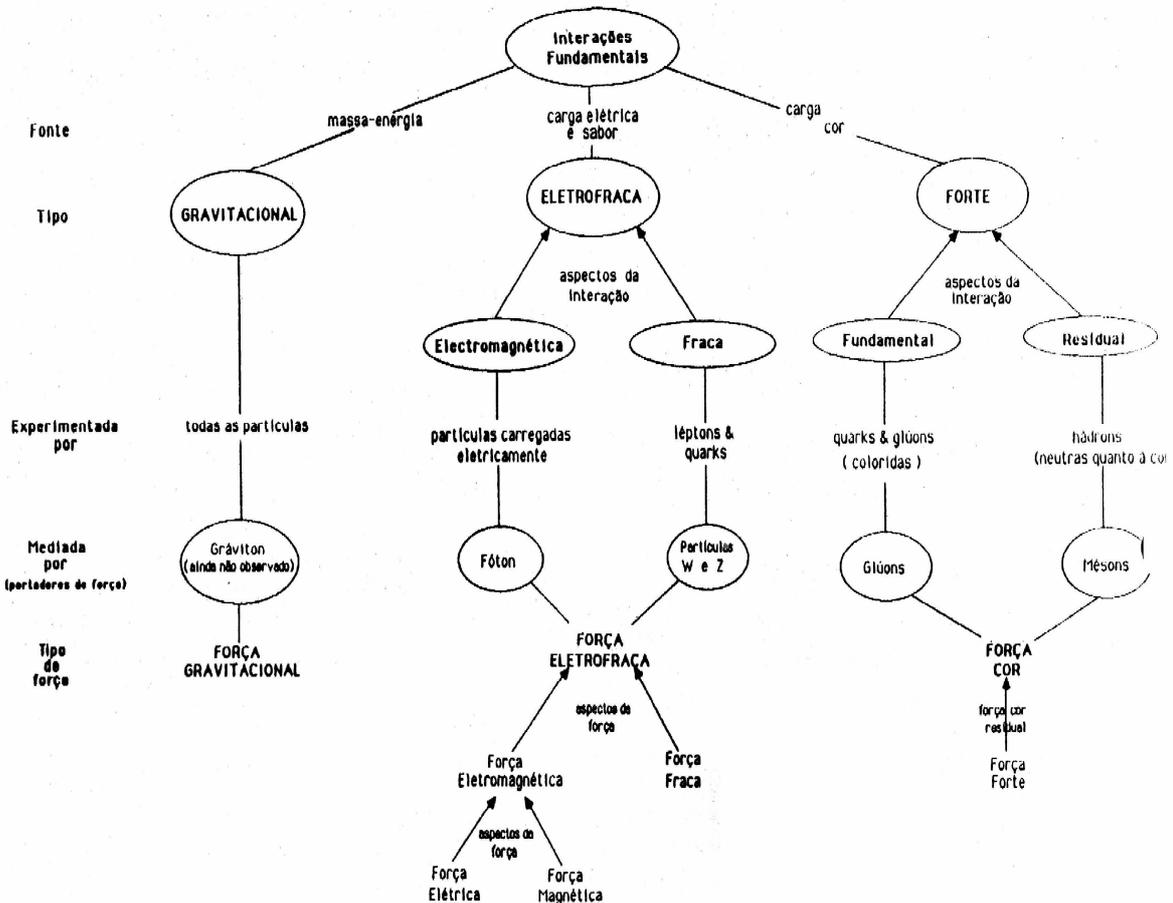


Figura 16: Mapa conceitual para las interacciones fundamentales

Cabe preguntarse, a partir del referencial teórico antes mencionado, ¿qué conceptos?, ¿qué procedimientos? y ¿qué valoraciones se estiman relevantes?. En lo que sigue se presentan consideraciones generales para estos tres ejes que han sido escogidos como orientadores para decidir sobre el contenido de la encuesta.

Si bien, las preguntas que lo componen aluden a fenómenos asociados a la Gravitación se espera que, tratándose de una población de estudiantes que ya han cursado las físicas que se dictan en las escuelas durante las formaciones básica y polimodal, aparezcan consideraciones electrostáticas y magnéticas.

Entre los procedimientos que se intentan identificar, pueden citarse los siguientes:

- relacionar conceptos estableciendo ciertas jerarquías (algunas de ellas pueden advertirse en el mapa antes presentado, por ejemplo la fuerza gravitacional es

el concepto más específico en el ramal que caracteriza a la interacción gravitacional)

- caracterizar una determinada interacción. Para esto se toman en cuenta como posibles criterios de caracterización, quién es la fuente que genera la interacción; la posibilidad de asociar el tamaño de los objetos intervinientes a una cierta forma específica de interacción, por ejemplo los cuerpos celestes con la interacción gravitatoria; las limitaciones para ser afectado por una u otra forma de interacción, etc.
- representar en forma escrita aspectos asociados a las interacciones que el entrevistado ya conoce o que se le presentan en este interrogatorio, según sea el caso de manera esquemática, empleando ecuaciones, haciendo uso de un lenguaje de corte científico o no, etc.

El componente valorativo sobre el tema que se estudia, intentará inferirse de las respuestas a cada uno de los planteos que se proponen ya que no se han elaborado intencionalmente, cuestiones para atender a este aspecto.

Para la elaboración de los diferentes ítems que conformarían el instrumento se contemplaron, fundamentalmente, dos aspectos: 1) de índole netamente metodológica, consistente en proponer diferentes planteos para describir una misma cuestión y 2) los resultados del análisis de este tema en los textos que los docentes manifiestan emplear (con mayor frecuencia) en sus clases y, en algunos casos, recomendar a sus estudiantes.

Respecto del primero de los aspectos se estimó que un espectro de respuestas puede contribuir a validar las inferencias que se derivaran sobre el modo en que los encuestados estarían construyendo una representación mental de un cierto fenómeno. Por ejemplo, la respuesta a la cuestión numerada 1 b) podría relacionarse con la respuesta al ítem d) dentro de la misma cuestión 1 y también con la alternativa 3 b). De esta manera, llegar a la instancia de elaborar conclusiones implicará atravesar los siguientes tres momentos:

- analizar las respuestas a una pregunta,
- analizar las respuestas al resto de las preguntas que se vinculan con la anterior
- elaborar las conclusiones a partir de la consideración conjunta de cada una de las instancias anteriores.

La tabla que sigue muestra de qué manera se relacionan los diferentes ítems. Nótese que en las columnas se consignan solamente los incisos de la pregunta uno ya que es suficiente con ésta para establecer las posibles relaciones con las restantes. Asimismo hay que destacar que las relaciones podrán modificarse a lo largo del análisis de cada una de las respuestas y que las que aquí se exponen son sólo a título preliminar.

Se relaciona con Item	Item 1				Item 2							Item 3					
	a	b	c	d	a	b	c	d	e	f	g	a	B	c	d	e	f
1 a																	
1 b				X									X				
1 c					X	X	X	X	X	X	X						
1 d															X	X	X

Tabla 7: Posibles relaciones entre los ítems de la encuesta.

La segunda consideración resulta del trabajo de análisis del tema en los textos destinados a los niveles polimodal y universitario cuyos resultados se han expuesto en el apartado 4.2

Algunas de las cuestiones del test rastrean específicamente las omisiones de los textos escolares antes comentadas. Para ello, se trabaja bajo dos supuestos:

- 1) que los docentes que imparten clases de Física habrían advertido tales omisiones y
- 2) que siendo una de las funciones del profesor elaborar modelos conceptuales que mejor se adecuen a los modelos científicamente consensuados tales omisiones estarían contempladas en las clases que han tomado nuestros encuestados. (Islas y Pesa, 2002)

A continuación, se especifican los criterios que se han empleado para confeccionar cada una de las cuestiones del test sin que esto signifique, metodológicamente hablando, una categorización a priori de lo que se está tratando de indagar.

Los comentarios que en adelante se exponen, corresponden a la versión definitiva del instrumento. Sin embargo, es de destacar que este producto ha sido el resultado de versiones preliminares que estuvieron sujetas a las consideraciones y/o modificaciones vertidas por cinco expertos, dos de ellos en la disciplina (Doctores en Física) y tres investigadores en el campo de la enseñanza de las ciencias.

El test se ha estructurado en dos campos: uno, destinado a recoger algunos datos personales del encuestado y otro, preparado para relevar la información sobre el tema de estudio propiamente dicho. Puesto que se trata de un trabajo voluntario se obvian cuestiones de identificación personal, interesando, sin embargo las variables que atienden a la modalidad y orientación de la que proviene el encuestado. La información vinculada al año de egreso y la ciudad de la que es originario, es de carácter contextual.

El otro campo, en el que se busca explorar las nociones sobre la interacción, se ha organizado con tres preguntas. La primera de ellas, se ha concebido con la

intención de situar al respondiente en el tema que interesa. Para esto se ha elegido ejemplificar la ley de gravitación universal con la interacción entre la Tierra y la Luna por tratarse de una situación que se encuentra analizada en la mayoría de los textos de uso frecuente en las instituciones educativas de enseñanza general básica, polimodal y universitaria.

Comenzar proponiendo esquematizar una situación que tiene alta probabilidad de haber sido estudiada en la escuela²⁷ puede ser de utilidad para que, (aún corriendo el riesgo de que dibujaran las "imágenes de los textos") se elaboren comentarios respecto de cómo ellos explican esos esquemas. Luego, el apartado a) ofrece la posibilidad de permitir un análisis gráfico y uno escrito. Este último, por su parte, podría dar algún indicio del lenguaje que emplean en sus descripciones a la vez que facilitar la inferencia respecto de cuáles conceptos están haciendo uso para la explicación. Uno de los fines de la educación en ciencias es desarrollar entre los estudiantes la capacidad de comunicar los conocimientos científicos. Sin embargo, buena parte de los conocimientos que emplean nuestros alumnos suelen ser implícitos más que explícitos; en algunos casos se asume que operan como "teorías en acción" que difícilmente consiguen verbalizar y menos aún comunicar por escrito. (Karmiloff-Smith, 1992)

En el ítem b), dando por aceptado que les ha sido posible "entrar en tema", se avanza en la demanda de explicaciones introduciendo para ello el factor *no están en contacto*. La incorporación de esta cuestión tiene la pretensión de identificar posibles adhesiones, bien a la noción de acción a distancia, bien a la existencia de un campo gravitatorio. En cualquiera de los casos, se esperaría identificar algún tipo de relación entre conceptos.

El ítem c) busca la posibilidad de extenderse hacia otros campos de la Física que sean de conocimiento de quien está respondiendo el test. En principio, cuando menos, se espera que pudieran dar el ejemplo de la interacción electrostática entre cargas.

Para la elaboración de la alternativa d) se tuvieron en cuenta resultados de investigaciones que muestran que los estudiantes tienden a interpretar los acontecimientos mediante relaciones lineales de causa-efecto reservando para la causalidad un sentido único.(Anderson, 1986; Pozo, 1987). Luego, describir la interacción entre la Tierra y la Luna como una relación recíproca donde los dos sistemas interactúan modificándose mutuamente es aceptar que no hay un único agente capaz de generar tal interacción. Este es uno de los propósitos que orientan hacia la comprensión de los fenómenos físicos. Entiéndase, que con esta cuestión no se trata de aportar más evidencias a los resultados que se comentan antes (aún cuando las respuestas que se obtengan vayan en ese sentido); por el contrario: se busca indagar si los estudiantes están en condiciones para afrontar este problema como una interacción entre sistemas y no como una mera

²⁷ Se acepta para esto que el currículum escolar es una adaptación, en muchos casos, fiel de las presentaciones de los textos escolares.

simplificación del acontecimiento en términos de una única causa generadora de un determinado efecto.

En la segunda pregunta se presenta, un listado de características todas ellas factibles de asociarse a alguna forma de interacción o a más de una. Se espera que la selección que los estudiantes hagan, permita inferir las formas en que el concepto está siendo considerado. El hecho de marcar todas las características, no será, por sí solo, garantía de que el encuestado haya tomado en consideración fenómenos asociados a la Gravitación y a la Electroestática. Para clarificar una posibilidad así, podrá considerarse de manera conjunta (para un mismo encuestado), las respuestas a los ítems 1c) y 2.

La tercera pregunta retoma la intencionalidad de determinar la concepción de interacción que están sosteniendo los estudiantes (ítems a, b y c) en relación con los agentes que forman parte de la misma, la cantidad de agentes que pueden intervenir (*principio de superposición de campos*) y la posibilidad de considerar diferentes formas de interacción actuando en simultáneo en un mismo fenómeno. Los últimos tres ítems buscan indagar si la variable tiempo juega algún lugar en el fenómeno de la interacción. Para esto se optó por proposiciones que obviarán los términos simultaneidad e instantaneidad ya que, en lenguaje cotidiano, ambos se consideran sinónimos y esto podría interferir en nuestros intereses. Luego, el ítem d) emplea la expresión *al mismo tiempo* para dar cuenta de la simultaneidad mientras que los ítems e) y f), que se refieren a la instantaneidad, emplean la expresión *un tiempo después*. Si bien, estos dos últimos ítems están en clara oposición al anterior, la cuestión de describir los pares *A con B* y *B con A* se ha visto alterada en la redacción de las proposiciones para rastrear posibles asociaciones con el orden en que se designan los cuerpos. Es decir, se trata de averiguar si el hecho de enunciar primero a un cuerpo A y luego uno B, daría lugar a presuponer que A es causal de lo que ocurre en B y que, un tiempo después B "retribuye" en A el efecto antes recibido. En clara alusión a esta posibilidad fue diseñada también, la cuestión 1d).

4.3.2 El trabajo con los datos²⁸

La primera actividad consistió en enumerar el total de tests distribuidos, en este caso 170, para identificar aquellos que estaban respondidos. Resultaron así, 151 tests efectivos para el análisis de las respuestas. Este proceso, que suele conocerse con el nombre de análisis de contenido o del discurso textual según autores, se apoya en un conjunto de criterios básicos (Bernárdez, 1995) tales como:

²⁸ Una versión de los resultados que aquí se exponen se encuentra publicada en: Stipcich, M. S., Moreira, M. A. y Caballero Sahelices, C. "Una interpretación de las opiniones de ingresantes a la universidad sobre la noción de interacción". Revista electrónica de Enseñanza de las Ciencias Vol 3 . Nº 1. Enero de 2004.

- a) la *segmentación* en unidades de análisis en función del contenido al que alude. En este caso hay una segmentación de partida que es el enunciado de cada una de las cuestiones del test que dará lugar a tomar como unidades de análisis las respuestas a cada una de estas preguntas.
- b) el *agrupamiento* sobre la base de la definición de categorías, identificando dimensiones relevantes a priori y/o reconocidas en el proceso de análisis del discurso. Para el test en cuestión, se establecen algunas agrupaciones a priori en función del contenido de las preguntas. El test ha previsto la inclusión de cuestiones diferentes que tienden a complementarse para intentar inferir cómo es que quien las responda, estaría entendiendo a la interacción. (Stipcich, Moreira, 2002 c)
- c) la *organización en metacategorías* por identificación de significados de mayor generalidad. la *inclusión* y la *subordinación* mediante el establecimiento de relaciones entre categorías que permite establecer jerarquías en el *corpus* de datos;
- d) la *ordenación* de acuerdo con algún criterio explícito y que constituye una primera conclusión de la investigación;
- e) la *covariación* en la dirección de ocurrencia de categorías y el establecimiento de posibles relaciones causales en la coaparición de elementos en una secuencia consistente dentro de un esquema de variables múltiples (característica del campo de investigación educativa).

Las etapas c), d) y e) resultarán de analizar de manera conjunta las respuestas dadas por un mismo individuo a aquellas preguntas que se han estimado como complementarias.

4.3.3 Análisis por pregunta.

Cuestión 1 a : Es habitual en los textos de Física, ejemplificar la Ley de Gravitación universal presentando la interacción que tiene lugar entre la Tierra y su satélite, la Luna.

¿Se te ocurre alguna manera de esquematizar ó representar tal interacción? Explica en no más de tres renglones qué representa tu esquema y qué papel juega cada uno de los elementos que usas en el esquema.

Las unidades de análisis han sido, en primer lugar, las respuestas a cada una de las preguntas que son parte del test. Se procedió leyendo las 151 respuestas a la cuestión 1 a) y, a partir de esto, la identificación de conceptos y/o frases que permitieran reconocer algunas dimensiones emergentes. Resultado de ello, son las siguientes cuatro categorías:

- **Explicaciones por analogías con fenómenos magnéticos (MAG)**²⁹: Incluye a aquellas respuestas que para hablar de la interacción Tierra-Luna usan como referencia la acción de imanes.

Ejemplos

*"La representación es que la Tierra tiene como un imán que es la gravedad y eso hace que los elementos permanezcan parados, no se muevan mientras la Tierra rota". (R1.99)*³⁰

"El núcleo de la Tierra tiene un campo magnético que atrae y mantiene en órbita a la Luna". (R1.103)

- **Explicaciones en las que interviene la gravedad (GRA)**: Se trata de respuestas en las que se alude a la gravedad como causal de la interacción que se pretende explicar.

Ejemplos

"La interacción de la Tierra con la Luna es la relación que tiene o pueden tener dos pares de elementos. Al tener dos elementos interactúan al mismo tiempo gracias a la gravedad": (R1.6)

"Interactúan ya que la gravedad de la Tierra hace que la Luna mantenga la órbita, si no hubiese gravedad en la Tierra la Luna perdería su órbita y se alejaría de la Tierra hasta encontrar un nuevo centro de atracción gravitatorio": (R1.120)

- **Explicaciones basadas en el movimiento (MOV)**: Involucra a las respuestas que ponen en el movimiento de uno ó más de los objetos en cuestión, el factor explicativo para la interacción entre ambos.

Ejemplos

"La interacción que tiene lugar entre la Tierra y la Luna, se debe a que la Luna orbita a la Tierra, quiere decir que está muy cerca para irse y muy lejos para caer. Además de los movimientos de rotación y traslación de la Tierra y el de rotación de la Luna". (R1.9)

"En el dibujo la Tierra y la Luna representan la interacción con respecto a los movimientos que tienen cada uno de ellos. O sea la interacción tiene lugar por el hecho de que la Luna y la Tierra están en movimiento y se satisfacen entre sí". (R1.33)

- **Test que no tienen respuesta a esta cuestión (NSC)**: Se incluyen aquí a aquellos test que no tienen ninguna respuesta; a los que explicitan desconocer aquello que se está preguntando y a los que aún habiendo realizado algún esquema el mismo no permite hacer inferencias en relación con el propósito de la pregunta.

²⁹ La sigla entre paréntesis corresponde a la codificación de cada una de las categorías que se emplea en el reconocimiento de un segmento de respuesta escrita que se asocia a cada una de ellas.

³⁰ La sigla significa que se trata de la respuesta a la pregunta 1 del alumno numerado 99.

Interesa destacar que las tres primeras categorías son no excluyentes. Esto es, sería posible encontrar respuestas que fueran categorizables en más de una categoría a la vez. Basta por citar un ejemplo la transcripción de R1.99 que acompaña a la categoría MAG. En ese caso, si bien se emplea la analogía del imán (y por ello se la incluye allí), también se identifica a la gravedad como "la responsable" de la interacción. Asimismo, como primera aproximación a las respuestas se trata de categorías lo suficientemente flexibles para incorporar un elemento de manera que, por ejemplo, la categoría MAG no está contemplando respuestas en las que la analogía entre fenómenos gravitacionales y magnéticos es detallada sino que se trata de alusiones del estilo "es como si la tierra tuviera un imán". De la misma forma GRA y MOV incluirán aquellas respuestas que, en un sentido amplio, aluden a la gravedad (como fuerza, como campo gravitacional, sin más que la gravedad) y al movimiento como causales de la interacción, respectivamente.

Un primer aspecto que hay que destacar es que 82 tests forman parte de NSC, de los cuales 80 están en blanco y los dos restantes pertenecen a cada una de las otras dos alternativas antes mencionadas. Luego, una primera conclusión para esta pregunta es que más de la mitad de los respondientes no está en condiciones de dar explicaciones respecto de la interacción Tierra-Luna.

Una mirada más pormenorizada de los tests permite esbozar algunas relaciones entre las categorías anteriores y la generación de otras nuevas a los fines de inferir otros significados (criterio c de los que enuncia Bernardez op.cit.). Para esto, se parte del planteo de posibles criterios para agruparlas. Una característica común a las respuestas es la presencia de una *mediación* para la interacción. Dicho de otra manera, la mayoría de las respuestas argumentan la interacción entre la Tierra y la Luna como una acción a distancia mediada por determinado factor. Esta idea permitió construir el esquema estructurador presentado en la Figura 12, en el que se incluyen y subordinan a algunas de las categorías antes descritas, a la vez que se incorporan otras dimensiones que se explican más adelante.

El esquema que sigue, presenta las categorías surgidas a partir de considerar a las diferentes mediaciones que se han identificado en las respuestas e incluye a las primeras categorías que se analizaron antes. El primer ejemplo presentado para la categoría MAG aparece aquí formando parte de otros factores, ya que no es posible reconocer qué cosa es el magnetismo para este entrevistado. El segundo ejemplo, pasa a formar parte de campos en la categoría CAM. Se procede de manera similar con las respuestas que antes, se encuadraban bajo GRA reubicando dos ejemplos antes presentados (tomados de R1.6 y R1.120) dentro de OGR. Los extractos de R1.9 y R1.33 para MOV pasan a ser parte de otros factores en la categoría OMO.

El resto de las especificaciones, son "valores" para las categorías antes comentadas. Con unilateral y no unilateral se quiere significar que se trata de respuestas de las que no resulta posible inferir si la fuerza está siendo concebida

con su correspondiente par en otro objeto o si simplemente se la toma en consideración desde el lugar de un solo elemento.

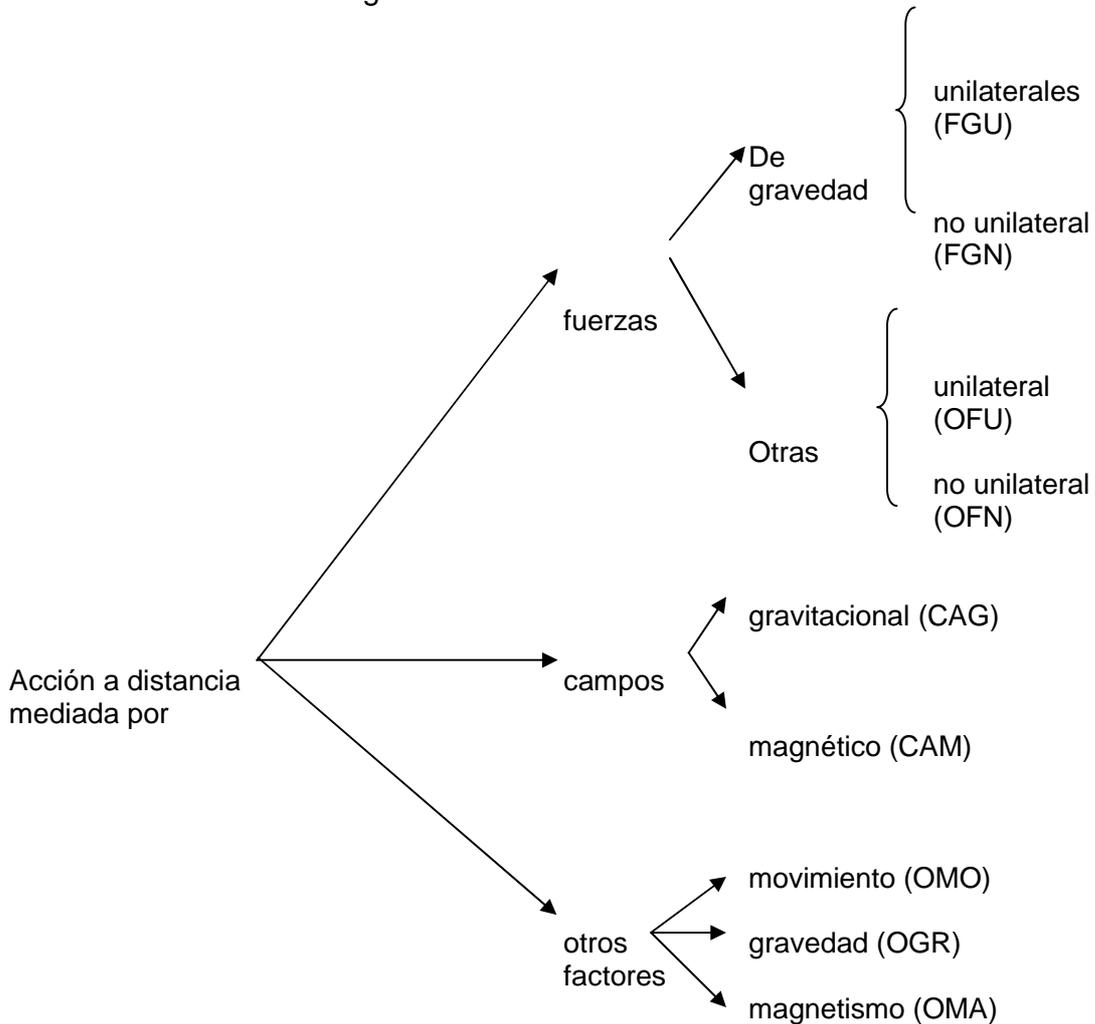


Figura 17: Esquema estructurador de las categorías emergentes del análisis de la cuestión 1 a)

Otros ejemplos

• **Categoría FGU**

Sol → Planeta → Satélites naturales
 Sol → Tierra → Luna

Un elemento del esquema depende de otro, en este caso el Sol mantiene en órbita a la Tierra por su fuerza de gravedad y a su vez la Tierra mantiene en órbita a la Luna por la misma causa.(R1.1)

- **Categoría FGN**

La Tierra por tener más masa (...) ejerce una fuerza gravitatoria más grande que la de la Luna. Ambas se atraen y ejercen distintos efectos sobre el otro. Por ejemplo, la Luna actúa sobre las mareas. (R1.29)

- **Categoría OFU**

La Luna gira alrededor de la Tierra debido a la fuerza que ejerce sobre la Luna. Esta fuerza se debe a la diferencia de tamaño. Otro ejemplo sería el sistema solar ya que todos los planetas giran alrededor del Sol por ser éste el más grande de todos. (R1.118)

- **Categoría OFN**

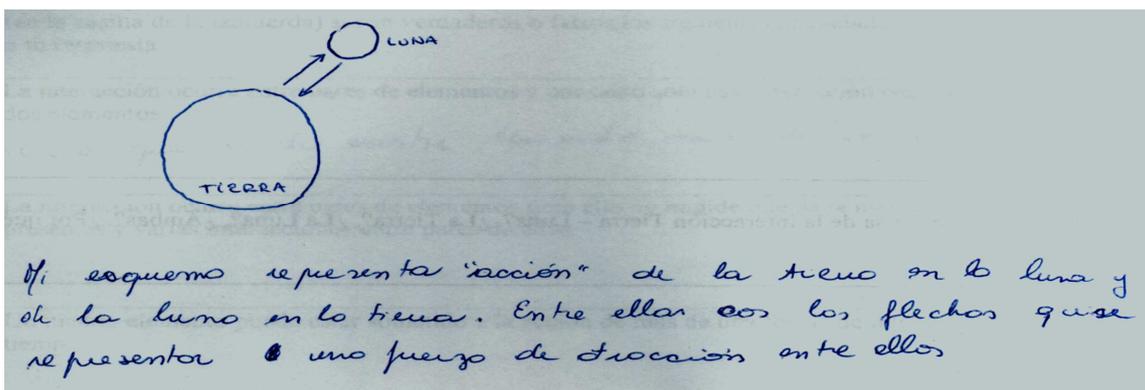


Figura 18: Los vectores fuerza se asocian a cada uno de los cuerpos representados. (R1.47)

Comentarios en relación con la cuestión 1 a)

La nueva categorización pone de manifiesto que los estudiantes conciben a la interacción como una acción a distancia que involucra fuerzas, campos y otras alternativas. Cuando optan por fuerzas, mayoritariamente, lo hacen identificándola con la gravedad. Para el caso de campos las opciones entre magnético y gravitacional son de igual frecuencia, aunque esta es mucho menor en relación con la frecuencia de la respuesta a fuerza. Sólo cuatro respuestas contemplan la posibilidad de mediar la acción entre la Tierra y la Luna por la presencia de campos. Los resultados de la categoría otros factores son interesantes: de los tres valores posibles que incluye, la respuesta menos frecuente es movimiento mientras que gravedad es la de mayor frecuencia. Si se está dispuesto a admitir que cuando los entrevistados no encuentran un calificativo para la mediación y simplemente la caratulan como "gravedad" se está en presencia de un protoconcepto de campo, podría entonces, tratarse de un resultado alentador para

considerar en las clases de Física y si este fuera el caso, las opciones más registradas pasarían a ser la mediación por fuerzas y por campos gravitacionales. "Los contenidos de saberes designados como aquellos **a enseñar** (explícitamente: en los programas; implícitamente: por la tradición, evolutiva, de la interpretación de los programas), en general **preexisten** al movimiento que los designa como tales. Sin embargo, algunas veces (y por lo menos más a menudo de lo que se podría creer) son verdaderas creaciones didácticas, suscitadas por las necesidades de la enseñanza". (Chevallard, 1997). En relación con esta cita se piensa que la noción de campo cumple con la doble caracterización de ser un contenido explícito (al menos en los índices de los textos de uso frecuente en la educación preuniversitaria e inclusive en las últimas consideraciones acerca de los contenidos para el polimodal emanadas del Ministerio de Cultura y Educación de Argentina) e implícito por la necesidad que le imprimen otros contenidos; por ejemplo el acceso a la construcción de la noción de ondas electromagnéticas requiere, necesariamente de la anticipación del concepto de campo. Se trata, a su vez, de lo que podríamos considerar en acuerdo con Klimovsky (1995) un término teórico; es decir, contrapuesto a empírico: no hay posibilidades empíricas de encontrar un campo en el sentido físico del término. Luego, será función del docente trabajar en el intersticio que media entre el protoconcepto y el concepto a los fines de colaborar para su aprendizaje.

Las ilustraciones para la cuestión 1 a

Para esta misma pregunta, se ha realizado un análisis complementario al anterior, tomando como unidad de análisis la ilustración que los estudiantes hubieran realizado. Estas ilustraciones se vinculan de diferente manera con el texto escrito. En algunos casos el texto se constituye en una explicación que detalla el esquema, en otras, en cambio, se trata de dos lenguajes totalmente autónomos. En lo que sigue se analizan todas las ilustraciones recogidas. En primer lugar, se categorizan en:

Figurativas: Se componen de elementos que representan objetos "reales" interactuando entre sí. Por ejemplo en la figura que sigue la Tierra aparece con la delimitación territorial de los diferentes continentes.



Figura 19: La Tierra es ilustrada haciendo uso de las representaciones que emplean los mapas. (R1.117)

Simbólicas: Se componen de elementos simbólicos como vectores, "puntos materiales", etc.

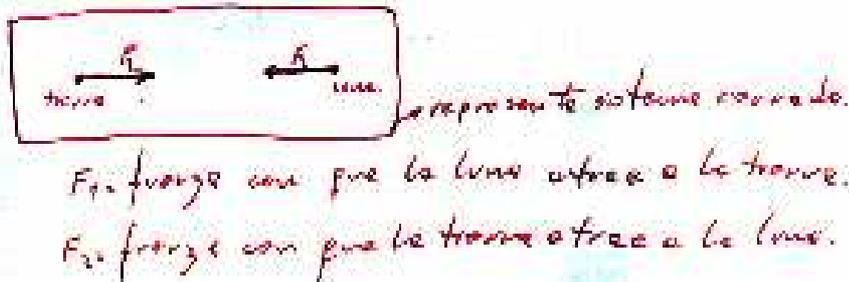


Figura 20: La Tierra y la Luna son representadas por sendos puntos materiales. La interacción queda caracterizada por vectores fuerza (de igual magnitud y sentido contrario) aplicados en cada uno de los cuerpos celestes. (R1.4)

Mixtas: Se componen de elementos de las dos clases arriba descritas. La ilustración que sigue representa a la Tierra y la Luna figurativamente, y a la interacción entre ambas de manera simbólica empleando lo que podrían considerarse "frentes de ondas".



Figura 21: La Tierra sigue el esquema del globo terrestre, la luna guarda connotaciones "reales" en los cráteres y la interacción queda esquematizada por frentes de onda provenientes de cada cuerpo. (R1.32)

La mayoría de las ilustraciones (47 sobre un total de 72) son de carácter simbólico. Es decir, los estudiantes representan la situación que se describe en la pregunta mediante algún símbolo. Los símbolos que emplean, sin embargo, no son necesariamente, aquellos que están consensuados como parte del lenguaje científico, como es el caso de los vectores.

Como el análisis de las respuestas realizado en la primera parte de esta presentación, contempla (aunque de manera implícita) una resignificación de las ilustraciones que lo acompañan, en adelante se atiende solamente a las ilustraciones que "por sí mismas" brindan alguna información para los propósitos de esta investigación. En este sentido, se piensa en ilustraciones que permitieran hacer inferencias respecto de posibles relaciones funcionales entre los elementos constituyentes. De los 72 test que incluyeron ilustraciones, solamente 40 brindaron la posibilidad de interpretarse según los intereses de este trabajo. Los restantes contenían figuras "sueltas" sin ninguna especificación que ayudara a inferir la intención del estudiante al elaborarla. En estas ilustraciones se representa, fundamentalmente, a: la Tierra, la Luna, la órbita de la Tierra, la órbita de la Luna,

la atmósfera, el movimiento de la Tierra, el movimiento de la Luna y la interacción entre la Tierra y la Luna. Puesto que el interés está centrado en atender a la manera de representar la interacción se delimitan algunas nuevas categorías (que engloban a las anteriores), en relación con la función que cumplen ciertos elementos que, para estos alumnos, estarían representándola. Los elementos que se emplean a los fines de intentar explicar la interacción son:

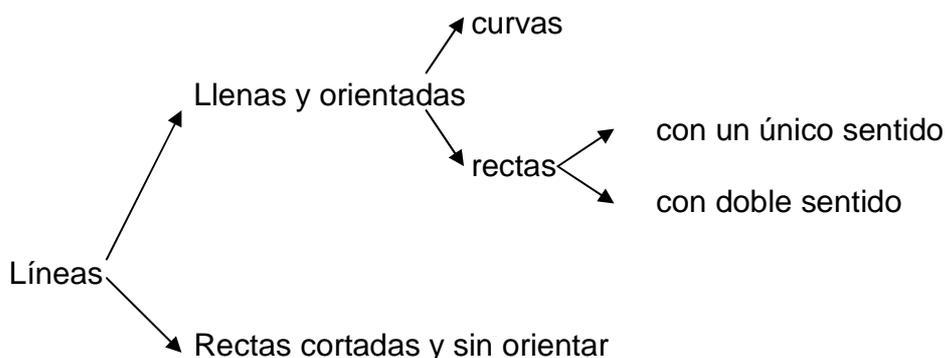


Figura 22: Esquema estructurador de las categorías emergentes para las ilustraciones que acompañan a la cuestión 1a.

Es de notar, que entre las posibilidades anteriores solamente hay dos casos que (aún cuando no se hace explícito el nombre) podrían reconocerse entre los símbolos que habitualmente se emplean en Física: los vectores (líneas llenas y orientadas en un solo sentido) y las líneas de fuerza (líneas cortadas y sin orientar). El resto son símbolos o signos que no forman parte de un código común, o dicho de otra manera no atienden a símbolos consensuados en el corpus de la disciplina. En el caso de las líneas curvas, se emplean, fundamentalmente, para indicar el movimiento de la Tierra o de la Luna, o de ambas. Se presenta indistintamente tanto en casos donde es ese movimiento el supuesto factor que explica la interacción, como en otros en los que, aún cuando la interacción se explique por otra vía, se quiere mostrar que se trata de un modelo dinámico³¹.

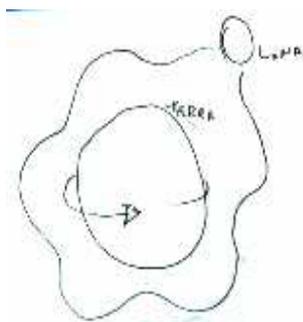


Figura 23: La Tierra se acompaña de una línea curva que sugiere la rotación. La Luna se ubica en un lugar de la trayectoria "ondulante" alrededor de la Tierra. (R1.17)

³¹ Hay que entender aquí por *modelo dinámico* a la representación esquemática de la situación en que la Luna gira alrededor de la Tierra y ésta también gira y se desplaza.

Respecto de lo que se podría asumir como vectores no siempre parecen emplearse en el sentido que se esperaría desde la enseñanza de la Física. Ejemplo de esto son situaciones donde la interacción parece ser representada por fuerzas, dibujadas como vectores provenientes de cada uno de los elementos que interactúan pero que no tienen un punto de aplicación establecido, de manera tal que parece tratarse de entes que actúan desde algún punto del espacio que separa los elementos. Véase al respecto la figura 18 que acompaña a la categoría OFN.

Para el caso de líneas de doble sentido cabe como posibilidad que quiera indicarse que se trata de una situación en la que "por alguna razón" los dos elementos entran en relación a la vez.



Figura 24: La interacción entre la Tierra y la Luna se esquematiza mediante una línea de doble sentido.

Son escasas las ilustraciones que emplean líneas cortadas y que podrían estar representando lo que habitualmente se acuerda en llamar líneas de fuerza del campo gravitacional.

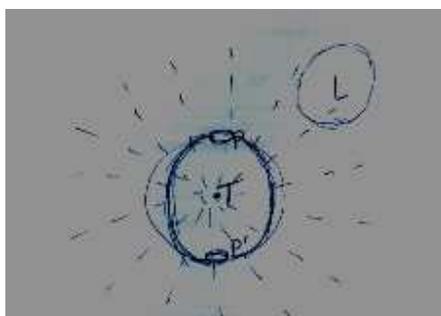


Figura 25: La Tierra y líneas de puntos a modo de líneas de campo gravitacional en el que se incluye la Luna.

También (a pesar de que no se lo considera para este análisis) se hace uso de curvas y líneas para esquematizar las órbitas (circulares, elípticas, irregulares, con líneas llenas o de trazos cortados). En cuanto a los símbolos para la Tierra y la Luna un único caso (cuya ilustración acompaña a la categorización simbólica) lo hace empleando lo que se conoce como punto material. El resto de los entrevistados emplea indistintamente círculos y/o esquemas figurativos más o menos animistas.

En lo que respecta a las características de la interacción, en términos generales, las ilustraciones complementan la información surgida del análisis del contenido

de las respuestas, antes trabajado. Así se distinguen ilustraciones que parecen explicar la situación desde:

- el movimiento
- acciones a distancia
- el campo

Si bien dos de las tres alternativas anteriores son válidas para la explicación de la interacción (acciones a distancia y campo), hay que notar que no se trata (a excepción de un único caso) de manifestaciones explícitas. Más aún, la referencia a las acciones a distancia debe entenderse en un sentido amplio, en el que se incluyen "vectores en el aire", líneas con un único sentido, cuyo destinatario es la Tierra (ver la figura 26) ó líneas con doble sentido que de alguna manera quieren significar una vinculación de la Tierra con la Luna (ver la figura 24). De la misma manera, la categoría campo es flexible y admite representaciones que van desde las líneas de fuerza que rodean a la Tierra (ver la figura 25) hasta sombreados difusos en el espacio comprendido entre la Tierra y la Luna (ver la figura 27). Un detalle que es para destacar el hecho de que cuando no se representa un par de fuerzas o una única fuerza, lo que pretende indicar la interacción se ubica, en la mayoría de los casos, entre los objetos Tierra-Luna, como si tal interacción tuviera lugar sólo en la zona de enfrentamiento entre los cuerpos.

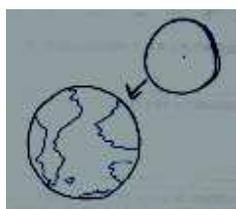


Figura 26: La interacción entre la Tierra y la Luna ilustrada como una atracción terrestre. (R1.15)



Figura 27: La interacción entre la Tierra y la Luna representada por una "zona difusa" entre ambos cuerpos.

Cuestión 1 b: ¿Cómo se explica que la Tierra y la Luna interactúen sin estar en contacto?

El primer acercamiento a las respuestas indica que de las 151 entrevistas hay 54 que no contienen información para esta pregunta. Entre esas 54, 5 responden explícitamente "no sé", mientras que las restantes son, mayoritariamente, espacios en blanco.

Para analizar las respuestas, se procedió con una secuencia que comenzó por una mirada global respecto del contenido de las mismas donde, de manera análoga a lo que ya se explicó para la pregunta anterior, se identificaron categorías cuya explicación tenía como conceptos centrales el movimiento, la gravedad, las fuerzas y el campo. (Criterios b, c y d propuestos por Bernardez, (op. cit.). No obstante como la intención de esta pregunta estaba focalizada en identificar las explicaciones basadas en la acción a distancia o, la presencia de campos, se continua el análisis en esa dirección arrojando las siguientes categorías:

- **Explicaciones en las que interviene la noción de fuerza/s (FUE)**: Se incluyen las respuestas que fundamentan el no estar en contacto haciendo explícita la presencia de alguna/s fuerza/s.

Ejemplos:

"Mediante la fuerza gravitatoria que poseen ambos cuerpos"(R1.16)

"Porque la fuerza que actúa entre las dos (refiriéndose a la Tierra y la Luna) es magnética" (R1.53)

"Todos los cuerpos se atraen y se rechazan por dos fuerzas, una centrípeta y otra centrífuga" (R1.130)

- **Explicaciones en las que interviene la noción de campo (CAM)**: Contempla aquellas respuestas en las que es posible inferir alusiones a la noción de campo de fuerzas.

Ejemplos:

"La Tierra y la Luna interactúan debido a la interacción de campos magnéticos" (R1.2)

"Porque ambas poseen un campo gravitatorio que hace que se mantengan a una cierta distancia y hace que la Luna mantenga una órbita alrededor de la Tierra" (R1.121)

- **Otras explicaciones (OEX)**: Se reúnen bajo este apartado aquellas respuestas en las que los factores para explicar la interacción no son fuerzas ni campos de fuerzas.

Ejemplos:

"Por la atmósfera que nos protege" (R1.55)

"Porque la Luna gira alrededor de la Tierra describiendo una órbita" (R1.90)

"Porque la Luna es el satélite de la Tierra" (R1.113)

"La Luna se encuentra en órbita alrededor de la Tierra al igual que la Tierra lo hace con el Sol" (R1.133)

Comentarios en relación con la cuestión 1 b)

Las tres categorías establecidas más arriba son exhaustivas y excluyentes. La categoría FUE considera a aquellas explicaciones en las que de manera explícita

el que responde, se refiere a alguna fuerza. Mayoritariamente (34 sobre 44) las respuestas aluden a una fuerza de carácter gravitatorio, no obstante, también se menciona a fuerzas centrífugas, y magnéticas o simplemente fuerza sin ningún calificativo que permita su identificación, tal como muestran los ejemplos allí presentados.

Entre las respuestas que emplean en sus argumentaciones a la fuerza gravitatoria hay diferencias. Algunas, son escuetas y simplemente "etiquetan" que la pregunta 1b) se explica "*por la fuerza de gravedad*", de manera que no permiten indagar sobre qué cosa es la gravedad. En otros casos las explicaciones brindan algún detalle más, e incluso recurren a formulaciones matemáticas:

"Se explica mediante la ley de Newton que dice que dos cuerpos ejercen una atracción entre ellos proporcional a sus masas e inversamente proporcional a la distancia que los separa.

$$F = \frac{M_1 M_2}{D^2}$$

Tomado de la (R1.12)

En este caso se trata de una respuesta que vincula masas y distancia a la vez que se refiere al carácter legal de la formulación realizada por Newton.

Solamente una respuesta de las que se incluyen bajo la categoría CAM hace referencia explícita al campo gravitacional. (R1.121). Las restantes, que son sólo 4, asocian la interacción entre la Tierra y la Luna por la acción de campos magnéticos.

Al analizar la pregunta 1 a) se concluyó, bajo ciertas consideraciones, que la frecuencia de respuestas que la explicaban empleando la acción a distancia era comparable con aquellas que lo hacían por referencia a la presencia de campos. En este caso, podría llegarse a resultados similares si se acepta que en la categoría CAM se incluyan respuestas que, aún cuando no mencionan la palabra campo, son "buenas aproximaciones" a tal noción. Se entiende por "buenas aproximaciones" respuestas como la siguiente:

"Porque la gravedad atrae a los cuerpos que están cerca sin necesidad de estar en contacto" (R1.29)

"Porque la gravedad de Planetas, Satélites naturales (todos los cuerpos celestes) se extiende mucho más allá de su atmósfera" (R1.32)

"No están en contacto directo pero sus gravedades producen la interacción" (R1.120)

Respuestas como estas son las que permiten aludir a protoconceptos de la noción de campo.

En cualquiera de los casos antes ejemplificados parecería aceptable que alguna cosa asociada con la gravedad ocupa los alrededores de los cuerpos celestes provocando cierta influencia sobre otros cuerpos. Con estas consideraciones resultaría, nuevamente, una paridad entre las alternativas de la acción a distancia y el campo. Identificar respuestas como las aquí presentadas no ha sido tarea sencilla. Es de destacar que no basta la sola mención de una palabra, como

podría ser el término gravedad, para incluir a la respuesta como una probable noción de campo gravitatorio. Se trata de un trabajo pormenorizado que, siguiendo los lineamientos del análisis de contenidos, intenta identificar posibles relaciones causales en la coaparición de elementos en una secuencia consistente dentro de un esquema de variables múltiples. Al respecto, parece importante revisar los siguientes dos ejemplos:

"Por la gravedad o acción-reacción que se produce entre ambos cuerpos". (R1.22)
"Porque la gravedad atrae a los cuerpos que están cerca sin necesidad de estar en contacto" (R1.29)

A pesar de que en los dos casos "la responsabilidad" de la interacción parecería estar depositada en la gravedad y esto es lo que las hace respuestas similares, la respuesta 1.22 da indicios para asociarla a una fuerza ya que menciona junto al término en cuestión la acción y reacción. Por su parte, el respondiente 29, pone de manifiesto la ausencia de un contacto explícito y es esta la diferencia que da los indicios que llevan a incluir a la respuesta 22 en la categoría FUE mientras que la 29 se ubica en CAM.

La categoría OEX, incluye a respuestas que presentan explicaciones basadas en otros aspectos diferentes a los que se comentaron antes y que no son de interés a los fines de este estudio. De la lectura de los ejemplos antes presentados, puede advertirse que se trata de respuestas cuya fundamentación está focalizada en alguna propiedad o función de los objetos celestes como puede ser su órbita, su movimiento, su atmósfera. Ninguna de las respuestas que aquí se recopilan hace alusiones a fuerzas a distancia o, a condiciones en el espacio que se ubican los cuerpos de manera que se pudiera pensar en campos de fuerzas.

Cuestión 1 c: ¿Cónocés alguna otra forma de interacción, además de la gravitatoria?. Indica cuáles .

Procediendo de manera similar que en las opciones anteriores se separan aquellas encuestas que han sido contestadas de las que no. Dentro de estas últimas se contemplan tres clases: las que quedaron sin responder (71), las que mencionan no saber la respuesta (4) y las que dicen que no conocen otra forma de interacción además de la que relaciona a la Tierra con la Luna (21). Aunque no resulta simple de reconocer cuánto entusiasmo o compromiso puede depositar un ingresante en responder un test, no habría, en principio, motivos para desconfiar de la buena voluntad de los ingresantes. Con todo, si así fueran las cosas resulta, cuando menos, alarmante que 96 de las 151 entrevistas no consigan enunciar otra forma de interacción además de la que se ha presentado antes entre la Tierra y la Luna.

Entre las que sí han dado una respuesta se identifican las siguientes categorías:

- **Alusión a alguna de las formas de interacción que propone el estudio de la Física (FUN)**: Esta categoría contempla las posibilidades de mencionar la interacción electromagnética, la nuclear y la débil.
- **Alusión a alguna fuerza (FUE)**: Son respuestas que proponen como forma de interacción a una clase particular de fuerza.
- **Alusión a la Biología (BIO)**: Se incluyen en esta categoría a las respuestas que no especifican un nombre concreto para la interacción pero que la ejemplifican usando para ello objetos o temas más propios del estudio de la Biología que de la Física.
- **Otras respuestas (ORE)**: Se reúnen en esta categoría respuestas donde la interacción queda caracterizada en términos de objetos o de otros conceptos físicos.

Comentarios en relación con la cuestión 1 c)

Se decide no ejemplificar a cada una de las categorías resultantes ya que simplemente se trata de mencionar nombres de interacción. No obstante, algunos ejemplos, se presentarán formando parte de comentarios más generales como los que siguen a continuación.

- Las categorías no son ni exhaustivas ni excluyentes, de manera que una misma respuesta puede estar codificada por más de un código (responde a más de una categoría) o bien, no estar cubierta por ninguno de ellos porque se encuadra en otras respuestas.
- Bajo la denominación de interacción electromagnética se incluye a: las respuestas que mencionan a la interacción eléctrica (un único caso), la magnética (21 de las respuestas contemplan esta forma) y la electromagnética (2 respuestas incluyen esta alternativa).
- Entre las respuestas se identifican tres denominaciones que, con algunas consideraciones, podrían incorporarse bajo la forma de interacción electromagnética. Estas denominaciones son: química, molecular y atómica. En cualquiera de los tres casos entendemos que se quiere aludir a las interacciones debidas a las partículas cargadas y ello permitiría que estas respuestas (son 8) se incorporaran a la forma electromagnética.
- Las interacciones nuclear y débil son reconocidas, cada una, por un único respondiente.
- Entre los constituyentes de la categoría FUE, algunas de las menciones que se presentan son las siguientes: fuerza de rotación, centrífuga, fuerza de acción y reacción, fuerza normal.
- Como ejemplos de la categoría BIO se pueden presentar:
"Hay muchas formas de interacción, por ejemplo un río que desemboque en el mar o una relación simbiótica entre animales". (R1.18)
"Sí, la interacción del hombre con el medio ambiente en que vive". (R1.108)

- Entre las respuestas categorizadas por OTR se pueden enunciar las siguientes denominaciones asociadas a la interacción: calórica, energía, presión, lumínica, rotación, traslación.
- Ningún respondiente menciona las tres formas esperadas, además de la gravitatoria que se ha mencionado en el propio enunciado. Sólo dos casos hacen alusión a las formas electromagnética y nuclear, por una parte y a electromagnética y fuerza débil, por otra.

Cuestión 1 d: ¿ Dirías que la Tierra es el causal de la interacción Tierra-Luna? ¿por qué?

Esta cuestión propone, de por sí una categorización a priori en relación con las respuestas esperadas, a saber:

- **Causal de la interacción en la Luna (LAL)**

Ejemplos

" La Luna porque su gravedad nos afecta. La gravedad de la tierra podría afectar la Luna pero no lo hace porque no hay nada" (R1.32)

"La luna porque actúa satélite natural de la Tierra" (R1.25)

- **Causal de la interacción en la Tierra (LAT)**

Ejemplos

"La Tierra al tener una mayor masa atrae a la Luna" (R1.38)

"La Tierra que mediante su campo magnético la mantiene girando a la Luna alrededor de ella" (R1.2)

- **Causal de la interacción en ambos cuerpos celestes (TYL)**

Ejemplos

"Ambas, porque ambas tienen campos gravitatorios y se atraen mutuamente". (R1.121)

"Ambas ejercen sus fuerzas gravitatorias una sobre otra" (R1.124)

"Ambas. Para que exista interacción tienen que existir por lo menos dos elementos". (R1.126)

Comentarios en relación con la cuestión 1 d)

Tal como se comenta antes, esta cuestión es una ampliación de la pregunta 1b) puesto que se pretende avanzar sobre los motivos que estarían provocando la interacción de dos cuerpos que no están en contacto. Es de destacar que de las 151 encuestas respondidas, mientras que 76 conforman el grupo de los que no contestan o manifiestan no conocer la respuesta, 73 seleccionan un causal y de éstos 50 respondientes argumentan a favor de este causal. Específicamente, hay 20 respuestas que establecen como causal a la Tierra; 4 a la Luna y 49 a ambos

cuerpos. Entre quienes adjudican como causa de la interacción a la Tierra se comentan diferentes cualidades o funciones que esta última estaría ejecutando a la hora de provocar que la Luna interactue con ella. Tal como se ha analizado en la cuestión 1 a) estas cualidades tienen que ver con sus movimientos (de traslación y/o rotación), su magnetismo (fuerza/campo) y su gravedad (fuerza/campo).

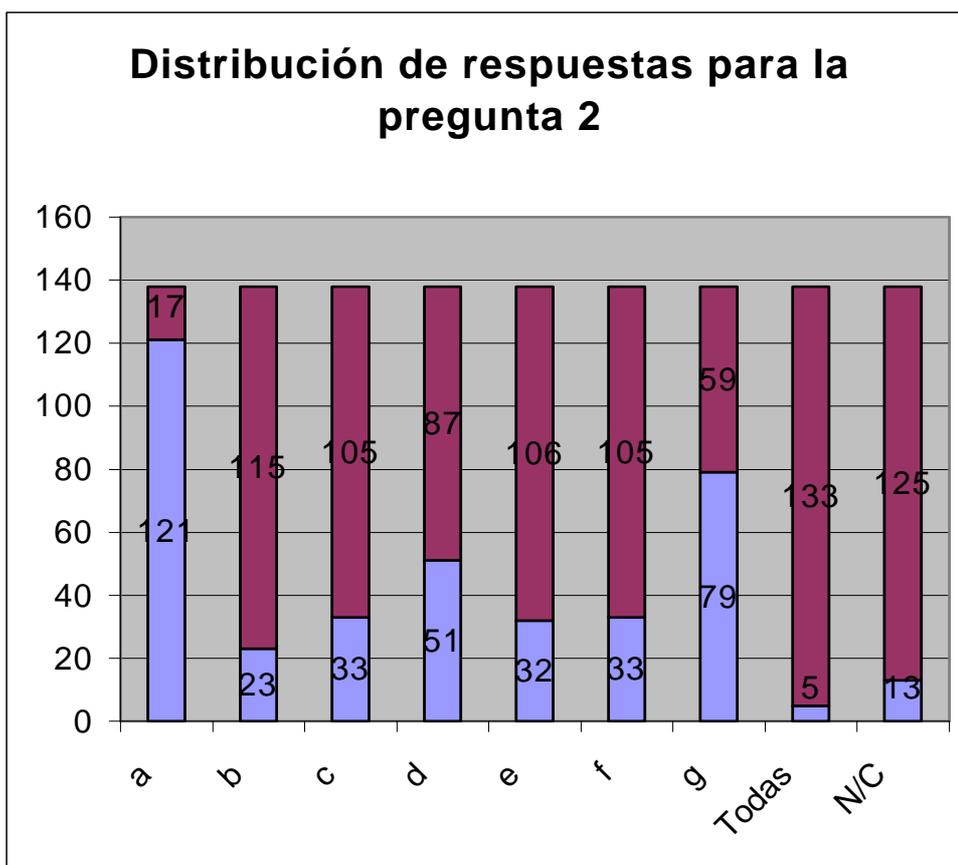
Cuestión 2:

En lo que sigue se enuncian una serie de alternativas, de las cuales se te pide que marques aquellas que ayudan para describir las interacciones que hay en la naturaleza.

Hay interacción cuando los elementos que intervienen:

- a) están en movimiento.
- b) permanecen quietos.
- c) son de tamaño pequeño en relación a nosotros.
- d) son de tamaño grande en relación a nosotros.
- e) son de tamaño comparable al nuestro.
- f) están muy alejados entre sí.
- g) están muy próximos entre sí.

Para esta cuestión se procede analizando la frecuencia de selección de los estudiantes para cada una de las alternativas que se ofrecen. Es de destacar que todas las opciones son igualmente válidas para describir la interacción. Es decir, cabe esperar que todas las columnas presenten la misma altura.



Se ha graficado en el eje vertical la frecuencia de respuestas que han señalado a cada alternativa como aceptable y se ha acompañado con el complemento (el número de respuestas que no la reconoce como aceptable) para facilitar una comparación entre las dos alternativas.

La preponderancia de la alternativa a (los elementos que intervienen están en movimiento) por sobre las restantes descripciones para identificar situaciones de interacción parece estar de acuerdo con el hecho de haber expresado, entre las causas de la interacción entre la Tierra y la Luna al movimiento de esta última alrededor de la primera. Además tratándose del ejemplo que se ha presentado antes esta alternativa es, sin dudas, una alternativa estimada como posible por los entrevistados. De manera análoga (aunque en menor medida) la frecuencia alcanzada por la alternativa d (que se refiere a cuerpos de tamaño grande en comparación al nuestro), podría vincularse con el ejemplo que se ha venido trabajando. La opción g (los elementos que intervienen están muy próximos entre sí) es también una opción de frecuencia elevada en comparación al resto. También en este caso, se estima como probable la vinculación con el ejemplo Tierra - Luna. El hecho de que la Luna sea un satélite de la Tierra que se mueve "en sus proximidades" podría explicar la frecuencia a la alternativa g, siendo que es habitual entre los estudiantes el empleo de expresiones muy próximo o lejano sin establecer patrones de referencia para la comparación.

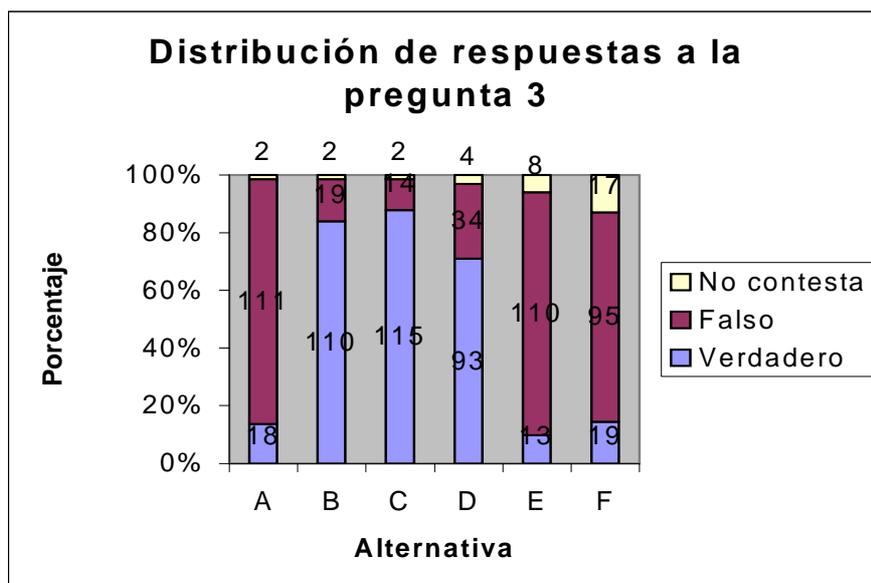
Es notable la escasa (solamente un 3 %) identificación de todas las alternativas como posibles situaciones de interacción.

Cuestión 3

3. En la lista que sigue hay una serie de enunciados de los que se pide que digas si los creés V o F (Dentro de cada Casilla). En cualquier caso, justifica tu respuesta.

<input type="checkbox"/>	La interacción ocurre entre pares de elementos y por tanto sólo hay interacción cuando tenemos sólo dos elemntos.
<input type="checkbox"/>	La interacción ocurre entre pares de elementos pero ello no impide que haya más de dos elementos presentes y varias interacciones entre pares de ellos.
<input type="checkbox"/>	Un mismo elemento puede estar sometido a la acción de más de una forma de interacción al mismo tiempo.
<input type="checkbox"/>	Cuando se tiene la presencia de un cuerpo A, y un cuerpo B, la interacción de A con B ocurre al mismo tiempo que la de B con A.
<input type="checkbox"/>	Cuando se tiene la presencia de un cuerpo A, y un cuerpo B, la interacción de A con B ocurre un tiempo después que la de B con A.
<input type="checkbox"/>	Cuando se tiene la presencia de un cuerpo A, y un cuerpo B, la interacción de B con A ocurre un tiempo después que la de A con B.

El primer acercamiento al análisis de esta pregunta estuvo dedicado a registrar la frecuencia de respuestas verdaderas y falsas para cada una de las alternativas que se presentaron.



Antes de enunciar consideraciones entorno a la lectura del gráfico, se indica que los valores de verdad para las diferentes alternativas son los siguientes:

A: Falsa; B: Verdadera; C: Verdadera.

Las alternativas que siguen son aquellas en las que se incorpora la presencia de la variable tiempo de manera que la aceptación de una de ellas (la D) supone la no aceptación de las dos restantes (E y F) o viceversa. Es decir, mientras la aceptación de la alternativa D podría dar indicios de una adhesión al modelo de acción a distancia, las opciones E y F se estiman más próximas a la teoría de campos donde el tiempo adquiere un valor diferente de cero o lo que es lo mismo la velocidad de propagación de la perturbación no es infinita.

Con las consideraciones anteriores se puede decir que para las tres primeras alternativas más del 50% de los respondientes lo hace por la opción correcta. Para las últimas tres opciones hay que advertir que, en términos generales, las respuestas guardan la coherencia esperada. Esto es, puede aceptarse comparable, el número de opciones verdaderas para D (proposición aceptable desde el modelo de acción a distancia) que de opciones falsas para E y para F (proposiciones que responden a la teoría de campos). Luego, para la población aquí encuestada, parecería que el tiempo se incorpora a la descripción de la interacción con las características de simultaneidad, más próximo al modelo de la acción a distancia.

Algunas de las justificaciones para las opciones escogidas:

Ejemplos de argumentos para justificar la falsedad de la opción A:

"Puede haber más de dos elementos, por ejemplo en nuestro sistema solar, el sol mantiene a la Luna y a la Tierra en órbita y a su vez la Tierra mantiene en órbita a la Luna".(R3.121)

"Deben existir por lo menos dos elementos".(R3.126)

"Ocurre interacción entre todos los planetas del sistema solar".(R3.103)

"Hay planetas con más de dos lunas".(R3.133)

Puede advertirse una notable disparidad en los argumentos que acompañan a las respuestas. El primero, tercero y cuarto ejemplos son en realidad contraejemplos, sin ninguna explicación. Se dice que también hay interacción entre otros elementos. En todos los casos, los ejemplos recurren a situaciones consistentes con el modelo Tierra - Luna, esto es, siguen refiriéndose a la interacción entre cuerpos celestes. El segundo ejemplo es el único en que se exhibe que dos elementos es la condición de mínima aunque resulta incompleto ya que no se enuncia el fundamento de ello.

Ejemplos de argumentos para justificar la verdad de la opción B:

"Existen muchos ejemplos en la naturaleza, por ejemplo el sistema Luna- Tierra-Sol"(R3.4)

"Porque si tengo tres imanes y los junto de a dos se atraen o repelen entre sí, pero con tres, uno se repele y el otro atrae".(R3.5)

"Porque se puede generar interacción entre varios pares de elementos".(R3.9)

"Como ejemplo común se puede usar el sistema solar".(R3.89)

Consideraciones similares a las que se presentaron para la opción A son las que se encuentran en esta oportunidad. Si bien los ejemplos que se mencionan son aceptables no se explica, en ningún caso que la interacción goza del carácter de extensión para más de dos elementos. El tercer ejemplo es el que más se aproxima a esto aceptando que se trata de varios pares de elementos.

Ejemplos de argumentos para justificar la verdad de la opción C:

"Si puede suceder porque un elemento puede tener una interacción y a su vez otra de diferente modo". (E3.35)

"El caso de una interacción magnética y eléctrica".(R3.82)

"Porque puede estar interactuando con varios pares de elementos"(R3.9)

Tampoco en esta oportunidad resultan aceptables las justificaciones. En el primer ejemplo, se trata de una reiteración de lo que el propio enunciado reúne. El segundo ejemplo, si bien menciona el nombre de dos formas diferentes de interacción no contextualiza en qué circunstancias podrían ocurrir en simultáneo. El tercer ejemplo es el más comprometido ya que si bien se habla de interactuar entre varios pares de elementos no se especifica cuáles serían tales interacciones.

Ejemplos de argumentos para justificar la elección de la opción D:

V *"A cada acción corresponde una reacción y ésta es instantánea". (R3.27)*

V *"Para que interactúen deben estar ambos afectados al mismo tiempo". (R3.82)*

V *"Porque los elementos interactúan mutuamente". (R3.151)*

F *"La interacción entre dos cuerpos primero se interacciona A con B".(R3.80)*

De las 131 encuestas respondidas solamente 46, incluyen una argumentación junto a la elección. En el caso de las opciones E y F las justificaciones son escasas y en todos los casos se trata de proposiciones que no agregan información al enunciado propuesto sino que lo reiteran. Por ejemplo:

"Falso, porque un elemento no puede interactuar con otro a destiempo".(R3.151)

"Falso, porque de haber interacción debe ser al mismo tiempo".(R3.5)

4.3.4 Análisis comparativo

a) de las respuestas a las preguntas 1b, 1d y 3b

El análisis de cada pregunta sin contemplar los resultados de las restantes es el siguiente:

Cuestión 1b: Las respuestas se distribuyen en dos grupos aproximadamente iguales, cada uno reúne a un 45 % del total de las respuestas. Mientras que en uno de dichos grupos se identifica a la fuerza como el justificativo del no contacto entre los cuerpos, en el otro, las explicaciones pueden considerarse más próximas a la noción de campo gravitatorio.

Cuestión 1d: Las respuestas se distribuyen entre quienes identifican a la Tierra (20 respuestas) como causa de la interacción, a la Luna (4 respuestas) o a ambos cuerpos (49 respuestas). En este caso, más de la mitad de las respuestas reconocen que la causa es la presencia de ambos cuerpos.

Cuestión 3b: La mayoría de los respondientes está de acuerdo en admitir que en la interacción pueden participar más de dos elementos. (Se registran 110 respuestas verdaderas sobre un total de 131)

La cuestión que surge a toda vista es ¿qué "modelo" explicativo han elegido quienes reconocen a ambos cuerpos como causales de la interacción?³² *Interesa, fundamentalmente cuáles son los elementos (conceptos, proposiciones) que ese modelo incorpora y cuáles son los que excluye. Alcanzar cierta determinación sobre estos elementos podría ser un indicio acerca de las rupturas o filiaciones entre los conocimientos de los estudiantes y los científicos.*

Se procede a una nueva lectura conjunta (de todas las encuestas que responden a 1d según la opción ambos cuerpos) de los ítems 1d y 1b. Esta mirada permite identificar 5 encuestas para "desechar" ya que las respuestas a uno y otro ítem de la pregunta 1 son contradictorias. Además hay 7 encuestas para las cuales no resulta posible establecer la comparación, ya sea porque carecen de una justificación o bien porque contestan el ítem 1d pero no así el 1b.

En síntesis, resulta posible comparar 37 encuestas. Todas ellas guardan una relación coherente entre lo que contestan en cada ítem. Se identifica que 18 aluden, en los dos ítems a la presencia de fuerzas; 11 lo hacen empleando proposiciones de las cuales podrían inferirse características vinculadas a la noción de campo de fuerzas y las 8 restantes a aspectos vinculados con el movimiento de uno y otro astro. Los resultados parecen indicar que no existe una preponderancia de una explicación sobre otra.

Por último la comparación con el ítem b de la cuestión numerada 3 pretende registrar la posibilidad de incorporar a más de dos elementos participando de la interacción. En este caso se está ante un 84% de respuestas aceptables, aún cuando las justificaciones no explican "todo" lo que se esperaría encontrar. Es importante destacar que este porcentaje es análogo al de respuestas obtenidas cuando se intenta encontrar un motivo para la interacción sin contacto entre los cuerpos (ítem 1b). Estos resultados estarían indicando que cualquiera que sea "el modelo explicativo que los estudiantes adoptan" lo hacen concibiendo la

³² La revisión está limitada a revisar aquellas respuestas que optaron por ambos cuerpos por tratarse de la alternativa esperada.

posibilidad de "extenderlo" a más de dos elementos participantes y, consecuentemente, a la influencia de cada uno de ellos sobre los restantes.

b) de las respuestas al ítem 1c con las respuestas a todos los ítems de la pregunta

2

Las alusiones a las diferentes formas de interacción se han comentado en detalle bajo el título correspondiente a la cuestión 1 c). De los 151 encuestados sólo 32 nombran a la interacción electromagnética, 1 a la interacción fuerte y 1 a la débil.

Los resultados para la pregunta 2 están resumidos en la gráfica que distribuye las frecuencias con que se han registrado las alternativas presentadas.

A los fines de establecer comparaciones, la información que se dispone sólo permite admitir que las respuestas obtenidas distan mucho de las que se esperaba encontrar en estudiantes que ya han transitado la educación preuniversitaria. Esto es:

- las cuatro fuerzas fundamentales no se reconocen como las formas de interacción que nuclea a diferentes clases de fuerzas.
- se advierte que solamente un 3% de los encuestados admite que todas las cualidades presentadas en la pregunta numerada 2 son cualidades posibles de una/s u otra/s forma/s de interacción.

c) de las respuestas al ítem 1d con las respuestas a los ítems d,e y f de la pregunta 3

Se completa la comparación entre los ítems relacionando ahora a la pregunta acerca del causal de la interacción con aquellas que intentan incorporar a la variable tiempo en esa interacción. Tal como se dijo antes, el tiempo es, mayoritariamente, desestimado; es decir, parecería primar una explicación en la que participan a la vez los objetos que se vinculan.

4.3.5 Una mirada de las preguntas que propone el test según la teoría de Vergnaud

En este apartado se analiza de qué forma los enunciados del test (y consecuentemente las respuestas al mismo) podría interpretarse, según los lineamientos de la teoría de los campos conceptuales de Vergnaud antes desarrollada. El análisis se focaliza en los *invariantes operatorios*.

Algunos ejemplos, pueden ayudar a comprender el proceso seguido. Todos los enunciados que se presentan en la pregunta dos, pueden entenderse como predicados de un solo lugar donde la interacción es un argumento de una cierta función que tiene características que le son propias. Por ejemplo: *Hay interacción cuando los elementos que intervienen permanecen quietos.*

El reconocimiento por parte de los estudiantes de estos predicados podría brindar un indicio de la relevancia que cada uno de esos enunciados tiene para ellos. Tal como se comenta en su oportunidad, las expresiones más reconocidas, entre la

población encuestada son aquellas que describen la relación entre la Tierra y la Luna, que es el ejemplo que desde el mismo test se propone. Esto podría indicar que los estudiantes no disponen de las competencias necesarias para representarse una situación diferente a la que se les ha presentado. Será, sin dudas, éste el espacio para la intervención del profesor proporcionando situaciones fructíferas para ayudarles a captar los significados.

La pregunta 3 plantea una serie de afirmaciones para las que se solicita que los respondientes determinen su acuerdo o desacuerdo justificando tal elección. En este caso la interacción aparece sustantivada y, según sea el caso, se busca relacionarla con condiciones de necesidad mínima (a y b); reconocer si es posible establecer combinaciones entre diferentes tipos (ítem c) o inferir la evolución temporal de los elementos constituyentes (ítems d, e y f). Con estas cuestiones, se intenta encontrar la respuesta a los siguientes planteos: ¿es la interacción una cuestión que “se extiende” a varios elementos?; el tiempo en que ocurre tal interacción ¿es finito?. Las respuestas a estas formulaciones podrían ayudar para reconstruir el modelo de la situación que los estudiantes se estarían representando. Los elementos que se incluyen en las proposiciones que son parte de la pregunta 3 son relevantes para construir una conceptualización de la interacción. Se trata de: el tiempo, el número de elementos que participa en la interacción y el tipo de interacciones que puede estar afectando a un mismo elemento a la vez.

Restan para el final los comentarios vinculados con la cuestión 1 ya que, siendo (en alguna medida) la de respuesta menos cerrada, la misma daría indicios de ciertas *reglas de acción* que podrían estar empleando los estudiantes encuestados.

Sol —→ *Planeta* —→ *Satélites naturales*
Sol —→ *Tierra* —→ *Luna*

Un elemento del esquema depende de otro, en este caso el Sol mantiene en órbita a la Tierra por su fuerza de gravedad y a su vez la Tierra mantiene en órbita a la Luna por la misma causa.(R1.1)

En oportunidad de realizar el análisis a esta respuesta se la encuadra en la categoría FGU ya que responde a la presencia de la fuerza de gravedad con carácter unidireccional. Es importante notar que tal respuesta encierra de manera implícita el hecho de que la gravedad tiene un carácter causal y unidireccional de los primeros elementos sobre los últimos. Otra manera de interpretar esta respuesta es admitiendo que en este caso no se evidencia la relación de reciprocidad de la interacción: "*Si un objeto A afecta a un objeto B, después, el objeto B afecta al objeto A, es indiferente a la naturaleza de los objetos A y B. Los objetos A y B interactúan o no interactúan*". (Lemeignan, 1994). Para este entrevistado la gravedad del sol actúa sobre el planeta y la gravedad de este

último lo hace sobre los satélites naturales como el caso de la Luna en la Tierra.³³. Nótese que la notación empleada presenta similitudes a una proposición de la forma A actúa (indicado por la flecha) sobre B, que (nuevamente indicado por la flecha) actúa sobre C. Esta respuesta escrita no explicita que haya ninguna clase de relaciones mutuas ni conjuntas ya que podría esperarse cierto carácter aditivo del efecto de la gravedad sobre los satélites a causa de la acción simultánea sobre ellos, del sol y del planeta. Luego, se trata de un teorema-en-acto que podría enunciarse de la siguiente forma:

La gravedad actúa entre pares de elementos desde el primero y sobre el segundo. A su vez, este último podrá actuar sobre un tercero.

Un ejemplo en contrario es el que acompaña a la categoría TYL:

"Ambas ejercen sus fuerzas gravitatorias una sobre otra"(R1.124).

En este caso parece claro admitir que por detrás de ese enunciado se puede reconocer el criterio de reciprocidad antes enunciado.

4.4 Las ideas de los estudiantes de polimodal³⁴

A los fines de obtener la mayor cantidad posible de registros en relación con nuestro tema de interés se decide implementar una versión modificada³⁵ de la encuesta presentada a los ingresantes a la Facultad de Ciencias Exactas de la UNC. Para esto, se opta por encuestar a los estudiantes de noveno año de la Enseñanza General Básica y primero de polimodal con orientación en Ciencias Naturales, algunos de los cuales formarán parte de los alumnos del nivel Polimodal sobre el que planeamos la propuesta didáctica. A partir de una prueba piloto para noveno año y hechos los "ajustes" que se estiman pertinentes se implementa el test para los alumnos de primer año con la opción de entrevistas posteriores en relación con algunas respuestas de las que esperaríamos más detalle. El test modificado es el siguiente:

³³ Este enunciado nada nos dice acerca de la jerarquía establecida. Tal como se presenta podría pensarse que la interacción ocurre desde los elementos más masivos hacia los de menos masa ó, también por cierta proximidad entre los elementos que participan.

³⁴ Stipcich, M. S., Moreira M. A. y Caballero Sahelices, C. (2003) *El significado del concepto de interacción en Física para alumnos de Polimodal* es una versión de este apartado presentada y publicada en la Memorias del II Encontro Internacional Linguagem, Cultura e Cognição realizado en Universidade Federal de Minas Gerais - Belo Horizonte - Minas Gerais - Brasil

³⁵ La modificación supone la necesaria aproximación al lenguaje de estudiantes de octavo y noveno año de EGB para quienes la Física forma parte del área de Ciencias Naturales.

DATOS PERSONALES

Nombre y apellido: -----

Edad:-----

1. A continuación se enuncian una serie de ideas tendientes a definir la palabra **interacción**.

Elige aquella/s que estimes la/s mejor/es representante/s de lo que para vos significa la interacción. En caso de optar por más de una posibilidad coloca un número 1 a la que ubicarías como más completa (según tu criterio) y así siguiendo, 2,3, etc.

Es la acción de un cuerpo sobre otro y con posterioridad la de este último sobre el primero.

Acción mutua entre dos cuerpos.

Acción que ocurre al mismo tiempo en dos cuerpos.

Acción de un cuerpo sobre otro.

Otras alternativas (completar)

2. Las oraciones que siguen hacen una caracterización sobre los elementos que intervienen en una situación de interacción. Se te solicita que marques la/s alternativas con las que estás de acuerdo.

Para hablar de interacción hace falta que:

Al menos se esté en presencia de dos cuerpos.

Sólo existan dos cuerpos presentes.

El tamaño de los elementos que participan en la interacción sea de tamaño comparable a los objetos que estamos acostumbrados a manejar diariamente.

El tamaño de los elementos que participan en la interacción sea de tamaño mucho mayor que el tamaño de los objetos que estamos acostumbrados a manejar diariamente.

El tamaño de los elementos que participan en la interacción sea de tamaño mucho menor que el tamaño de los objetos que estamos acostumbrados a manejar diariamente.

Los elementos que participan en la interacción están en contacto.

Los elementos que participan en la interacción no están en contacto.

Otras alternativas (completar)

3. ¿En cuáles de las situaciones que siguen dirías que hay interacción?. En aquellas oportunidades que tu respuesta sea afirmativa, indica entre quienes está aconteciendo la interacción.

Un carro tirado por un caballo en un camino de tierra.

La luna girando alrededor de la tierra.

Los electrones girando en órbitas alrededor de un núcleo atómico.

Un pie pateando una pelota de fútbol apoyada en el césped.

Un imán y un clavo que se le aproxima apoyados sobre la mesa.

El test fue tomado en los 20 primeros minutos de una clase de Matemática en la que la docente a cargo ofició de administradora del mismo. Se informó a los

estudiantes que se les solicitaba la resolución de un cuestionario de características diagnósticas respecto de un cierto tema de Física. Asimismo se les aclaró que:

- los resultados del mismo guardarían independencia de las notas que pudieran registrar en la disciplina Física del corriente año.
- se solicita nombre del respondiente a los fines de coordinar un encuentro informal (entrevista) para intentar abordar posibles motivos por los cuales se habrían escogido determinadas alternativas.

Los alumnos involucrados en este caso no han cursado al momento de resolver este test, los contenidos correspondientes al núcleo temático Gravitación.

A los fines del análisis de las respuestas se respetará el siguiente recorrido:

- análisis de las respuestas por ítem para toda la población.
- análisis de la consistencia entre las respuestas dadas por un mismo estudiante a diferentes ítems.
- estudio de las respuestas al interrogatorio de la entrevista que permitan profundizar en los resultados anteriores.

4.4.1 Análisis por pregunta

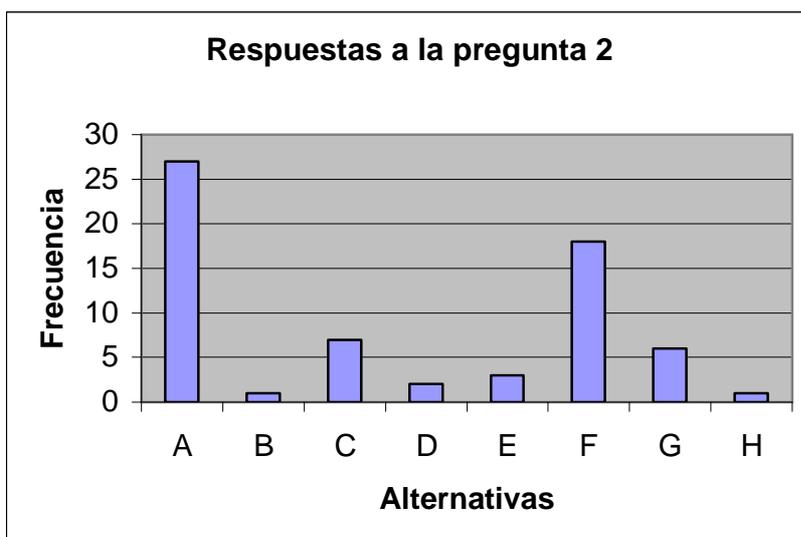
Tratándose de estudiantes que aún no han estudiado formalmente la interacción la pregunta 1, presenta cuatro predicados posibles para decidir acerca de cuál representaría mejor aquello que los respondientes están entendiendo por esta noción. El análisis, da cuenta de que, mayoritariamente, los alumnos han optado por dar una sola respuesta sin establecer órdenes en relación a una mayor o menor "completitud" de la noción que se busca chequear. Se entiende, que tratándose de alumnos de quince años, la diferenciación puede resultar complicada y la alternativa escogida es aquella que mejor se adecua a sus ideas previas sobre el tema. El gráfico de frecuencias de respuestas es el siguiente:



Total de encuestados: 28 estudiantes.

Haciendo un análisis que, en caso de tener escogida una única opción, la estima como aquella que ocuparía el primer lugar en el orden de completitud, el orden de respuestas da como resultado: B,A,D,C. Este resultado parece mostrar que las tres cuartas partes de los encuestados están admitiendo que se trata de un fenómeno que pone a dos cuerpos en relación. La participación de la variable tiempo, que supone la aceptación de las tres alternativas restantes queda relegada, en el mejor de los casos (opción A) a menos de la mitad de los alumnos.

La segunda pregunta de la encuesta presenta una serie de proposiciones que los encuestados podían marcar como relevantes en relación con el tema de estudio. El gráfico que sigue muestra la distribución de respuestas.



Es de destacar que los estudiantes advierten como las principales características para hablar de interacción la alternativa A: *Al menos se esté en presencia de dos cuerpos* y la alternativa F. *Los elementos que participan en la interacción están en contacto*. En el caso de la primera opción, la elección es prácticamente del total de la población (27 la eligieron sobre un total de 28 encuestados), para la segunda la frecuencia es de 18 estudiantes. El resto de las opciones tiene contribuciones que en todos los casos están muy por debajo del 50 % de la población. Esto podría indicar, por ejemplo que la variable tamaño no es considerada relevante ya que en las tres opciones que se la ha incluido (C;D y E) las adhesiones son comparables.

Para el análisis de la pregunta tres se estimaron de importancia dos dimensiones:

- cuántos estudiantes advierten en qué casos hay interacción; y
- entre qué pares de elementos identifican que hay interacción.

El gráfico de adhesión a los casos en que admiten que hay interacción es el que sigue. Es importante destacar que en todas las proposiciones que se les presentaban a los encuestados era posible reconocer alguna forma de interacción.



Una primera aproximación al análisis pone en evidencia que ninguna de las alternativas fue escogida por el total de los encuestados y, más aún, que un único encuestado reconoció a todas las opciones como muestras diferentes de situaciones donde hay diferentes formas de interacción. Otra nota para destacar en relación con el número de respuestas favorables que se han obtenido para cada caso es que las opciones más elegidas son aquellas que los mismos estudiantes estarían en condiciones de experimentar.

Cuando identifican entre quiénes acontece la interacción los pares más nombrados son los siguientes: carro/caballo; pie/pelota; imán/clavo. Con mucha menor frecuencia se nombra la interacción entre la Luna y la Tierra, la mesa y el clavo; el carro y el suelo; los electrones y el núcleo, etc.

4.4.2 Análisis de la consistencia entre las respuestas dadas por un mismo estudiante para diferentes ítems.

Para analizar la consistencia de las respuestas brindadas por un mismo estudiante se presenta a continuación una tabla que registra las elecciones de cada entrevistado. La lectura por filas de la misma facilitará la tarea que aquí se propone.

Para dar un detalle acerca de cuáles son las encuestas que se entienden guardando consistencia en las respuestas obtenidas para los diferentes ítems se hace necesario aclarar que:

- para el ítem 1 la elección de la opción A invalida necesariamente la alternativa C cuando ambas fueran seleccionadas con el mismo nivel de jerarquía. Sin embargo, bien pueden escogerse las opciones A y B ó B y C, mientras que la alternativa D es incompleta y se espera entenderla en términos de una relación unívoca y no biunívoca como sería de esperar para la noción de interacción.
- para el ítem 2 se espera como condición de necesidad el reconocimiento de la alternativa A.
Para el resto de opciones, siempre dentro del ítem 2, cabe esperar que, en caso de marcar otras, los hicieran por todas las que incluyen la variable tamaño y las dos que se refieren a la proximidad de los objetos que participan de la interacción. Tanto si se marcan todas como si no se marca a ninguna de estas posibilidades se dará por supuesto que no se trata de una variable de relevancia.
- el tercer ítem presenta cinco alternativas igualmente ricas en casos de interacción. Sería deseable el reconocimiento de la mayor cantidad posible de estas en las elecciones hechas por los entrevistados. Cualquiera de estas elecciones se esperaría acompañada de la opción 2A.

Con estas consideraciones y la lectura de la tabla de la página 137 puede concluirse que, para el caso de la pregunta número 1 hay una única encuesta (la 24) que no guarda los patrones de coherencia esperados.

El resto de las encuestas que elige la opción D, lo hace como única posibilidad (por ejemplo, la número 6) o acompañada de otra opción como la B pero aclarando cierta prioridad. Luego, ninguno de estos casos resulta inconsistente. En relación con la selección de la opción D, estos resultados están de acuerdo con otras investigaciones que ponen de manifiesto la cuestión de que para algunos estudiantes la interacción es asimétrica entre los elementos que participan de la situación. (Moreira, 2002; Jiménez Valladares y Garzón, 1996).

Para el caso del ítem número 2, hay una única encuesta(la número 8) que puede desestimarse por no optar por la alternativa A (que es la de mínima) aunque sí selecciona la F. Hay, sin embargo otras inconsistencias. Por ejemplo, respecto de la variable tamaño (que puede asociarse a las opciones C,D y E) las encuestas 10, 14, 15, 20,21 y 27 optan sólo por algunas de ellas. De manera similar para la cuestión de la distancia (alternativas F y G) la cuestión es mucho más notable, se cuentan 21 casos donde prima una u otra alternativa y sólo 6 que reconocen a ambas. A su vez, del primer grupo, son mayoría las adhesiones a situaciones de cuerpos en contacto. Para el caso de estos estudiantes parecería difícil concebir la interacción como un fenómeno de cuerpos a distancia sin que medie un contacto entre ambos. En cualquiera de estos casos que no caen dentro de los resultados que se esperarían desde la ciencia, una explicación posible es que continua primando la asimetría entre los elementos participantes, que ya se ha comentado antes.

Por último para el ítem 3 un único caso (la encuesta número 22) se corresponde con los resultados esperados.

Los resultados ponen de relieve que las ideas de los estudiantes de primer año de polimodal están lejanas de las que la comunidad científica esperaba encontrar. En síntesis:

- conciben a la interacción, mayoritariamente, como la acción mutua entre dos cuerpos.
- no identifican a la variable tiempo como un factor de relevancia para la relación. (pregunta 1, alternativas, b y d).
- reconocen que para hablar de interacción hace falta considerar dos participantes.(pregunta 2, alternativa a).
- optan, mayoritariamente por admitir que la interacción ocurre entre cuerpos que están en contacto. (pregunta 3, alternativas d y e)

N° de encuesta	ITEM 1					ITEM 2								ITEM 3				
	A	B	C	D	E	A	B	C	D	E	F	G	H	A	B	C	D	E
1		X				X					X						X	X
2	X					X					X							X
3*		X	X			X					X			X				
4		X				X												X
5*	X	X				X		X	X	X			X		X	X		X
6*				X		X					X			X				
7*		X		X		X								X	X	X	X	X
8*		X		X							X						X	
9*	X	X	X	X		X					X			X			X	X
10*	X	X	X			X		X			X			X			X	
11		X				X					X						X	X
12*	X	X				X										X		X
13		X				X						X		X			X	
14*	X		X			X				X	X					X		
15*	X	X				X		X				X				X		X
16*	X	X				X					X			X	X	X	X	X
17		X				X					X			X			X	X
18				X		X					X			X			X	X
19		X				X						X		X	X	X		X
20		X				X		X				X		X	X	X		X
21*	X	X		X		X		X			X			X			X	X
22		X				X					X	X		X	X	X	X	X
23		X				X								X			X	
24	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X				X		X
25				X		X					X							X
26			X			X					X						X	X
27*	X	X	X	X		X		X			X			X		X		X
28*	X	X	X	X		X								X	X		X	

Tabla 8: Comparación entre las respuestas de un mismo estudiante

* Significa que se han establecido jerarquías

4.4.3 Las entrevistas

Tal como se dice antes, la idea de profundizar en las respuestas de los alumnos empleando una entrevista semiestructurada permitiría aumentar las garantías respecto de las inferencias que pudieran hacerse sobre las mismas. Se escogen para ello a cuatro estudiantes. La selección se restringe a criterios sustantivos. *"Al no estar en juego, no en primera instancia, la cuestión de la generalización de resultados, la cuestión de la cantidad de sujetos queda abierta: podrán estudiarse un único sujeto, unos pocos, o grandes cantidades; no hay, pues, criterios formales sino criterios sustantivos para tomar una decisión. El mayor o menor provecho no resulta directamente de las cantidades sino de que las características de los sujetos escogidos sean pertinentes al tipo de preguntas que tiene planteadas la investigación."* (Samaja, 1993, p. 272)

Las cuatro encuestas seleccionadas se diferencian en el modo que, a primera vista conciben a la interacción. Para ello se analiza el modo en que cada uno de los estudiantes seleccionados resuelve la cuestión número uno. Así, uno de los seleccionados elige una única alternativa, dos optan por ordenar a dos de las cuatro posibilidades y un cuarto ordena jerárquicamente a todas las alternativas propuestas.

Respecto de la cuestión número dos se busca que la entrevista pueda dar indicios de la manera en que los estudiantes la han comprendido. Interesa establecer relaciones entre la interacción y las variables tamaño de los elementos participantes y distancia a la que se ubican. Por ejemplo, se hace necesario constatar si, en aquellos casos en que no seleccionan características vinculadas con el tamaño es a causa de que no se lo estima como un factor de relevancia.

La pregunta numerada tres intenta corroborar la coherencia entre los enunciados en palabras que se han presentado en las preguntas anteriores y ejemplos de situaciones que los estudiantes conocen del ámbito cotidiano. La entrevista podrá colaborar en clarificar algunos casos que, con una primera mirada pudieran resultar poco claros para arrojar alguna idea acerca de lo que los estudiantes estuvieran pensando acerca de la interacción.

El protocolo es semiestructurado buscando, fundamentalmente, aproximarse a aquello que el respondiente estaría pensando al momento de dar la respuesta. Como guía puede tenerse el siguiente esquema

Cuestión 1

Si no estableció orden

1. ¿Podrías explicar porqué elegiste esa alternativa como la que mejor representa a la idea que tenés acerca de la interacción?

3. ¿Agregarías alguna otra cosa para ampliar tu idea de la interacción?

Si estableció un orden

1. ¿Por qué elegis la alternativa ----- como la más representativa?. ¿Qué tiene esta posibilidad respecto de las otras?

Cuestión 2

1. ¿No crees que haya que pensar en el tamaño de los cuerpos que participan?

2. ¿Y si están en contacto o separados? ¿Eso será importante de tener en cuenta o siempre habrá interacción estén los cuerpos en contacto o estén separados?

3. En el caso de cuerpos que están separados, ¿qué es lo que los hace interactuar?

4. ¿Y si están juntos?

Cuestión 3

1. ¿Cómo se relaciona esto con lo que marcaste en 2?. ¿Con cuál de las dos cuestiones estás de acuerdo?

2. ¿Se te ocurre una manera de dibujar cómo están interactuando?

4.4.4 Análisis conjunto de las respuestas al test y a las entrevistas

Los comentarios que aquí se presentan responden a las desgrabaciones de las entrevistas. La explicación a la elección de la alternativa acción de un cuerpo sobre otro parecería la más global y por tanto la más general, sin demasiada especificidad al punto que podría reunir "todo" aquello que uno quisiera.

El entrevistado número cuatro muestra claras confusiones que no le permiten diferenciar entre acción mutua y acción de un cuerpo sobre otro.

Solamente el entrevistado tres está en condiciones de decir que la alternativa que ha elegido muestra con claridad qué es lo que efectivamente pasa. Y agrega más: no podría acontecer la misma acción al mismo tiempo en dos objetos diferentes.

Los resultados parecen indicar que haría falta mostrar que incorporar en la definición más características la vuelve más determinista y, por tanto, con mayores posibilidades de conocer el campo de aplicabilidad.

También queda claro para estos entrevistados que la interacción es algo que necesita de un mínimo de dos elementos pero que puede extenderse a más. De la misma manera el tamaño no resulta una variable a considerar. Hay interacción con independencia de los tamaños en juego. Es interesante ver cómo el entrevistado cuatro advierte que no había reparado en el enunciado y revisa su elección a la luz de los ejemplos de la pregunta tres.

Nótese cómo en este punto el hecho de que la variable tamaño no sea de importancia está en relación con la idea de que es algo que no figura en la proposición que describe la interacción y, por tanto, no hay que tomarla en cuenta. Esto podría explicar porqué no se repara en el tiempo ya que su incorporación

tiene más que ver con un modelo para representarse la interacción (acción a distancia o modelo de campo) que con el hecho en sí mismo que es analizar la manera en que dos cosas se relacionan.

Para la cuestión tres, parecería que hay más facilidad en advertir la interacción por contacto que a distancia. En realidad, no parece haber demasiada oposición a admitir que objetos que no están en contacto puedan estar interactuando, lo que resulta más difícil es encontrar un motivo para explicar cómo lo hacen.

4.5 Las opiniones de los Profesores: características de la población, selección del instrumento y administración del mismo³⁶

La decisión acerca de los sujetos que forman parte de este estudio estuvo abierta a criterios sustantivos. Para ello, se recurre a la experiencia recogida como docente en la cátedra Prácticas de la Enseñanza de la Física (correspondiente al Profesorado de Matemática y Física de la Facultad de Ciencias Exactas de la UNICEN). Esta actividad ha posibilitado el contacto comunicacional y observacional, con una buena parte de los docentes de la ciudad de Tandil, ofreciendo herramientas de juicio relacionadas con la disponibilidad que los mismos podrían manifestar para esta propuesta, la cantidad de información a brindar al investigador y, en consecuencia, una "medida" de la calidad en cuanto a que la misma sea precisa y despojada de la intención de impresionar para la observación o el registro solicitado. Se asume que este conocimiento previo respecto de algunas variables relevantes para este estudio, es el que permite admitir que las opiniones de los entrevistados habrán de ser una buena aproximación y brinda elementos para aplicar ciertos procedimientos de manera de "recortar" una muestra del universo de posibilidades sobre los profesores en activo. (Samaja, 1993). Luego, *la selección se ha orientado, fundamentalmente, entorno a la calidad de la información a recabar. Una segunda consideración, no obstante, tomó en cuenta la antigüedad en la docencia.* Esta característica responde a indagar si se detectan diferencias significativas en cuanto a los discursos respecto del tema de esta investigación. Para ello se prevén tres segmentos poblacionales: menos de cinco años de ejercicio de la docencia; entre 5 y 10 años y más de 10 años de antigüedad.

La población entrevistada se distribuye según las siguientes características:

³⁶ Stipcich, S. y Moreira, M. *Las opiniones de los profesores de Física sobre el concepto de interacción en la enseñanza de la Física.* Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências. Vol. 2 nº 2. 2002 es una versión resumida de los resultados que en este apartado se exponen y que también fueron presentados en el I Encuentro Iberoamericano de Investigación Básica en Educación en Ciencias. Burgos, España, 2002.

<i>Antigüedad</i>	Menos de 5 años	Entre 5 y 10 años	Más de 10 años
Entrevistado número	3-6	2-4-7-8	1-5-9-

Esta investigación se enrola entre los estudios de tipo exploratorio, orientándose para conseguir una cierta familiarización con un conjunto de hechos que aún no se conocen demasiado, como son las ideas acerca de los fenómenos relacionados con la interacción. Luego, las estrategias que se pongan en juego no tienen la pretensión de obtener evidencias para verificar hipótesis sino que más bien, pretenden el descubrimiento o la elaboración de nuevos observables para generar nuevas preguntas y nuevas hipótesis. Estas consideraciones fueron la guía para optar por entrevistas de tipo etnográfico con una estructura básica y flexible de ciertas preguntas orientadoras. La entrevista etnográfica ha sido caracterizada por Spradley (1979) como un tipo particular de evento discursivo con énfasis en la voz del entrevistado por sobre las propuestas que haga el entrevistador. La entrevista de tipo etnográfico se constituye, en este caso, en el instrumento que reúne las características más favorables para el tratamiento con colegas sobre un determinado tema que pretende abordarse desde diversos ángulos. *Específicamente, se atenderá a dos ángulos para el análisis: el significado que tiene el concepto de interacción para los profesores y el lugar que ellos le asignan en la enseñanza de la Física.*

El guión de la entrevista (que se transcribe a continuación) es un *modelo tentativo* de las posibles preguntas que se tomaron como referentes para introducir, cada vez que resultara posible, a lo largo de la misma.

1. ¿Qué materias has dictado o dictas (de Física) en la actualidad?
2. Antigüedad en la docencia
3. Si tuvieras que hacer una presentación acerca de qué es la Física, cuál es su campo de estudio. ¿Qué dirías?
4. Supongamos que tuvieras la posibilidad de organizar la currícula de Física para toda la formación preuniversitaria (EGB y Polimodal). ¿Qué ejes organizadores adoptarías?. ¿Cómo establecerías la continuidad entre ellos?
5. Cuando se estudia la electricidad, la mayoría de los textos comienza con electrostática, formula la ley de Coulomb y luego introduce la noción de campo eléctrico. ¿Lo haces así?. Si así fuera ¿cuál es el motivo de introducir la noción de campo. ¿Trabajas en Gravitación universal de manera similar?
6. Si te tocara preparar el tema Fuerzas en la naturaleza, ¿Cómo lo harías?. ¿Qué fuerzas nombrarías? O mejor dicho, ¿Qué criterio usarías para hacer la presentación?
7. Cuando por alguna causa, tenés que pensar en interacción ¿con qué lo asociás?

8. ¿Es un concepto que usás a diario como profesor?
9. ¿Con qué otros conceptos de Física lo relacionás?. ¿Cómo?
10. ¿Qué importancia le asignás desde la Física?
11. ¿Qué papel juega en otras áreas además de las de Gravitación y Electromagnetismo?
12. ¿Creés que es importante que se enseñe?
13. ¿Cómo lo enseñarías?. ¿Lo hiciste ya alguna vez?. ¿Cómo resultó la experiencia?
14. ¿Creés que se le da la importancia debida desde la enseñanza?
15. ¿Cómo te parece que los alumnos aprenden este concepto?

Las dos primeras cuestiones son las que habitualmente se conocen como para “romper el hielo”, crear un clima distendido y brindar la oportunidad al entrevistado de describir el espacio curricular en que se inserta en la enseñanza.

En cuanto a las restantes cuestiones, no es sencillo de optar entre aquellas preguntas que ponen el énfasis en el significado del concepto y aquellas que lo hacen en el lugar o rol que el docente le asigna ya que se trata de dos aspectos que se podrían entender como complementarios a la hora de planear el aprendizaje. De cualquier forma, un intento de clasificarlas en este sentido, ha orientado a considerar a las preguntas numeradas por 3,4,10,11,12,13 y 14, como aquellas más vinculadas con el lugar que le cabe al concepto, en la estructuración que se opere de la enseñanza. Las restantes (5,6,7,8,9 y 15) ponen el acento en el significado que el informante estaría asumiendo para la interacción.

Para el significado de un concepto se admite “la tesis central de la semántica del rol conceptual SRC (a veces llamada también semántica del rol funcional, causal, cognitivo o computacional). Afirma que los significados de las expresiones lingüísticas son determinados por los contenidos de los conceptos y actitudes proposicionales para cuya expresión pueden usarse, siendo estos contenidos determinados a su vez por su rol funcional en el esquema conceptual de una persona. Los roles funcionales que determinan los contenidos se denominan roles conceptuales porque se supone que los conceptos son los constituyentes de los pensamientos y de las actitudes proposicionales en general”. (García Suárez, 1997). En esta misma línea, se asume que el significado de una expresión sólo puede entenderse holísticamente, en función de sus relaciones con otras palabras que comparten con ella un campo léxico. Por ejemplo la pregunta numerada 5, indaga las posibles vinculaciones del concepto *interacción*, con otros conceptos que podrían asociársele como es el de *campo*. En las teorías de campo se introduce un mediador para la interacción y es ésta la idea que se intenta explorar en esta cuestión. Se supone que, por ejemplo, la presencia de un cuerpo cargado “distorsionará” o “creará una condición en el espacio” tal que si introducimos otro cuerpo cargado, éste experimentará una fuerza. Tal “potencialidad” para producir

una fuerza se denomina campo eléctrico. (Feynman et. al, 1972). De manera análoga las cuestiones 6,7,8,9 y 15 se diseñan a los fines de rastrear asociaciones entre las nociones de fuerza e interacción y cualquier otra alternativa que los docentes pudieran aportar.

En relación con el otro aspecto que interesa explorar hay que decir que se trata del lugar o rol que los docentes asignan a este concepto en la enseñanza de la Física y que no es, una mirada independiente de la que se ha expuesto antes, respecto del significado que se tenga del mismo. No obstante, el lugar que se tenga reservado para la interacción, de manera explícita o no, en el diseño de la programación que cada docente tenga prevista para la enseñanza de la disciplina dará información respecto de los niveles de transposición didáctica que estuvieran operando en el conocimiento erudito. La enseñanza de conocimientos teóricos es un problema que preocupa cada vez más a los profesores, debido a la constatación de altos porcentajes de respuestas erróneas de los estudiantes a cuestiones que, aún cuando siendo teóricas, exigen más allá que la mera repetición de la teoría impartida. En particular, el tratamiento de conceptos como el de campo de fuerzas demanda un cambio ontológico, en cuanto a la forma de ver las interacciones como producto de acciones a distancia. Esta consideración, que habitualmente no es tomada en cuenta ni en textos escolares ni en los propios diseños de planeamientos de enseñanza (Furió, et. al, 1997) lleva a considerar la teoría de campos como una forma muy abstracta de justificar las interacciones y, en consecuencia a no enfatizar la necesidad de su introducción en la enseñanza. Así, las cuestiones destinadas a este aspecto se orientan a indagar si el entrevistado menciona a la interacción como un concepto estructurador en su organización de contenidos, si podría ser empleado para dar cuenta de aquello que se ocupa la Física, etc.

4.5.1 El análisis del contenido de las entrevistas

Se entiende al análisis de contenido como una posibilidad de reducir la información (de primera mano) contenida en una cierta forma de comunicación (escritos, discursos, reglamentos, conversaciones, etc.) que permite alcanzar unas ciertas inferencias válidas y confiables con respecto a su contexto. (Hernández Sampieri, et. al. 1991). Partiendo de esta idea se procede a leer y releer una y otra vez, las transcripciones de cada una de las nueve entrevistas realizadas para establecer las primeras divisiones del material y así esbozar las posibles categorías emergentes. Tales categorías se examinan en sucesivas “pasadas” sobre los datos a la luz de “miradas nuevas” que consideran tanto el contenido explícito en el material a analizar como el mensaje implícito que es posible desvelar: expresiones contradictorias, temas “silenciados”, etc. (Lüdke y André, 1986). Las unidades de análisis son segmentos del contenido de los discursos que permiten inferir los dos aspectos en los que se focaliza el análisis: el *significado* que los entrevistados atribuyen a la noción de interacción y el *rol* que le estarían asignando en la enseñanza.

En lo que sigue se presentan las categorías emergentes del análisis con un comentario breve que las caracteriza y los ejemplos de extractos de los discursos, que dan cuenta de estar formando parte de ellas y que se estiman como los más representativos de las opiniones de los entrevistados.

Los ejemplos presentan un extracto del diálogo mantenido durante la entrevista, que abarca varios turnos de habla además del específico en que se alude al punto de interés. Se entiende que esta presentación permite situar al lector de manera que le resulte sencillo resignificar la respuesta en el contexto de la conversación mantenida.

❖ **Con relación al significado**

Asociado a las cuatro fuerzas de la naturaleza: Se asume que hablar de interacción es presentar a alguna de las cuatro fuerzas de la naturaleza ó a todas. (FNA)³⁷

Ejemplo 1

Entrevistador: S - Entrevistado: L

1. S: Bien, si tuvieras que preparar el tema "fuerzas en la naturaleza".
2. L: Sí.
3. S: Tal vez ya lo has hecho.
4. L: No así como tema dado así, no.
5. S: Si tuvieras que hacerlo ¿qué podes decir?, ¿qué se te ocurre de primera mano?.
6. L: Campo unificado de fuerzas, se me ocurre eso. Hablar de las cuatro grandes fuerzas. Pero mencionarles que en algún momento van a encontrar fuerzas a distancia y fuerzas de contacto, pero que para la física esa clasificación no es muy rigurosa y que hay que hablar de las cuatro grandes fuerzas, me parece a mí. Ahí se centra todo. Porque si no le va a empezar a quedar otra vez una gran confusión: que los resortes que la superficie, que la fricción. Si no pasa como con la energía . Cuanto menos categorías haya en una clasificación y más abarcativas sean más simple es la cosa, porque quedan tres cositas y más nada. Se me ocurre esto a primera vista.
7. S: De acuerdo. Ahora, cuando vos por alguna causa tenés que pensar en interacción cuando preparas tus clases, ¿con qué idea lo asociás?
8. L: Sí, interacción-fuerza. Es más lo doy como sinónimo: cuando en Física, dos cuerpos interactúan lo hacen mediante alguna fuerza y esa interacción es de cuatro tipos. No?. Los veo así como sinónimos.
9. S: ¿Vos lo usás a diario a este concepto?
10. L: Sí, palabra interacción sí, porque en algún punto cuando hablamos de la fuerza yo les digo, bueno pero ¿qué es una fuerza?. Porque estamos en la de siempre, hablamos de una cosa y no sabemos lo que es. Y llegamos a un

³⁷ La sigla entre paréntesis corresponde a la codificación de cada una de las subcategorías que se emplea en el reconocimiento de un segmento de discurso que se asocia a cada una de ellas.

punto en que nos damos cuenta que todas las definiciones que hay escritas en los libros dan vueltas. Es un círculo vicioso. Como capacidad de producir trabajo y el trabajo es que la fuerza que produce el desplazamiento de la partícula. Pero bueno ¿cuál es la manera de tenerlo más claro?. Bueno si hay dos cuerpos que interactúan y bueno ahí hay una fuerza. Pensémoslo así para simplificarlo.

11. S: Sólo con fuerza lo asociás?

12. L: Interacción sí. Sólo con fuerza. Lógicamente con campo está. Tiene que haber un campo no?

Tomado de la entrevista número 4

Ejemplo 2

Entrevistador: S1 - Entrevistado: S2

1. S: Si vos tuvieras que preparar el tema Fuerzas en la naturaleza. Si tuvieras que dar ese tema. Te dieran ese título.
2. S2: Sí
3. S1: ¿Se te ocurre cómo lo harías?; nombrarías algunas fuerzas?; usarías algún criterio para presentar las fuerzas?
4. S2: Sí yo hablaría de las cuatro fuerzas que actúan en la naturaleza. Cómo se relacionan, en qué punto está la Física tratando de estudiar de qué manera se puede explicar el fenómeno gravitatorio y de qué manera se está esperando que eso se pueda unir a las otras tres. Yo sí lo haría así: en la naturaleza hay cuatro fuerzas que con el avance de la física del siglo pasado se han podido unificar tres de esas fuerzas y que en realidad uno de los campos de estudio de la Física es ver cómo se puede conciliar ésta con las otras tres para tener una teoría unificada.
5. S1: Bien, esta dice: cuando vos por alguna causa tenés que pensar en interacción, ¿con qué cosa lo asociás?. Vos como docente, por supuesto.
6. S2: Lo he dado con ejemplos. Lo daría siempre refiriéndome a alguna cosa que pudiera presentarlo en algún esquema concreto. Si tuviera que darlo a nivel planetario lo daría de una manera , si tuviera que darlo a nivel de fuerza eléctrica daría el mismo concepto pero trataría de verlo distinto.
7. S1: Sí, lo particularizarías, digamos.
8. S2: Claro, porque sino corres el riesgo ... cuando uno trata de modelizar las cosas micro a nivel macro uno corre el riesgo de confundir las cosas y mezclar. Creo que acotaría cada cosa a un ejemplo particular.
9. S1: La pregunta que sigue es ¿con qué conceptos de Física lo relacionás?
10. S2: Pienso que para no crear confusión tendría que referirlo en cada punto particular a una cosa, acotarlo a un fenómeno particular.
11. S1: Bien. Y ¿te parece que es algo importante de enseñar?
12. S2: La idea de interacción?
13. S1: Sí.
14. S2: Sí, para mí sí. Sí porque vos no podés explicar ningún fenómeno, ningún fenómeno real digamos, si no ves que hay una interrelación entre esas cosas y que esas interrelaciones modifican otras cosas. O sea lo que vos estudiás son las modificaciones que se producen en esos casos. Entonces yo creo que es fundamental enseñar la raíz del problema, ¿por qué se produce eso?. Bueno,

porque hay una interacción. En algunos casos puede conocerse y en otros casos no como en la gravitación. Qué es exactamente eso. Esto produce este efecto y esto es lo que nosotros estudiamos.

Tomado de la entrevista 8

El ejemplo 1 permite advertir que en el turno 8 el entrevistado enuncia explícitamente qué cosa es para él la interacción. Este significado se complementa con los comentarios que se desprenden de los turnos 6 y 12. En síntesis, para este docente habría una cierta jerarquía en la que cuatro categorías diferentes (las cuatro grandes fuerzas, las llama) engloban a una serie de diferentes nombres de fuerzas. Asimismo estas fuerzas son la manifestación de una interacción. También en el turno 12, sin demasiadas precisiones expresa la vinculación con la presencia de un campo. Nótese como todo el extracto es útil para identificar más allá del significado que se le otorga a la interacción valoraciones epistemológicas y didácticas que estarían "por detrás" de las opiniones del entrevistado. Así, al final del turno 6 el docente manifiesta su manera de concebir la presentación de un tema: pocas categorías, lo suficientemente abarcativas como para simplificar una infinidad de situaciones. En el turno 10, por su parte, expresa cierta "disconformidad" con la secuencia que suelen seguir algunos textos donde una noción conduce a otra y así sucesivamente haciendo uso de diferentes definiciones. Se manifiesta por una presentación más situada de algunos conceptos: "si hay dos cuerpos que interactúan y bueno ahí hay una fuerza". La fuerza es la manifestación de dos cuerpos que interactúan.

El ejemplo 2, por su parte, pone en evidencia en el turno 4, una mirada globalizadora para presentar las fuerzas que actúan en la naturaleza y, más aún, mostrarlas como parte de la estructura de andamiaje de la Física dando cuenta de cómo ha evolucionado este conocimiento. De manera semejante al docente cuyo discurso se ha ejemplificado con el número 1, en este ejemplo se dan muestras del abordaje didáctico que llevaría a cabo (en el turno 6) y de los argumentos para la diferenciación que propone según sea el tipo de interacción de que se trate (en el turno 8).

Asociado a la tercera ley de Newton: La interacción es concebida como uno de los principios de la Dinámica. (DIN)

Ejemplo 1

Entrevistador: S - Entrevistado: C

1. S: Si tuvieras que preparar el tema fuerzas en la naturaleza.
2. C: Sí.
3. S: Si pudieras decir cómo lo harías. Si harías una clasificación, si harías...
4. C: Bueno yo cuando trabajo fuerzas empiezo con la naturaleza. O sea la naturaleza como entorno. Entorno cotidiano, con todo lo que pasa. Este eh. No se porqué, por ejemplo ese llavero (señala un llavero sobre la mesa) queda ahí, no se mueve. Por ejemplo, preguntas como esas con los chicos. Preguntas como ¿por qué se te cae la goma?. Sí?. Ehmmmm. Por ejemplo

cosas como, este....¿qué sensación tenés sobre los hombros con la ropa?. En verano y en invierno. Cosas como esas, pavadas así. Tonterías, nada complicado no?. O ¿cómo hacés para pararte y cómo hacés para sentarte? Entonces que vayan analizando. Y siempre lo hago desde la realidad.

5. S: ¿Y hacés alguna clasificación?
6. C: Ah, bueno la que sí ellos se dan cuenta es cómo se representa: con un sentido y una dirección. Una clasificación en qué sentido me lo decís?
7. S: Algunos textos te presentan fuerzas de contacto, fuerzas a distancia,...
8. C: No, jamás yo hago eso. Solamente lo hago pero diferente, eso es en la Física. Yo en la Física jamás. Lo que lo hago es en Tecnología porque hay una necesidad de que sea en contacto o sea que sea a distancia. Pero es una realidad distinta. En Física no hago clasificaciones. Tampoco hago primera, segunda y tercera palanca.
9. S: Cuando por alguna causa, cuando preparas tus clases tenés que pensar en interacción. ¿Con qué lo asociás?
10. C: Interacción, fuerzas....(piensa un momento) y por ejemplo, cosas como principio de acción y reacción. Ejemplos elementales, simples. A ellos mismos le salen los ejemplos.
11. S: Ese es un concepto que usás a diario?
12. C: ¿El de acción y reacción?
13. S: El concepto de interacción.
14. C: Sí, yo en realidad, todos los principios de la dinámica cuando los chicos ya los comprenden trabajamos todo analizando con los principios de la dinámica.

Tomado de la entrevista número 5

Ejemplo 2

Entrevistador: S - Entrevistado: C

1. S: Bien, esta pregunta dice: Cuando vos por alguna razón tenés que pensar en la idea de interacción, ¿con qué cosa lo asociás?. Tenés que pensar para alguna clase.
2. R: Con algún ejemplo concreto o te referís al tema específico.
3. S: No. La pregunta se refiere a ¿qué es lo primero que se te viene a la cabeza cuando se dice interacción?. Sea un tema o un ejemplo.
4. R: Y, la Dinámica.
5. S: ¿Te referís al principio de acción y reacción?
6. R: Sí.
7. S: ¿Das ese tema en tus clases?
8. R: Sí.
9. S: ¿Te parece que es un concepto que se usa a diario (la idea de interacción) en las clases de física?
10. R: No, ...,no.
11. S: Y cuando das la idea de interacción en el principio, ¿con qué otros temas o conceptos de Física lo asociás?.
12. R: Y mirá, todavía no he llegado. Este es el primer año que tengo polimodal acá. Justamente estoy empezando con dinámica. Así que todavía no he llegado específicamente a ese tema. Pero no se me ha ocurrido con qué otro ejemplo se les puede llegar a vincular.

13.S: ¿Te parece que puede ser algo importante de enseñar esa idea?. ¿O no, puede pasar desapercibida?.

14.R: No se si uno por ahí lo da por costumbre o porqué. Uno habla siempre de los principios, los enumera...No, pero me parece que sí. Que a medida que nosotros lo reforcemos ellos van a entenderlo mejor. A veces están desconectados: la física es una cosa y la vida es otra, nosotros tenemos que conectarlos.

Tomado de la entrevista 9

Es interesante ver en el primer ejemplo que, si bien en el turno 10 el entrevistado parece identificar interacción con fuerza, el mismo se ha categorizado en relación con los principios de la dinámica. La explicación para esta decisión se funda en el hecho de que en el turno 8, se hace explícito el hecho de que al trabajar con fuerzas se lo hace sin recurrir a ninguna clasificación. A diferencia de esto, el ejemplo presentado para la categoría FNA comenta la adhesión a las cuatro grandes fuerzas. Por otra parte, a partir del turno 10 el principio de acción y reacción pasa a ser la identificación que este entrevistado adopta para la noción de interacción.

Otros dos aspectos que se pueden reconocer en la conversación son: uno de carácter epistemológico, como es la referencia explícita a entes cotidianos y a "la realidad" (turno 4) y otro de corte más didáctico que tiene que ver con la no adhesión a las clasificaciones para ciertos contenidos, según se manifiesta en el turno 8.

El segundo ejemplo es más explícito en cuanto a "la adhesión" que el entrevistado manifiesta respecto de la dinámica. Prueba de esto es no solamente lo que se manifiesta en el turno 4 sino también en el turno 10 (es un concepto que no usa demasiado, parecería que sólo queda restringido al principio de acción y reacción) y en el turno 12 donde no se identifican relaciones con otros temas de la Física.

Asociado a una manera de vincular objetos: Hablar de interacción es poner de manifiesto que es imposible pensar en objetos aislados, es enfatizar las vinculaciones posibles. (VIN)

Ejemplo 1

Entrevistador: S - Entrevistado: M

1. S: Si te tocara preparar el tema Fuerzas en la naturaleza, ¿cómo lo harías?. ¿Nombrarías algunas fuerzas?, ¿Usarías algún criterio para nombrar unas u otras?, ¿darías ejemplos?, ¿establecerías alguna clasificación?

2. M: (*Piensa un largo rato*). Queee... generalmente una clasificación. O sea el primer ejemplo que mencionaría lo hago en forma oral. Que se entienda, pero no empezar a representar las cosas para que no quede la idea, como lo vamos a hacer medio simple, que esa es solamente la fuerza que interviene en ese cuerpo....Como si de un punto se ejerciera una fuerza y nada más... No en todos los puntos del cuerpo. Entonces para llegar a esta idea el ejemplo es netamente de introducción, lo más simple posible, después una clasificación y

después los ejemplos bastantes simples. Por ejemplo, los ejemplos bastantes simples.

3. S: Al principio de este tema vos hablaste de dar una clasificación, clasificación en relación a qué criterio ?
(.....*Piensa bastante. Parece perdida*).
4. S: ¿Hablás de fuerzas de una clase particular?
5. M: Primero hablo de fuerzas en general. Aunque después, en mi caso no desarrollamos fuerzas eléctricas, pero sí las menciono....
6. S: Si por alguna razón vos tuvieras que pensar en interacción ¿con qué lo asociarías?
7. M: Mmmmm, con que... con la influencia de un cuerpo o de un cuerpo sobre otro. Por ejemplo como la interacción planetaria o...eh.....
8. S: ¿Vos usás este concepto a diario?, en tus clases, por ejemplo....
9. M: Piensa un tiempo. No, yo creo que no.

Tomado de la entrevista número 3

Ejemplo 2

Entrevistador: S - Entrevistado: A

1. S: Cuando vos por algún motivo, en tus clases, tenés que pensar en el concepto de interacción. ¿Con qué lo asociás?
2. A: Bueno, me da la sensación que la primera vez que se habla de interacción, por lo menos que yo hablo interacción es cuando hablamos de cargas. Creo que es la primera vez, porque antes con calor y temperatura pero...aunque hablo de cuerpos en contacto no lo uso. Pero interacción como fuerza es con el concepto de cargas.
3. S: O sea que no usás demasiado a diario este concepto?
4. A: No.
5. S: Y con qué otra cosa se te ocurre que lo relacionarías si tuvieras que usarlo, no?
6. A: El concepto de interacción...
7. S: Sí
8. A: Y bueno ya te digo que cuando se da calor trabajamos con cuerpos que interactúan y ahí sí se trabaja bastante porque se hacen muchas experiencias de intercambio de calor.
9. S: O sea que ahí ves interacción entre sistemas.
10. A: Claro entre sistemas, cuerpo a cuerpo o cuerpo ambiente
11. S: Te parece qué es un concepto que puede tener importancia en la Física?
12. A: Y sí. Me parece que en todo momento hay cuerpos interactuando o por lo menos.. por ejemplo un cuerpo cualquiera con el aire está en todo momento. Y ahí viene el problema de la Física, que se desprecia el aire para evitar que en los cálculos sea todo muy engorroso. Pero el chico tiene que tener la idea que en todo momento están las cosas interactuando entre sí. Pero por ahí no se puntualiza tanto, se lo da por sentado y no se puntualiza.

Tomado de la entrevista número 7

Los ejemplos escogidos para ilustrar la categoría VIN lo hacen introduciendo una variante respecto de las dos categorías anteriores y es que en ambos casos, descontextualizan la noción de los contenidos conceptuales con los que tradicionalmente se asocia en el campo de la Física. Dicho de otra manera; es habitual que se aluda a la interacción planetaria, gravitacional, eléctrica, etc. En estos ejemplos, si bien hay menciones en esa dirección la interacción se encuadra en términos de la influencia que una cosa ejerce sobre otra. (Turno 7 del ejemplo 1 y turno 12 del ejemplo 2). Esta elección está en cierto acuerdo con la definición que ofrecen los diccionarios españoles. En ellos puede leerse que interacción es la influencia recíproca mientras que, interaccionar es ejercer una acción recíproca. En el primero de los casos, parece, cuando menos inapropiado, que la fuerza, aún cuando es pensada en términos de la resultante de un número considerable de contribuciones puntuales, aparece disociada del término interacción.

Con relación al rol

Estructurador de los contenidos escolares de Física: Se asume que puede ser el eje para presentar a cada una de las cuatro formas de manifestación que se conocen en la naturaleza relacionadas con ciertas propiedades de la materia y determinados fenómenos. (ECF)

Ejemplo 1

Entrevistador: S - Entrevistado: L

1. S: ¿Qué importancia le asignás vos a ese concepto en la física?
2. L: Tron-cal diría yo. Es como energía. Para mí es fundamental, por ahí energía envuelve más cosas. Pero para mí es central.
3. S: O sea que estimás que es importante que se enseñe?
4. L: Sí, es importante, sí. Podría ser ese, mirá ahora que lo pienso podría ser ese un eje transversal: fuerza. Tipos de fuerza. Podría ser ese otro eje: tipos de fuerza. Habría que verlo no?.
5. S: Y te parece que los chicos están en condiciones de aprender esta noción de interacción?.
6. L: Humm, ahí está el problema. Y bueno, yo creo que hay grupos que sí y otros que no.

Tomado de la entrevista número 4

Ejemplo 2

Entrevistador: S - Entrevistado S

15. S: Bien. Y ¿te parece que es algo importante de enseñar?
16. S: La idea de interacción?
17. S: Sí.
18. S: Sí, para mí sí. Sí porque vos no podés explicar ningún fenómeno, ningún fenómeno real digamos, si no ves que hay una interrelación entre esas cosas y que esas interrelaciones modifican otras cosas. O sea lo que vos estudiás son las modificaciones que se producen en esos casos. Entonces yo creo que es fundamental enseñar la raíz del problema, ¿por qué se produce eso?. Bueno,

porque hay una interacción. En algunos casos puede conocerse y en otros casos no como en la gravitación. Qué es exactamente eso. Esto produce este efecto y esto es lo que nosotros estudiamos.

19. S: Y ¿te parece que los alumnos pueden aprender ese concepto?, ¿están en condiciones de aprender ese concepto de interacción?

20. S: Yo creo que sí si vos lo podés llevar a un plano más... o sea menos despojado de un lenguaje muy muy científico y llevarlo a una cosa más elemental. Por ejemplo si yo hablo del concepto de peso todo el mundo tiene una idea intuitiva de lo que es el concepto de peso. Bueno, pero ¿qué es en definitiva el concepto de peso?. Es una interrelación, una cosa, una digamos... algo que está produciendo una fuerza con otra fuerza sí?. Una atracción que pasa por ahí en determinadas cosas y que esto lo podemos llevar estudiándolo a modelizarlo de esta manera. Yo creo que, me parece a mí, no se ... pienso que los chicos tienen que tener idea intuitiva de muchas cosas de esas.

Tomado de la entrevista número 8

En cualquiera de los ejemplos presentados hay un reconocimiento de la importancia que tendría la inclusión de la noción de interacción en los planes de estudio. Asimismo, se evidencia una valoración favorable respecto de la posible repercusión que esto tendría entre los estudiantes.

Obstaculizador en la enseñanza : Esta categoría engloba a aquellas expresiones que, en la programación de los contenidos, que sitúan el “grado de dificultad” que una noción podría generar por delante del rol que la misma podría desempeñar en la enseñanza. (OEF)

Ejemplo 1

Entrevistador: S - Entrevistado: C

1. S: He mirado textos para el tema electromagnetismo y he visto que comienzan por electrostática, después dan la ley de Coulomb y luego te introducen la idea de campo eléctrico y...

2. C: Pero cuando vos das magnetismo lo das al revés le hablás de la idea de campo en las experiencias, les das la idea antes de hablar de fuerzas magnéticas. Ellos se dan cuenta que hay algo, un espacio que los rodea, un campo, una región, una zona que los está rodeando que hay acciones magnéticas entonces lo visualizan y lo ven con los espectros y después los hacés con las agujas que se van... entonces es como que entra más naturalmente. Por eso doy magnetismo antes

Tomado de la entrevista número 2

Ejemplo 2

1. S: Cuando se aborda el estudio de la electricidad los textos comienzan por cargas, introducen la ley de Coulomb y luego la noción de campo eléctrico. ¿Podrías dar un criterio que justifique incluir la idea de campo eléctrico en el desarrollo de esos temas?.

2. G: Para mí lo que tiene importancia es el concepto de campo. Lo que a mí me gustaría lograr en física es llegar a campo. Lo veo como una idea moderna, linda, que cae dentro de los modelos actuales. Hablamos de campo gravitatorio, hablamos de campo eléctrico, hablamos de campo magnético. Hablamos de campo electromagnético. Para mí lo que tiene sentido en sí es el concepto de campo. Tiene importancia.
3. S: ¿Vos lo trabajarías a partir de esta secuencia o no?
4. G: Trataría de introducirlo como un concepto natural.
5. S: ¿Antes que lo de Coulomb?
6. G: Sí. Tratar de introducirlo como un concepto natural. ¿Por qué tiene importancia para los físicos el concepto de campo?
7. S: ¿Y vos creés que la idea de acción a distancia después?
8. G: Eso. Por eso sería bueno un cursito. Cuando uno lee las circulares de ministerio viene así. Vos te ponés a pensar en la física y sí. En los últimos años. Último siglo, llamale ellos lo emplean mucho. ¿Y a nosotros qué nos interesa?. Ver cómo hacemos para acercar al alumno a los conceptos actuales. Por eso en esa documentación está.
9. S: Vos te referís en la documentación de la provincia?
10. G: Yo creo que sí. Hay algo en esa documentación que me quedó en la mente. Fijate que para hidrostática y neumostática el concepto de campo no estaría. Yo, por lo menos no le logro ver la relación, capaz que está. Y lo que más me carcome es que hidrostática y neumostática no está. No se porqué no figuran. Habría que ver cuál fue el espíritu de no incluirlo. Por ahí tiene que ver con que lo toman para E.G.B. A mí me parece que ha sido ese el espíritu. Desde la experimentación se puede ver muy bien. En cambio, el concepto de campo es duro. Pero para mí hay que tratar de llevar los alumnos hasta ahí.
11. S: O sea que tu idea es primero campo y luego, todo lo otro?
12. G: En eso estoy de acuerdo con la reforma ministerial.
13. S: Bueno, por último. Si tuvieras que preparar una clase para dar el tema fuerzas en la naturaleza.
14. G: Uf, acerca de los distintos tipos de fuerza. (Piensa un largo rato). Es todo un tema esto de fuerzas. Es muy amplio. Pero para mí no se si tiene sentido, si tuviera que preparar una sola clase, no partiría de nombrarlas. No me parece provechoso para nosotros. Sí si partimos de que mi eje globalizador es estructura de la materia. Y trabajo bien, o por lo menos intento dentro de lo que puedo trabajar con el concepto de campo. Cómo a partir de la estructura y del concepto de campo, y hasta dónde me siguen los alumnos. Lo cual seguramente no es lo mismo que el investigador o el concepto que uno puede llegar a dar, hasta dónde puedo llegar a organizarlos en diferentes tipos de fuerzas. En base a la estructura y al campo. Si no me parece que no va. Esto es un concepto abstracto, que les cuesta. Para mí no tiene sentido nombrarlas. A partir de la estructura me parece que surge más natural y al surgir más natural lo hacen propio.

Tomado de la entrevista número 1

Es de notar que en los últimos ejemplos elegidos los entrevistados no niegan la importancia de la enseñanza de nociones como la de campo de fuerzas, sin

embargo son cautelosos a la hora de arriesgar cuáles podrían ser los resultados de incorporarla en los planes de estudio. En los dos casos hay alusión a que una posibilidad para reducir la complejidad que podría acarrear el tratamiento del tema estaría en hacerlo "de manera natural".

4.5.2 La interpretación de los resultados

Respecto del significado

La primera cuestión que se quiere discutir son los posibles criterios que estarían por detrás de las opiniones que se recogen en las diferentes categorías que han resultado.

FNA es, lo que se podría denominar la categoría esperada, aquella que alude a una de las posibles manifestaciones de la materia ó a todas ellas. Es decir, era esperable que a la hora de otorgar significado a la interacción una buena parte de los entrevistados lo identificaran con las características de FNA por tratarse del patrón que responde al esquema conceptual de la Física consensuada en la actualidad: *"A primera vista, existen muchos tipos de fuerzas en la naturaleza como, por ejemplo, fuerzas elásticas, intermoleculares, interatómicas, interiónicas, de roce, de cohesión, de adhesión, de viscosidad y otras. Hay también varias maneras de clasificar las fuerzas tales como de acción a distancia, de contacto, disipativas, conservativas, atractivas, repulsivas, de corto alcance, largo alcance. etc. Entretanto, en la raíz de todos esos tipos de clasificaciones están apenas cuatro fuerzas fundamentales, correspondientes a las cuatro interacciones fundamentales observadas en la naturaleza: fuerza gravitacional (interacción gravitacional), fuerza electromagnética (interacción electromagnética), fuerza débil (interacción débil) y fuerza fuerte (interacción fuerte)".*(Moreira, M. 1990)

La categoría DIN, por su parte, puede comprenderse como si hubiera operado una reducción en el alcance del término interacción, ya que los docentes que se identifican con ella restringen la noción al campo de la dinámica donde constituye explícitamente el enunciado de una de las leyes de Newton. Algo para destacar, es el hecho que los entrevistados que se ubican en esta categoría manifiestan explícitamente, no haber transitado por demasiados cursos diferentes en la enseñanza de la Física. Esto podría llevar a pensar que la presencia de DIN sea a consecuencia de que se trata de profesionales que, probablemente han estado abocados a la enseñanza de la Mecánica ya que éste se presenta como el núcleo temático más frecuentemente trabajado en las aulas.

Por último, quienes se encuadran en VIN se focalizan en otro lugar respecto de las categorías anteriores. Tal como ha sido caracterizada (podría enunciarse como la imposibilidad de encontrar cuerpos aislados), puede entenderse como un principio o un punto de partida para alcanzar construcciones o derivaciones más elaboradas. Si bien, antes hemos dicho que la presencia de DIN podría ser motivo de que en el campo de la dinámica la palabra interacción aparece explícitamente, también en términos de un principio, es de notar que en ese caso se avanza en la conceptualización del mismo poniendo de manifiesto que tal interacción se traduce

en la presencia de fuerzas de la misma intensidad, sentido contrario y aplicadas en objetos diferentes.

Las opiniones de las dos primeras categorías, parecen adoptar como criterio para dotar de significado a la interacción, al entramado conceptual de la Física (ambas aluden a relaciones o vinculaciones de la interacción con otros conceptos o temas); por su parte, las opiniones que forman parte de la tercera, parecerían centrarse más en los procedimientos (objetos que interactúan o sistemas que interactúan uno sobre otro).

Siguiendo las consideraciones anteriores, esta tercera categoría podría pensarse como una ampliación del alcance del término interacción según los lineamientos de la Física. En esta oportunidad parecería ser adoptado en los términos del lenguaje cotidiano y atravesando otros campos más allá del mundo físico. Es decir, que si se ordenaran las categorías según el campo de acción que tienen, se podría partir de VIN y terminar en DIN. Mientras que una proposición que se ubica en VIN resulta ajena a los condicionantes de la Física, una proposición que es parte de DIN resulta demasiado restringida a un aspecto del espectro de posibilidades que ofrece la Física.

Respecto del rol

Puesto que uno de los propósitos era indagar si la interacción podía considerarse un principio estructurador en la selección de los contenidos para planificar la enseñanza de la Física se esperaba, según las cuestiones que se emplearon para esto, los valores sí/no. Sin embargo, este no fue el caso.

La categoría OEF, no niega o desconoce la importancia que la interacción y los temas vinculados a ella tendría en la organización curricular, sólo que la condiciona. Si bien, esto es alentador en relación a que lo consideran un tema de interés parecería que hace falta trabajar en cómo abordarlo. Es de notar cómo los docentes asignan a conceptos como el de *campo* tanto un reconocimiento en cuanto a su jerarquía en el entramado conceptual de la Física, cuanto una dificultad para su aprendizaje. No se discute que como docentes en ejercicio, cuentan con una buena dosis de conocimiento del medio que les permite aventurar ciertas tendencias de dificultad en algunos temas específicos, sin embargo parecería que se trata de hipótesis a priori. Muchos de ellos hacen explícito que no han trabajado la noción de campo o que cuando lo hacen es en el área de Magnetismo.

4.5.3 En síntesis

Los resultados antes comentados pueden resumirse en la siguiente tabla:

Categoría	FNA	DIN	VIN	ECF	OEF
Entrevistado Número	1-4-5-6-8	3-5-9	3-6-7	1-4-5-8	1-2-3-7

Luego, cotejando el número de entrevistado de la tabla anterior con la correspondiente tabla donde se presenta la antigüedad se puede afirmar que:

- La mayoría de los docentes con más de quince años en la docencia admiten a la interacción como sinónimo de una de las cuatro formas de manifestaciones posibles en la naturaleza. El resto, opta por considerarla como un tema a cubrir en el campo de la Dinámica o un principio, de carácter más bien general, por el cual se garantiza que no es posible encontrar cuerpos aislados en el universo.
- Si bien no se niega el rol jerárquico que el término ocupa, dentro de la Física, el mismo es desestimado como contenido escolar.
- El entrevistado número 5 (que pertenece al segmento de máxima antigüedad), que aparece formando parte de FNA y también de DIN y ECF parecería concebir a la interacción como un principio estructurador de los contenidos de la Física. Entre estos contenidos, las fuerzas se presentan bajo cuatro categorías posibles para dar cuenta de cuatro formas de interacción. A la vez, dentro de la dinámica, la interacción adquiere las connotaciones de un principio.
- El entrevistado número 3 (que forma parte de los de menor antigüedad), también aparece compartiendo tres categorías. En este caso, parecería concebir el significado de la interacción según VIN y DIN a la vez que lo admite como un obstáculo para la enseñanza de la Física (OEF).
- A excepción de los últimos dos comentarios donde entrevistados de dos segmentos poblacionales opuestos atribuyen significados y jerarquías que pueden considerarse como los polos de las alternativas surgidas, en el resto de las categorías la antigüedad no parece ser un factor que introduzca demasiadas diferencias ya que ninguna de las categorías está identificada con docentes de un único segmento poblacional.

Algunas cuestiones que se plantean a consecuencia del análisis son las siguientes: ¿qué significa para estos docentes enseñar el concepto de campo de "manera natural"³⁸?. Admitiendo que es un concepto que tiene sentido ser enseñado, o como manifiesta uno de los entrevistados "habría que darlo" ¿no hay niveles de transposición posibles que puedan moderar ese grado de dificultad que los entrevistados le asignan?.

³⁸ Al menos la mitad de los entrevistados usan esta expresión.

Una vía para profundizar sobre estas preguntas podría estar en las visiones epistemológicas de los entrevistados. Algunos de ellos asocian esa *"manera natural"* con la posibilidad de *"visualizar"* el espectro de un imán. Esto permite suponer que la mirada de los docentes estaría teñida por un cierto realismo según el cual, los elementos de una teoría son representativos (en ciertos aspectos y hasta cierto grado) de aspectos del mundo cotidiano. Sin embargo, *"...la ciencia actual, en especial la ciencia física, nos dice que el mundo de nuestra experiencia cotidiana no es real: no sale y se pone el sol, sino que es la tierra la que da vueltas, no hay sillas y mesas sólidas, sino campos y partículas subatómicas o, peor aún, perturbaciones en el continuo espacio-temporal, etc."* (Putnam, 1994).

Una segunda alternativa estaría en operar alrededor de la *interacción como objeto a enseñar*. *"Un contenido de saber que ha sido designado como saber a enseñar, sufre a partir de entonces un conjunto de transformaciones adaptativas que van a hacerlo apto para ocupar un lugar entre los objetos de enseñanza. El trabajo que transforma de un objeto de saber a enseñar en un objeto de enseñanza es denominado transposición didáctica"*. (Chevallard, 1997). Parecería que, por el momento, es todavía demasiada la distancia entre la noción de interacción como objeto de saber (que tiene sentido de considerarse en la currícula de Física) y como objeto de enseñanza. Esto es, se debería procurar un trabajo que contribuyera en esa dirección.

4.6 Con miras a la propuesta

El estudio realizado con los textos de uso más frecuente, las entrevistas con los docentes en ejercicio y las respuestas al test presentado a los estudiantes han permitido advertir que el de interacción es un concepto, prácticamente desestimado como contenido a enseñar. Si bien los textos no lo ignoran, sólo en algunos de los publicados más recientemente asume un lugar de cierta jerarquía al ser presentado como un núcleo organizador de las fuerzas que se encuentran en la naturaleza.

"En nuestro sistema educativo son, sin dudas, los libros de texto los mediadores privilegiados y más influyentes. Las editoriales producen su propia "interpretación" y desarrollo de las prescripciones curriculares. En el momento de la planificación es habitual emplear el libro de texto tal como viene y adaptar a él las propias prescripciones sobre la enseñanza. De hecho en muchas escuelas la tarea de planificación se reduce a la selección del texto a utilizar y seguir en el desarrollo de las clases" (Aguilera, 2002)

La cita permite anticipar lo que se corrobora luego, con las entrevistas a los docentes y, por último, con las respuestas de los estudiantes.

Los docentes asumen, mayoritariamente, que el estudio de las interacciones incorporando la noción de campo es "altamente complejo". A colación de esto, optan por ocuparse de las fuerzas por una parte y sólo en casos aislados, discuten la noción de campo, principalmente magnético, por la posibilidad de "volverlo más

visible” a partir de experiencias con limaduras de hierro pero sin establecer las limitaciones de uno y otro modelo o las ventajas de adoptar uno por sobre el otro.

Para los estudiantes, por su lado, la atracción entre la Tierra y la Luna se explica como el resultado de fuerzas de variada índole (centrífuga, de gravedad, etc.) o bien a causa de algún agente mediador entre ambos que también adquiere cierto aspecto “sobrenatural” (el movimiento, la gravedad, etc.) o cuando menos, de difícil explicitación. Esto no parece sorprendente si se toma en consideración que la cadena de transposiciones didácticas que experimenta el concepto de interacción queda prácticamente truncada en los textos universitarios. Dicho de otra manera: si los docentes preparan sus propuestas de clases empleando, fundamentalmente, los textos de nivel polimodal y éstos no contemplan la interacción o lo hacen de manera muy difusa, este contenido resultará ajeno a los estudiantes testeados. Esta situación tiene, en cierto sentido, una ventaja para el fin de este trabajo ya que las respuestas de los estudiantes serán, básicamente, las ideas que ellos traen, previas a la instrucción escolar.

Los resultados obtenidos son, en buena medida, coincidentes con los comunicados por otros autores que han investigado acerca de las nociones de campo de fuerzas y fuerza. (Solbes y Martín, 1991; Martín y Solbes, 1999, 2001; Martín Quero, 1999; Domínguez y Moreira, 1988; Furió y Guisasola, 1993; 1998; Bar, Zinn y Rubin, 1997; Greca y Moreira, 1997).

El panorama trazado para la interacción tiene algunas características que, tal como se menciona al principio, son también identificables en diagnósticos sobre la manera en que se enseñan otros temas de la currícula de la Física en la educación polimodal.

A pesar de los numerosos trabajos de investigación que dan cuenta de teorizaciones acerca de cómo implementar cambios en la enseñanza de manera de alcanzar mejores resultados en los aprendizajes de los estudiantes (Barquín, 1991; Pérez y Gimeno, 1992; Cachapuz, 1992; Gallagher, 1993; Duschl, 1997) la observación del trabajo en las aulas muestra que se conservan muchos rasgos de la llamada “enseñanza tradicional”. Porlán y Martín (1994) expresan algunas de estas características del trabajo del profesor del siguiente modo:

“...a) convierte directamente los contenidos de las disciplinas científicas en contenidos curriculares, sin que medie ningún tipo de reflexión acerca de la naturaleza del conocimiento que se pretende promover en la escuela; b) implica y favorece una visión fragmentaria, acumulativa y absoluta de la ciencia y de los contenidos escolares; ignora los aspectos éticos, actitudinales y procedimentales de la educación, sin tomar en consideración las aportaciones que la ciencia puede hacer en estos campos; d) considera a los alumnos receptores pasivos de información como si no tuvieran experiencias y significados espontáneos sobre fenómenos naturales; e) separa los contenidos de la metodología didáctica y de la evaluación, como si entre los procesos de producción y regulación de significados y los significados mismos no hubiera relaciones de interdependencia; f) ignora la dimensión social y colectiva del aprendizaje; g) concibe la evaluación como una actividad selectiva y sancionadora, que suele centrarse en la medición de aprendizajes memorizados mecánicamente por los alumnos.”

Los resultados obtenidos sugieren la necesidad de profundizar en el tema diseñando y poniendo en práctica situaciones variadas que colaboren para que los estudiantes pudieran evolucionar hacia los significados esperados desde el marco de la ciencia. A modo de nexo entre los resultados que aquí se han comentado y los que se esperan obtener luego de la intervención didáctica se enuncia a continuación un grupo de invariantes operacionales (que se esperaría que funcionen como teoremas-en-acto en los esquemas de asimilación de los alumnos) que deberían contemplar las situaciones que se incluyan en la propuesta del próximo capítulo. Dicho de otra manera: el capítulo quinto presentará un planeamiento didáctico con foco en el contenido escolar interacción gravitatoria. Tal planeamiento tomará como punto de partida la situación diagnóstica aquí esbozada. La meta a alcanzar, en términos del contenido disciplinar, puede enunciarse como una serie de invariantes operacionales para la interacción que esperaríamos que formaran parte de los esquemas de nuestros estudiantes cuando los enfrentamos a diferentes situaciones.

Ellos son:

- *Carácter recíproco*: Si un objeto A afecta a un objeto B, después, el objeto B afecta al objeto A, es indiferente a la naturaleza de los objetos A y B. Los objetos A y B interactúan o no interactúan. (Lemignan, 1994). En términos de fuerzas, podríamos escribir que

$$|F_{AB}| = |F_{BA}|$$

- *Carácter composicional*: Un objeto A puede estar sometido de manera simultánea a diferentes formas de interacción independientes unas de otras.
- *Carácter aditivo*: Puede enunciarse en términos del principio de superposición de campos. El campo total debido a todas las fuentes es la suma de los campos debidos cada fuente. Si C es el campo producido por varias fuentes, podemos escribir que:

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

- *Carácter simultáneo*: En términos del modelo de acción a distancia la interacción ocurre a la vez en los dos elementos que participan.
- *Carácter instantáneo*: En términos de la teoría de campos de fuerzas existe un tiempo finito para que un objeto A interactúe con otro objeto B.
- *Principio de independencia de las dimensiones de los objetos intervinientes*: Las interacciones son posibles entre objetos del nivel microscópico, mesocósmico o macroscópico.
- *Principio de independencia del estado dinámico de los objetos participantes*: Las interacciones son posibles sea para objetos en reposo como para objetos en movimiento.
- *Principio de independencia de la separación entre los objetos participantes*: La interacción se da tanto para objetos muy próximos entre sí como para objetos muy alejados.

Los invariantes esperados se han expresado en términos de caracteres y principios porque se entiende que son enunciados que desempeñan funciones

diferentes dentro del campo conceptual de la interacción. En el caso de los primeros se trata de propiedades derivadas del marco teórico consensuado hasta la fecha. Los principios, en cambio, determinan el campo de validez de los caracteres.

5

La propuesta didáctica

5.1 Introducción

El capítulo se estructura en dos secciones. La primera de ellas se ocupa de esbozar un panorama acerca de la epistemología de los contenidos seleccionados; el tipo de conocimiento que se busca producir desde la enseñanza; las características del ámbito donde se desarrolla la propuesta, los conocimientos previos que los estudiantes han trabajado y la dinámica de las clases.

La segunda sección contiene la propuesta propiamente dicha con los elementos que se estiman necesarios para dar cuenta de la manera en que se concibe el tratamiento del tema en las clases: propósitos, contenidos implicados, estilo de las actividades en que se involucrará a los estudiantes y posibles respuestas. Para cada uno de estos elementos se discuten criterios acerca de su incorporación y el modo en que inciden en el corpus de la propuesta.

5.2 Análisis epistemológico de los contenidos implicados en la propuesta de enseñanza

En este apartado se comentan algunas consideraciones respecto de la naturaleza (y consecuentemente la importancia) del conocimiento que abordará la propuesta didáctica.

“La importancia del concepto de campo (en particular campo de fuerzas) tanto desde un punto de vista científico como técnico es indiscutible.(...) y sobre todo que durante el proceso de enseñanza se olvida frecuentemente, que las interacciones entre partículas pueden describirse de diversas formas (fuerzas, campos, energías, etc.) y podemos desorientar a los alumnos sino se clarifican suficientemente los conceptos (...)” (Martín y Solbes, 2001).

Intentar abordar la interacción gravitatoria desde el modelo newtoniano de la acción a distancia y también desde la noción más moderna de campo gravitatorio, requiere trabajar sobre el cambio ontológico que supone abandonar la idea de una interacción gravitatoria relacionada con la presencia de dos masas perfectamente localizadas, para pasar a concebirla extendida en el espacio de influencia de una de ellas. Esto es, la interacción gravitatoria puede ser sin que sea necesario la presencia de una masa. Se trata ahora, de una propiedad del espacio. Hace falta transitar desde el fenómeno centrado en la acción de los cuerpos con masa únicamente dependientes de esta masa concentrada en un punto y de la distancia entre ellas hacia otra manera que los ve en función de los procesos que se llevan a cabo en el medio que rodea las masas.

“La concepción de Newton es, en cierta medida, semejante a la teoría de Demócrito: el mundo está constituido por «corpúsculos» sólidos, extensos y por espacio vacío. Sin embargo, hay una tercera entidad, la fuerza. Cada corpúsculo posee la propiedad de «actuar a distancia» y ejercer fuerzas directa e instantáneamente sobre otros cuerpos del universo.” (Berkson, 1985, p. 39)

Para Faraday (precursor en enunciados que abonan a la teoría de campos) la mirada al mundo físico es diferente a la de Newton. La materia es quien está dotada de cierta fuerza que toma diferentes formas, todas ellas son interconvertibles unas en otras y, por tanto han de tener un origen común, un principio que lo gobierna todo, la unidad de fuerzas.

“La idea clave era que la acción de un cuerpo sobre otro separado a una cierta distancia requiere un tiempo determinado, y la acción se transmite por medio de la perturbación de cada parte del campo sobre la contigua”. (Berkson, op. cit. p. 73).

Se entiende que esta anticipación sobre las ideas de Faraday puede dar una primera aproximación del cambio ontológico que hará falta producir, (tal como ya se menciona al principio) si se tiene la intención de que los estudiantes puedan, conociendo ambas propuestas, ser capaces de diferenciarlas potenciando las ventajas de una por sobre la otra para el abordaje de diferentes situaciones problemáticas.

5.3 El tipo de conocimiento que se busca producir

La Física forma parte de las llamadas Ciencias Naturales. De hecho, la palabra *física* proviene del término griego naturaleza y ha sido empleado, históricamente, para referirse al estudio de los fenómenos naturales. Luego, resulta habitual que los textos de esta materia aludan a los científicos como aquellos que se dedican a “revelar los misterios del universo”. En esa dirección, es importante dar a conocer cuál es el sentido de la revelación ya que otras manifestaciones de la actividad humana como la religión suelen caracterizarse por ese mismo “latiguillo”. La revelación se entiende en relación con alguna forma de explicación.

De manera resumida, *“la explicación consiste en el descubrimiento de la identidad en experiencias que previamente parecían diversas y mudables”*. (Berkson, op. cit. p. 21)

Las Ciencias Naturales tienen como objeto de estudio hechos, objetos y fenómenos acerca de los cuales se elaboran conceptos, modelos y teorías que requieren ser puestas a prueba a través de observaciones y experimentos que permiten contrastar los enunciados con los hechos y determinar si dichos enunciados son verdaderos o falsos. Sin embargo, no existen pruebas absolutas de verificación o refutación, siendo una u otra temporaria.

La tarea del científico es la de tratar de describir la realidad para comprenderla en las relaciones que aparentemente no cambian, descubriendo las conexiones supuestamente constantes entre los fenómenos. Allí están las leyes científicas que describen algunas regularidades de la realidad. (Díaz y Heler, 1992, p.121). A su vez, las leyes se vinculan entre sí según su mayor o menor grado de generalidad, complementándose de manera de poder dar cuenta del campo de estudio y constituyéndose lo que se conoce como **teoría**.

Estas leyes, claro está, no son el resultado de la recopilación de datos o la descripción de unos cuantos fenómenos. Se trata de una síntesis, de un gran conjunto de información que abarca hipótesis que se suponen probadas y verificadas sobre ciertos aspectos del mundo. Son enunciados que establecen bajo qué circunstancias los fenómenos que comunican responden a ellas.

Establecer estas relaciones entre las cosas del mundo y una teoría física ó, dicho de otra manera, mirar el mundo con los ojos de una cierta teoría es construir un **modelo**. Las teorías no son conjuntos de enunciados sino clases de modelos.

Las conclusiones que se formulan tienen carácter **provisorio** en tanto no aparezcan nuevos fenómenos que las contradigan. La provisoriedad garantiza, de alguna manera el hecho de que los enunciados que se aceptan no sean producto del acuerdo de un grupo de fanáticos. Por el contrario, se requiere del acuerdo o coincidencia de los miembros de la comunidad que hacen parte de la ciencia y con ello va la posibilidad de reformularlos o reemplazarlos. Con esta exigencia el conocimiento pretende ser **objetivo**. La objetividad, por su parte demanda de un **lenguaje claro y preciso** comunicable a cualquier sujeto capacitado para corroborar la validez de los enunciados. (Díaz, Heler, op. cit. p. 125)

La justificación de los enunciados científicos tiene dos maneras de fundamentarse: lógica y empíricamente. La fundamentación lógica tiene que ver con el hecho de que nuevos enunciados pasan a formar parte de las relaciones que ya estaban establecidas con anticipación, de manera de conformar un conjunto de enunciados coherentes y mutuamente fundamentados. Se trata de

un conocimiento **sistemático**: es una unidad que busca ordenarse en relación con otros conocimientos previos a la vez que pretende desarrollarse o crecer.

La otra forma de fundamentación, la empírica, tiene que ver con la posibilidad de contrastar ese enunciado con los fenómenos de la realidad. Este requisito no siempre es directo y total y ello plantea, entre otras cosas, uno de los problemas importantes para dar por “válidos” los enunciados científicos. Es en esta tarea donde tienen lugar los procedimientos propios de la ciencia.

5.4 El ámbito donde se desarrollará la propuesta

La propuesta se desarrollará con estudiantes de un primer año de polimodal con orientación en Ciencias Naturales del Colegio de la Sierra. Se trata de uno de los colegios privados de la ciudad de Tandil, que puede catalogarse como de joven trayectoria en cuanto al nivel preuniversitario ya que este año está concluyendo la educación formal de la cuarta promoción de alumnos. Los estudiantes que allí concurren tienen un nivel socioeconómico de clase media-alta.

En el presente año lectivo, cursan primer año 18 alumnos con edades que oscilan entre los 14 y 15 años. En el grupo no hay alumnos repetidores y la mayoría de ellos vienen formando parte del mismo grupo desde los niveles iniciales de la educación formal dentro de la misma institución.

El rendimiento en materias de esta área oscila en alrededor de un 50 % de aprobados. Porcentaje que se incrementa durante el curso académico dada la posibilidad de participar en más de una instancia de evaluación con situaciones semejantes.

La mayoría de los estudiantes que concurren a este establecimiento educativo piensan continuar estudios superiores, fundamentalmente universitarios.

Es parte de la filosofía de la institución contribuir en la capacitación que facilite el ingreso a la universidad.

Se entiende que una manera de responder a ello, proporcionando una mirada amplia de la estructura de conocimiento que forma parte de la Física, consiste en optar por algunos temas eje o estructuradores del currículum de Física.

El concepto interacción es estructurador en cuanto contribuye a comprender que la acción que ejercen entre sí dos sistemas materiales es recíproca y del mismo valor aunque los efectos producidos por ella no dependan solamente de tal valor. Es justamente su carácter de concepto relacional y no categorial (Well-Barais, 1991) el que permite concebirlo como estructurador tanto para análisis de situaciones en el ámbito fenomenológico cuanto en el ámbito microscópico

5.5 Los conocimientos previos

Es intención en esta propuesta que la nómina de contenidos previos sea reducida. Con ello cabría la posibilidad de desarrollarla como apertura de la selección de contenidos para un curso introductorio de Física a la vez que no sería impedimento ubicarla después del desarrollo de las leyes de Newton.

Se entiende que la opción de ubicarla al comienzo del programa de contenidos puede ser favorable para plantear una panorámica de una ley aplicable a *todos* los fenómenos que se estudiarán en adelante de manera que resultara posible recurrir a ella en cada uno de los temas subsiguientes.

Es habitual encontrar en el desarrollo de temas de enseñanza una de las dos opciones siguientes:

- 1) Dedicar importantes esfuerzos mostrando una variedad de ejemplos y situaciones para un cierto tema, a la vez que es escasa la alusión a “la reunión” de esos casos particulares bajo una generalización ó
- 2) Presentar *la ley* que cubre una variedad de casos aplicándola a unas pocas situaciones específicas y suponer que con el sólo enunciado bastará para que los estudiantes puedan construir por sí solos el campo de validez de la misma.

Cualquiera de las alternativas anteriores resulta incompleta. Estas situaciones pueden analogarse con otra, que consista en pretender que, disponiendo de las piezas de un rompecabezas complejo, el mismo pudiera reconstruirse adecuadamente, sin tener una mínima referencia de cuál es la imagen que se reunirá cuando se lo complete. No se piensa que esto pueda ser imposible, sólo que habría que ponderar el tiempo que esto podría demandar en función de los procedimientos que el sujeto que lo ejecuta pudiera desarrollar. Esto es, ¿serán mejores los procedimientos en esta ejecución “en solitario” ?, ¿cuántos sujetos serían capaces de ello?. Hace falta considerar a estas y otras cuestiones con la debida antelación al desarrollo de las clases.

Y continuando un poco más con la analogía: la presentación del rompecabezas acabado junto a unas pocas piezas sueltas que encajan en él tampoco dará cuenta de los procesos que hay que sortear para que unas piezas se “acomoden” más fácilmente que otras o para que, en algunos casos, alcance con una simple mirada para anticipar en qué lugar de ese todo, alguna pieza puede ubicarse.

Lo que sigue es una propuesta que tiene la intención de ocuparse del campo conceptual de la interacción (restringida a la gravitacional) presentando **situaciones** que puedan ayudar a poner en juego los invariantes operacionales ya mencionados. Se prevé en cubrir, en la medida de lo posible, las dos opciones que antes se comentan: 1) presentar la imagen que la ciencia ha logrado hasta la fecha sobre este tema (algunos principios y leyes) a la vez que 2) las piezas que conforman esa imagen (conceptos, supuestos, limitaciones). El trabajo del docente consistirá fundamentalmente, en acompañar a los estudiantes a ubicar unas ciertas piezas (conceptos, supuestos, leyes) tomando conciencia de los “huecos” que esas piezas son capaces de completar en el marco amplio de los principios y las leyes.

En el noveno año de la E.G.B. estos estudiantes han trabajado con temas de Física formando parte del área Ciencias Naturales. Entre los contenidos desarrollados y que son de interés para esta propuesta, se pueden mencionar los siguientes:

Características del conocimiento científico. El modo de producción del conocimiento que forma parte de la Física.

Sistema físico. Noción de fuerza entre dos o más elementos. La fuerza como causal de deformaciones ó cambios en el movimiento. (Modificación del valor del módulo de la velocidad o de su dirección). La fuerza representada mediante un vector. Unidades en que se expresa la fuerza. Noción de velocidad constante. Noción de aceleración como consecuencia de una resultante de fuerzas diferente de cero.

La fuerza peso como la atracción que provoca la Tierra. Alusión a la noción de gravedad.

Distinción entre peso y masa.

En relación con los contenidos matemáticos se pueden mencionar:

Proporcionalidad directa e inversa: cálculos y gráficos.

Notación científica.

5.6 La dinámica de las clases

Implicarse en una investigación en el aula, demanda de una laboriosa tarea de planeamiento de las actividades a desarrollar a la vez que de una cuidada selección en el docente a cargo de la implementación de esa planificación.

En este caso, la investigadora es también docente de la Universidad Nacional del Centro de la ciudad de Tandil, desempeñándose en las asignaturas Didáctica de Física y Prácticas de Física en la carrera de Profesorado en Física y Matemática. La experiencia de más de quince años en este ámbito, colabora en el conocimiento de una buena parte de la población de docentes de Física y en los criterios para la elección del profesor que desarrollaría esta propuesta.

El docente convocado es Profesor en Matemática y Física egresado de la Universidad Nacional del Centro de la ciudad de Tandil, con una antigüedad de cinco años en la docencia. Es el segundo año consecutivo que trabaja con el grupo de alumnos con quienes se implementará la propuesta didáctica y el cuarto que pertenece al personal del Colegio donde se desarrollará la misma. Se desenvuelve dictando las asignaturas Física y Matemática en algunos cursos de E.G.B. y en algunos de nivel Polimodal.

Se trata de un Profesor que da muestras de estar comprometido con el aprendizaje de sus alumnos participando activamente de tareas de capacitación, asistiendo a reuniones con colegas que dictan materias afines en la misma institución a los efectos de coordinar contenidos, discutir prioridades y evaluar sus propios resultados en comparación con el resto de los docentes del área. Se muestra interesado en participar de esta investigación como docente a cargo del dictado de la propuesta didáctica. Una vez que acepta su colaboración y previo al desarrollo de este tema, se pautan encuentros semanales donde se discuten los alcances de las distintas actividades propuestas, las posibles vinculaciones con otros temas ya desarrollados, etc. El investigador comienza a asistir al aula con dos semanas de antelación al desarrollo del tema interacciones gravitatorias.

El clima en el cual se desarrollan las clases es distendido. Alumnos y docente se tutean y se refieren unos a otros por el nombre de pila. El docente manifiesta

sentirse muy a gusto con el grupo ya que todos trabajan con entusiasmo y dedicación buscando encontrar siempre una última respuesta a las cuestiones que se plantean para el debate.

La presencia continuada en las clases permite afirmar que los estudiantes también se sienten muy cómodos en esas clases de Física, preguntado, colaborando entre sí para que unos y otros puedan avanzar en las discusiones que se presentan.

El docente comienza, habitualmente, presentado alguna actividad para discutir entre todos los miembros de la clase. Luego del debate los estudiantes toman nota acerca de esa cuestión y así se prosigue. La mayoría de los alumnos dispone del texto Física Conceptual de Paul Hewitt, que ya emplean desde el año anterior. Este es el motivo por el cual, si no toman notas pormenorizadas, son capaces de "seguir" el desarrollo de los debates con el auxilio del libro.

La dinámica de las clases se hará más patente y explícito en el capítulo 6 donde se comentan los resultados derivados de esta implementación.

5.7 Propósitos

Aunque se enuncian los propósitos en términos generales y particulares hay que destacar que esta propuesta va dirigida a estudiantes de 15 años de edad y tiene, básicamente la intención de plantear un panorama conceptual de los principios y leyes que la Física ha desarrollado para explicar el fenómeno de la gravitación universal. Esto es, se espera alcanzar unas primeras aproximaciones en torno de la noción de gravedad, la ley universal y los modelos de acción a distancia y campo gravitacional. Si bien no se descarta el empleo de ecuaciones sencillas, la presentación tiene un fuerte componente cualitativo por sobre las resoluciones algebraicas de modo que no haga falta demasiado conocimiento matemático para abordar la propuesta.³⁹

Entre los propósitos de carácter más general pueden enunciarse:

- Comprender los conceptos, leyes, teorías y modelos más generales que permitan alcanzar una visión abarcadora de la Física.
- Analizar críticamente hipótesis y teorías alternativas para dar respuesta a un mismo problema.
- Valorar la importancia histórica de determinados modelos para la interpretación de ciertos fenómenos.

De carácter más específico:

- Reconocer las limitaciones del empleo del modelo de acción a distancia respecto de la noción de campo de fuerzas.

³⁹ Téngase presente que siempre es posible volver sobre los conocimientos a medida que se presentan nuevos problemas. Luego, se intenta desde aquí sólo una primera aproximación que podrá completarse cada vez que más temas de Física se desarrollen.

- Identificar las diferentes circunstancias bajo las cuáles es posible reconocer la interacción gravitatoria,
- Identificar las variables que participan en la interacción y su influencia en la intensidad de la fuerza de atracción.

5.8 Contenidos

Los contenidos que a continuación se enuncian siguen la secuencia en la que se estima presentarlos a los estudiantes. Los diferentes niveles de generalidad que pueden apreciarse a partir de la presencia de principios y también de casos particulares están justificados por la intención, ya manifestada en el apartado de los conocimientos previos, de atender a la doble mirada entre “el todo” y “las partes” que lo componen.

La participación de contenidos con fuerte énfasis conceptual frente a otros, de marcado acento metodológico es consecuencia del marco teórico asumido. En ese sentido, estas visiones se conciben diferentes pero actuando simultáneamente y el énfasis en una de ellas no niega la presencia de la otra.

Tal secuencia tiene características diferentes respecto de las que habitualmente proponen los textos. En primer lugar, los contenidos se abordan como una manera de dar respuesta a un problema asumiendo que *“Los problemas tienen un poder especial para dar vida a una historia de la creación de nuevas ideas o del descubrimiento de nuevos hechos; y es que son el origen de la lucha del científico por crear una nueva teoría o hacer un nuevo experimento. Si uno entiende el problema con que se enfrentaba el científico, se puede participar de alguna forma en su proceso de pensamiento, en su intento de solución y en su posible descubrimiento”*.(Berkson, 1981, p. 30).

Una segunda característica de importancia, es la posibilidad de ejecutarla en diferentes momentos de la currícula de Física, tanto cuando ya se ha transitado por algunos temas de la Mecánica clásica, como cuando recién se inicia en el estudio de la misma.

Por último, el abordaje del concepto de campo es presentado no solamente atendiendo al planteo de un problema sino recuperando su significado Físico por sobre la representación matemática que es la que suele primar en los textos y consecuentemente, en las aulas. Es habitual encontrar en los textos un énfasis en el carácter operatorio de la noción de campo que lo presenta como un vector de una cierta intensidad sin, prácticamente, ninguna alusión a lo que ese vector significa en términos de la teoría de campos.

“... subyace la idea de que la fuerza se debe a las fuentes (cargas, masas o imanes) y no al campo. Estamos ante una visión newtoniana de la interacción, en la que ésta se efectúa entre las partículas y no entre el campo y la partícula.

Entre las posibles causas que explican este resultado, encontramos que en el aula se enfatiza principalmente el carácter operativo del concepto de campo. Así el vector intensidad de campo (definido como la fuerza por unidad de carga o masa) se utiliza preferentemente para calcular la fuerza, y sólo un 30% del profesorado en activo confiesa realizar discusiones cualitativas que clarifiquen el concepto de campo y doten a éste de significado”. (Martín y Solbes, 2001)

Bloque temático: Interacción gravitatoria

El problema a resolver: ¿Por qué se mueven los planetas?. Antecedentes históricos. Los aportes de Newton al problema. El proceso de investigación que deriva en el enunciado de la teoría de la gravitación universal. La expresión algebraica de la fuerza gravitatoria. Predicciones a partir del enunciado de la ley. Su campo de aplicabilidad.

La fuerza gravitatoria y el resto de las fuerzas en la naturaleza.

El problema de determinar el origen de la fuerza: modelo de acción a distancia y modelo de campo de fuerzas. Las limitaciones en el empleo de una u otra alternativa.

Determinación del valor de la aceleración de la gravedad. La representación del campo gravitatorio.

Las interacciones y las fuerzas.

5.9 Las actividades

La presentación que sigue responde a tres planos diferentes para el tratamiento del tema en las clases.

- Un primer plano está asociado a las actividades que aparecen enmarcadas y numeradas. Tales enunciados serán parte de las notas que tomarán los alumnos.

Se prevé (antes de la elaboración de una respuesta escrita) una discusión grupal de la cuestión para favorecer el intercambio de opiniones y la negociación de ciertos significados. En algunos casos, que se explicitarán oportunamente, se invertirá el orden, comenzando por elaboraciones individuales y escritas y su posterior discusión entre todos los miembros de la clase.

- El segundo plano tiene que ver con la explicitación de los motivos o criterios según los cuales el investigador ha estimado oportuno la incorporación de esta actividad. Incluye comentarios acerca de lo que se esperaba que los estudiantes respondan, posibles dificultades que pudiera acarrear, etc.
- El resto de las apreciaciones (en general se trata de narraciones) que, en términos espaciales, separan una actividad de otra pero que también, temporalmente, dan continuidad entre dos actividades consecutivas, es aquello que el docente podría discutir en la clase como consecuencia de las respuestas de los estudiantes o a modo de cierre de una actividad.

El desarrollo que sigue se presenta como si fuera la clase misma.

Actividad 1

¿Qué responderías a alguien que te preguntara qué es la gravedad?

La intención de la pregunta es iniciar un debate para poner en evidencia que hay maneras diferentes de aludir a la gravedad: una fuerza que pone en su lugar a las cosas, el motivo de que las cosas se caigan, o el peso de los cuerpos, etc.

La noción de gravedad, que a menudo empleamos para dar “cuasi explicaciones” en relación con los objetos que se caen o el movimiento de los planetas, fue maravillosamente desarrollada por Isaac Newton (1642-1727). Claro que no fue algo casual y repentino como muchas anécdotas lo muestran. Cada día es menos aceptado que haya sido la caída de una manzana sobre la cabeza de Newton la causa de las primeras nociones entorno de la gravitación. Cuando alguien le preguntaba de manera entusiasta ¿cómo es que ha conseguido sus grandes descubrimientos? “Pensando siempre en ellos” era la respuesta.

Para referirnos a la ley de gravitación universal y también a la gravedad se puede comenzar reconstruyendo uno de los problemas que hacía falta resolver ¿qué es lo que hace que los planetas se muevan?.

Las experiencias cotidianas nos permiten asumir que el movimiento de un cuerpo es consecuencia de sus interacciones con otros cuerpos que lo rodean. En particular, se tratará con las interacciones entre los planetas, ¿cómo es que se mueven?, ¿con quién/es que interactúan?

Algunas de las primeras ideas que circulaban intentando dar respuesta a esta cuestión eran las siguientes:

- Oresme, un obispo que participaba de las discusiones sobre el problema, sostenía que si existieran otros “mundos” en el universo, la materia situada cerca de ellos sería atraída hacia su centro.
- Kepler, un matemático de aquella época, imaginó a los planetas impulsados en órbitas a causa de un arrastre provocado por una fuerza solar.
- Galileo (el primero en hacer ciencia en los términos que hoy la concebimos) llega a la conclusión de que si algo se mueve, sin que nada lo toque ni lo perturbe, se seguirá moviendo indefinidamente en línea recta y siempre a la misma velocidad.
- Otra propuesta sostenía que los planetas giraban porque detrás de ellos iban ángeles batiendo sus alas e impulsando el planeta hacia delante.

Actividad 2

¿Cuál de las ideas que se acaban de enunciar te resulta más aceptable?. ¿Por qué?.

¿Se te ocurren otras posibilidades para el motivo del movimiento de los planetas?. Explícala.

La actividad tiene la pretensión de introducir a los estudiantes en el análisis de un problema mediante la formulación de algunas hipótesis. Se entiende que tales enunciados

podrán ser analizados críticamente a la luz de los contenidos previos que disponen y avanzar en relación con el tema en cuestión.

Según lo que se ha analizado en el trabajo realizado previamente, se espera que los estudiantes puedan admitir que de las proposiciones antes presentadas tanto la de Oresme como la de Kepler (con ayuda de los resultados de Galileo) podrían ser plausibles y no resultaría sorprendente que enunciaran la presencia de una fuerza como el causal del movimiento aunque esto no signifique comprender de dónde proviene esa fuerza.

Allí es donde se hace necesaria la intervención del docente, indicando que ésta fue, precisamente la aportación que hizo Newton a los enunciados presentados por Galileo.

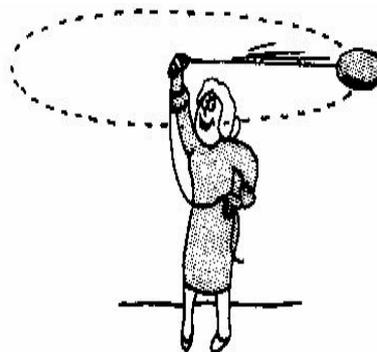
Newton sostuvo que el único modo de cambiar el movimiento de un cuerpo es usar una *fuerza*. Si un cuerpo cambia su velocidad es porque una fuerza le ha sido aplicada en la *dirección del movimiento*. Además, sostenía que si el movimiento cambia a una nueva dirección una fuerza ha sido aplicada lateralmente. Fíjense bien que hay dos enunciados importantes aquí: 1) si hay un cambio en el valor de la velocidad, habrá actuado una fuerza en la dirección del movimiento y 2) si cambia la dirección del movimiento (la dirección, es decir que el valor de la velocidad no se modifica), entonces es que se aplicó una fuerza lateral.

Actividad 3

Propone una situación que ponga en evidencia las ideas enunciadas por Newton. Es decir, tanto para mostrar cómo cambia la velocidad de un cierto móvil cuanto para mostrar cómo cambia la dirección del movimiento.

Según la experiencia previa en el tratamiento de este tema, los alumnos citan con frecuencia, por ejemplo que si una piedra atada de un hilo está girando en círculo hace falta que haya una fuerza aplicada para que lo siga haciendo. Esa fuerza es la que nosotros hacemos tirando del hilo. Además podría concluirse que si colocáramos una piedra de mayor masa (o más pesada) mayor sería la fuerza que deberíamos realizar para que se moviera de manera semejante a la antes comentada. Lo que hace falta concluir es que no se necesita de una fuerza tangencial para que la piedra se mueva.

Luego, si en el ejemplo de la piedra, no habría fuerza aplicada la piedra (o el planeta) se movería en línea recta, tal como había propuesto Galileo. Pero el caso es que la piedra se desvía de la recta que seguiría, luego sí que hace falta tirar del hilo, y la fuerza necesaria para controlar el movimiento del planeta alrededor del Sol no es una fuerza alrededor de él sino hacia él. Supuso, entonces, que el Sol podría ser el centro de fuerzas que gobiernan el movimiento de los planetas y más aún, Newton pudo probar que esta idea

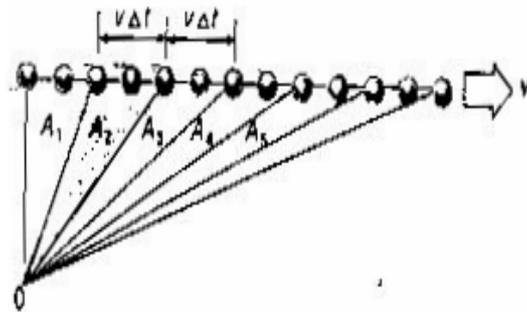


estaba en acuerdo con algo que ya había publicado el matemático Kepler unos cuantos años antes.⁴⁰

La idea de Kepler se enuncia del siguiente modo: *los planetas se mueven barriendo áreas iguales en tiempos iguales*. Veamos un poco qué significa todo esto y cómo se enlaza con lo que estaba estudiando Newton.

Lo que sigue es una aproximación de la manera en que Newton presentaba sus razonamientos.

Imaginemos una línea recta sobre la que un cierto objeto se mueve con rapidez constante⁴¹. La línea que une las sucesivas posiciones del cuerpo móvil con un punto fijo **O** determina siempre áreas iguales en tiempos iguales. Geométricamente, esto se demuestra viendo que los triángulos que quedan determinados tienen todos la misma base y la misma altura y por tanto todos tienen la misma superficie.



Si pensáramos que el objeto que se mueve fuera sometido a una serie de empujoncitos sucesivos hacia el punto O, habría cambios en la dirección del movimiento pero ello no impediría que se determinaran áreas triangulares iguales en tiempos iguales.

Cuando el tiempo entre una y otra posición se hace muy pequeño (despreciablemente pequeño) los diferentes empujoncitos se combinan en una fuerza dirigida hacia el centro (*fuerza centrípeta*) y la trayectoria fragmentada se convierte en una curva suave. Este razonamiento le permitió a Newton enunciar que bajo la influencia de una fuerza centrípeta, un cuerpo se mueve alrededor de un centro de fuerza barriendo áreas iguales en tiempos iguales.

Ahora una breve recopilación de lo que se ha venido diciendo hasta aquí.

La intención con la que se comienza el tema es la de determinar qué es lo que hace que los planetas se muevan. Ante varias alternativas se admite la idea de la presencia de una fuerza actuando. Luego, hace falta determinar de dónde

⁴⁰ Sería oportuno notar en este punto la sistematicidad de las formulaciones científicas. Los enunciados de Kepler eran el resultado de formulaciones matemáticas a partir de cuidadosas mediciones sobre los movimientos planetarios realizadas durante años por Tycho Brahe. Newton a su turno vendría a aportar los fundamentos físicos de estas formulaciones.

⁴¹ Si el tema velocidad constante no se hubiera tratado antes siempre será posible introducirlo diciendo que el cuerpo recorre espacios iguales en tiempos iguales.

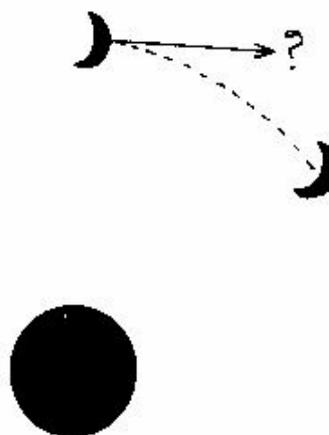
proviene esa fuerza. En la analogía con el movimiento de una piedra atada del extremo de una cuerda se concluye que tal fuerza estaba en el “sostén” del hilo. Por tanto, volviendo al movimiento de los planetas tal fuerza la ejerce el Sol, siendo éste el centro de fuerza hacia el que los planetas tienden en sus movimientos a su alrededor⁴². En adelante se intenta determinar una manera de tener una aproximación al valor de esa fuerza y más aún a quiénes afecta ¿ a los planetas?, ¿a las personas?

Posteriormente, Newton supuso que esta fuerza que ponía de manifiesto cómo se “sujetan” los planetas respecto del Sol se aplicaría con más generalidad que solamente entre el Sol y los planetas y se atrevió a proponer la misma idea para la relación entre cada planeta y sus lunas como también para las manzanas que caen en la tierra y para todas las cosas del universo: *es la fuerza de la gravedad*. Ahora bien, ustedes saben que no basta con proponerlo, esto debe “adecuarse” a la naturaleza y Newton consiguió hacerlo.

Continuó en sus razonamientos planteándose el hecho de que la Luna cae sobre la Tierra de la misma forma en que lo hace una manzana y, por consiguiente la fuerza que actúa en ambos casos debe ser la misma. ¿Cómo es esto de que la Luna cae?

La Luna cae en el sentido, de que cae por debajo de la línea recta que describiría si sobre ella no se ejerciera ninguna fuerza. Algo así como un proyectil, decía Newton, girando alrededor de la Tierra.

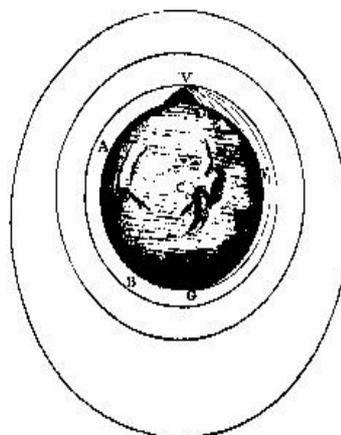
Hizo la siguiente suposición: Imagínense una bala disparada desde una montaña lo suficientemente elevada para que “nada la frenase”. Si se la lanzara con una cierta velocidad horizontal describiría una trayectoria y luego caería. Si la velocidad horizontal fuera mayor, la trayectoria se curvaría menos y recorrería más distancia antes de caer en la tierra.



⁴² Habiendo aceptado antes que los estudiantes han trabajado la noción de fuerza como una magnitud vectorial, puede ser esta una ocasión propicia para que representen el vector fuerza entre el Sol y un determinado planeta.

Luego, si la velocidad fuese la conveniente la trayectoria que describiría la bala se convertiría en un círculo sobre el que la bala se movería por tiempo indefinido. Diría entonces que se pondría en órbita y mientras no haya otra fuerza actuando el movimiento sería indefinido.

Tanto para el caso de la bala como para la Luna existe una cierta velocidad, paralela a la superficie de la Tierra, llamada *velocidad tangencial* que garantiza que el movimiento es alrededor de la Tierra y no hacia ella.



Actividad 4

¿Es la velocidad tangencial de la Tierra variable? ¿Y la de la Luna?. ¿Por qué?

Se espera que los estudiantes puedan concluir que como hay una fuerza que afecta a la luna, la velocidad no se mantendrá constante y por tanto la luna caerá alrededor de la Tierra indefinidamente modificando la dirección de su velocidad punto a punto de su trayectoria. De manera semejante, ocurre con la velocidad tangencial de la Tierra respecto del Sol. Será oportuno destacar que se intenta describir cómo es la fuerza que tiene en movimiento a los planetas y que en esta tarea aparecen involucradas nociones como la de velocidad y fuerza que a pesar de ser magnitudes diferentes la presencia de una de ellas tiene profundas implicaciones en la otra.

La propuesta de Newton parecía aceptable. Sin embargo, como ya se ha dicho antes para que una hipótesis o supuesto pueda pasar a la categoría de ley hace falta mucho trabajo para poder dar las suficientes pruebas que argumenten cómo ese supuesto está en concordancia con los conocimientos anteriores desarrollados en la teoría. Y a eso se dispuso Newton.

Ya se conocía para ese entonces cómo era el movimiento de un cuerpo en *caída libre*.⁴³ Es decir, se sabía que una manzana que se cae libremente desde la copa del manzano, cae de la misma forma que lo haría un objeto pesado de metal. Esto es, la caída libre en la superficie de la Tierra es con independencia del peso (y en

⁴³ Nuevamente aquí habrá que articular con temas desarrollados antes, si fuera el caso de que los estudiantes hubieran trabajado los movimientos, o bien “tomar” provisoriamente las conclusiones aportadas por Galileo sobre la caída libre.

Galileo anuncia que en ausencia de fuerzas de rozamiento con el aire todos los cuerpos dejados caer simultáneamente desde la misma altura caen en la Tierra al mismo tiempo. Esto es, el movimiento de *caída libre* (sin un impulso previo) se manifiesta con independencia del peso del objeto que cae cuando no hay una fuerza capaz de contrarrestar el movimiento de caída. Se trata de un teorema en acción que debería formar parte de los esquemas que los estudiantes pusieran en juego para referirse a la caída de los cuerpos.

ausencia de otra fuerza) igual para todos los cuerpos. Luego, si conseguía probar que la “caída” de la Luna sigue unas ecuaciones semejantes a la caída de los objetos en la Tierra la hipótesis de que la gravedad de la Tierra se extiende hasta la Luna debería ser aceptada, pensaba. Contaba también para esto, con el dato, no menor, que la distancia a la que la Luna se encontraba del centro de la Tierra era 60 veces mayor a la distancia entre una manzana y el centro terrestre. Con las ecuaciones del movimiento de caída aplicadas a la manzana se sabía que ésta recorre unos 5 metros en el primer segundo de su caída. Luego, si la Luna se aleja 60 veces de lo que lo hace la manzana ¿será que la gravedad se reduce⁴⁴ a 1/60 de su valor en la superficie de la Tierra pensaba?. Con esos datos podría saber cuánto recorre la Luna en un segundo. Empleando cálculos de geometría pudo conocer cuánto se alejaba la Luna de la distancia que recorrería de no haber gravedad. Recuerden que él quiere probar que la gravedad “se extiende”, entonces hace falta comparar cuánto se aleja según los datos empíricos y cuánto lo haría sin gravedad. “...los maestros tendrían que aclarar el objetivo a lograr, o prever un modelo para la acción o ayudar a los estudiantes a elegir información relevante y razonar con ella.” (Vergnaud, 1998, p. 181)

Los resultados obtenidos no fueron coincidentes con los experimentales y Newton abandonó estos cálculos durante unos 6 años. Ese fue el tiempo que transcurrió hasta que los astrónomos reconocieron que habían estado informando de una distancia Tierra-Luna, incorrecta. Cuando Newton se enteró de esto, retomó sus cálculos, corrigió el valor de la distancia empleada y obtuvo una concordancia asombrosa. Newton extendió sus resultados hacia *todos los objetos del universo* estableciendo que *unos se atraen a otros*.

Esta conclusión responde, en principio a una de las cuestiones antes planteadas: se trata de una fuerza que se hace presente entre todos los objetos del universo. Veán la grandeza de este enunciado admitiendo la universalidad de los resultados. Esto significa que no hay limitación alguna: se trate del objeto que se trate siempre estará afectado por alguna fuerza de gravedad y esta fuerza es la misma tanto para:

- la Luna girando alrededor de la Tierra, (es la conclusión última a la que se ha arribado)
- cada planeta girando alrededor del Sol (fue la hipótesis de partida que pudo corroborarse) y
- más todavía, la misma que actúa en la caída libre de los cuerpos en la superficie terrestre. ¿Cómo?. ¿No se analiza si la gravedad “se extiende” hasta la Luna empleando los resultados de la caída libre?. Los resultados para el movimiento de la Luna alrededor de la Tierra han mostrado que son totalmente compatibles con la caída libre de un cuerpo en ausencia de fuerzas de rozamiento.⁴⁵

⁴⁴ Newton pensaba que el efecto de la gravedad se “diluía” al alejarse de la superficie de la Tierra.

⁴⁵ Según las condiciones de aceptabilidad de estos resultados podrá ser ocasión de adelantar una conclusión más: si la fuerza gravitatoria es la que está presente en la caída libre, ésta es-pues- el peso del cuerpo. Por tanto el peso de cualquier cuerpo no es más que la fuerza gravitacional entre la Tierra y él. Véase como el teorema en acción para la caída de los cuerpos se “complementa” con

Actividad 5

¿Será posible que un mismo objeto se vea sometido a más de una fuerza de gravedad?. ¿Por qué?

Es esperable que rápidamente la respuesta sea afirmativa. Claro está que si se ha enunciado antes que los objetos dispersos en el universo se atraen unos a otros, se podrá concluir que cada objeto está siendo sometido simultáneamente a una variedad de fuerzas gravitacionales. Detrás de esta proposición está estableciéndose el carácter aditivo de las fuerzas intervinientes. Será necesario, en adelante, presentar situaciones para las cuales haga falta ponerlo en evidencia.

Admitiendo que se ha respondido afirmativamente cabe ahora cuestionarse:

Actividad 6

Si todos los planetas se empujan entre sí y “tironean” unos de otros no es contradictorio decir que la fuerza que controla el movimiento de cada uno de ellos está en el Sol?

Otra pregunta más, si existe una fuerza de atracción entre todos los objetos ¿cómo es que nosotros no nos vemos atraídos hacia los edificios que nos rodean?

No parece difícil admitir que los estudiantes colocarán el hecho de que el Sol es mucho “más pesado” o tiene más masa y es allí donde reside la respuesta a que la fuerza sea dirigida hacia el Sol⁴⁶. De manera análoga para nosotros, la Tierra tiene mucha más masa que cualquier edificio y esto explicará que sea fundamentalmente la atracción hacia ella la que se pone de manifiesto en las personas. Será esta una ocasión propicia para plantear la hipótesis de que la masa es una variable que participa del valor de esa fuerza. Recuérdese que se dio respuesta respecto de quiénes son los que resultan afectados por la fuerza gravitacional pero aún resta determinar una manera de “medir” el valor de esa fuerza.

Diferentes pruebas experimentales han puesto de manifiesto que la gravitación se extiende a las estrellas dobles y a las formas de las galaxias, que se atraen unas a otras constituyendo cúmulos.

Estas conclusiones pueden ayudar para entender, un poco más, acerca del origen de las estrellas: si se tiene una nube de polvo y gas, las atracciones gravitacionales pueden dar lugar a pequeños bultos que tal vez (reacciones nucleares estelares de por medio) puedan ser el comienzo de una estrella. A

esta nueva proposición que presenta otra forma de reconocer que en la caída la fuerza gravitacional actuante es el propio peso del cuerpo que cae.

En caso de no ser posible presentar ahora a esta proposición, será necesario recurrir a derivarla de la fórmula general. No obstante siempre que resulte viable vale la pena intentarlo aquí y ahora para retomarlo luego. Recuérdese que el aprendizaje no es de una vez y para siempre, en todo caso se trata de sucesivas aproximaciones a partir de variadas situaciones.

⁴⁶ Si no fuera un tema tratado con anterioridad se convendrá que la *masa es una propiedad de los objetos* que determina cómo cambia su velocidad cuando interactúa con otros cuerpos. Es independiente de la interacción a la cual se somete y de los otros cuerpos con los que interactúa.

distancias aún mayores, la gravitación determina el destino del universo. De hecho, las teorías acerca del origen del universo y su evolución hacen uso de esta noción.⁴⁷

Actividad 7

El texto que se adjunta (que ha sido extraído de Física I de Editorial Estrada, páginas 148 y 149) presenta el relato de la manera en que fue descubierto el planeta Neptuno. Léelo atentamente y selecciona párrafos que pongan de manifiesto al menos tres características de la manera en que se construye el conocimiento científico.

El descubrimiento de nuevos mundos

Durante siglos, se consideró que Saturno, el último de los planetas visibles a simple vista, era el límite exterior del sistema planetario. El uso del telescopio, sin embargo, abrió la posibilidad de hallar nuevos astros que antes, debido a su brillo débil, eran invisibles a simple vista.

Desde que Galileo Galilei, en 1610, halló cuatro lunas de Júpiter, hasta 1781 prácticamente no hubo hallazgos importantes. En ese año, se extendió la frontera del sistema cuando el astrónomo inglés William Herschel (1738-1822) descubrió Urano, luego de pacíficas y minuciosas observaciones.

Años después, bien identificado Urano y calculada su órbita a partir de las posiciones registradas, los científicos comenzaron a estudiar su movimiento en detalle. Descubrieron que la órbita que observaban en Urano no coincidía con la calculada cuando se aplicaban las leyes de Kepler. A partir de esta discordancia, surgieron diversas hipótesis para explicar las perturbaciones orbitales observadas. Entre esas hipótesis, aparecía como más razonable la que postulaba que un planeta, desconocido hasta entonces, ejercía cierta acción gravitatoria sobre Urano, y que esta era la causa de la deformación de su trayectoria.

Fue John Adams (1819-1892), un matemático de Cambridge (Inglaterra), quien se propuso descubrir el enigmático planeta que perturbaba a Urano. Debido a sus tareas en la Universidad, Adams podía realizar sus cálculos solo en el período de vacaciones. No obstante, en 1845 había encontrado la posición exacta de ese extraño planeta y decidió entregar sus papeles al astrónomo de la corona, George Airy (1801-1892), para que, en el observatorio real, corroborara la existencia de tal astro.

Pero Airy no quiso atenderlo. Como no era posible obtener una entrevista con él

en la Universidad, Adams decidió ir hasta su casa. Una vez allí, primero, el mayordomo, y luego, el criado, le negaron el acceso. La falta de interés de Airy se debía, por un lado, a que el astrónomo real estaba convencido de que la ley de Newton dejaba de ser cierta más allá de la órbita de Saturno y, por otro lado, a que desconfiaba de las ideas de Adams.

Mientras todo esto sucedía en Gran Bretaña, en Francia se iniciaba una búsqueda similar en pos del planeta desconocido. En 1845, el astrónomo Jean Leverrier (1811-1877) presentó una reseña donde mostraba que las deformaciones en la órbita de Urano se debían a la presencia de un nuevo planeta e, inclusive, dio la ubicación exacta para observarlo en el cielo.

Vale destacar que Leverrier no conocía los trabajos de Adams y que la posición que había calculado difería solo en un grado de la hallada por el matemático inglés. En la "Academia de Ciencias" de París, lo escucharon con atención, pero ningún colega se interesó en buscar el nuevo planeta con su telescopio.

Poco después, dado que Leverrier era un investigador de gran prestigio en Europa, el inglés Airy tuvo noticias de sus cálculos y se estremeció al darse cuenta de que se encaminaban a la misma conclusión que la del estudiante Adams.

Sin decirle nada a Adams, Airy le encargó a su ayudante Challis que buscara el nuevo astro. Challis, efectivamente, movió su telescopio rastreándolo, pero no se

preocupó por apuntarlo en la dirección que habían previsto Adams o Leverrier, de modo que perdió la oportunidad de descubrirlo.

Mientras tanto, Adams, cansado de tantos desaires, decidió presentarse ante la "Academia Británica de Ciencias". Llevar a cabo una acción de este tipo, sin que mediara el aval de ningún miembro de la Academia, era una verdadera osadía para la época. Lamentablemente, llegó tarde a la sección de Astronomía y se quedó sin poder hablar ante los científicos.

En Francia, Leverrier sufría por las mismas razones: como todos estaban seguros de que Urano era el límite del Sistema Solar, nadie tenía interés en ocupar su telescopio para buscar el enigmático planeta. Leverrier tuvo que soportar, además, las manifestaciones de desinterés de los científicos de los Estados Unidos, que comenzaban a descollar en el estudio de la Astronomía.

En medio de esta situación, un estudiante alemán, Johann Galle, envió su tesis a Leverrier para que este le diera su opinión. En esa época, Galle era ayudante en el observatorio de Berlín. Cuando Leverrier se dio cuenta de que Galle tenía acceso a un telescopio, y en vista de que le debía un favor, le remitió las coordenadas del enigmático cuerpo celeste. El mismo día que recibió la carta, Galle apuntó el telescopio y halló el nuevo planeta, en la constelación de Acuario, apenas una hora después de iniciar su búsqueda y en un punto muy próximo

Galle anunció su descubrimiento y, al día siguiente, este hecho se confirmó internacionalmente. Inmediatamente, comenzó la pelea para ponerle nombre al nuevo planeta. Galle quería llamarlo *Jano*. Leverrier insistió en que se le pusiera *Leverrier*, en su honor, aunque también había dado como opción *Neptuno*.

Finalmente, los astrónomos se decidieron por este último nombre, algo que no satisfizo mucho al francés. No obstante, estaba por producirse un episodio que lograría enojarlo más.

En Inglaterra, Airy reivindicó su participación en el descubrimiento de Neptuno, buscando asociarse con Leverrier en la empresa. Afortunadamente, aunque un poco más tarde, los astrónomos coincidieron en atribuir ese mérito, con justa razón, al joven Adams.

En Francia, Leverrier (que no conocía la actitud de Airy hacia Adams) se enfureció pensando que se trataba de una maniobra de los ingleses para restar importancia al trabajo de un francés.

Tiempo después, otro gran astrónomo,

realizó una reunión social en la que reunió a Adams con Leverrier, quienes desde entonces se hicieron buenos amigos.

Junto con esa amistad, aquellos hombres legaron a la ciencia un método derivado de la ley de Newton que permitiría el descubrimiento de centenares de nuevos astros dentro y fuera del Sistema Solar. Con sus descubrimientos, demostraron que la calificación de universal que ostentaba la ley de la gravitación, estaba muy bien puesta.

Aunque Galileo no lo haya descubierto, es justo reconocer que fue la primera persona que vio a Neptuno. El sabio italiano usó el telescopio por primera vez para observar el espacio extraterrestre. Halló que existían muchas más estrellas que las visibles a simple vista; encontró que Venus muestra fases semejantes a las lunares y descubrió cuatro nuevos astros que giran alrededor de Júpiter. Observando precisamente a Júpiter, una noche de 1612, Galileo dibujó en sus mapas una débil estrella junto al planeta. Un mes más tarde, volvió a observarlo y, estudiando sus mapas, notó que aquella estrella se había desplazado de la posición anterior. El sabio no confió en sus propias anotaciones y consideró que se trataba de un error. Aquel astro que observó Galileo era, en realidad, el planeta Neptuno, que descubrieron, en 1846, Adams y Leverrier, merced a la aplicación de la Ley de la Gravitación Universal.

La solicitud de analizar este texto tiene, básicamente, dos propósitos⁴⁸:

- *familiarizar a los estudiantes con la lectura de relatos que dan cuenta de cómo se han ido entrelazando los acontecimientos que, a posteriori, han devenido en pilares de grandes descubrimientos o “experimentos cruciales”. Se entiende que para que los estudiantes puedan trazarse un panorama de la forma en que los conocimientos se han edificado hace falta ofrecerles tal oportunidad. En este texto, en particular, se podrá apreciar una importante extensión o aplicabilidad de los resultados de la ley de gravitación universal.*
- *identificar algunas de las características de la construcción del conocimiento que se han venido enunciando en clases anteriores. Por ejemplo será posible identificar extractos vinculados con:*

la predictibilidad: “Entre estas hipótesis, aparecía como más razonable la que postulaba que un planeta, desconocido hasta entonces, ejercía cierta acción gravitatoria sobre Urano y que esta era la causa de la deformación de su trayectoria.”

la sistematicidad o compatibilidad con hipótesis previas ya confirmadas: “En 1845, ...dio la ubicación exacta para ubicarlo en el cielo”.

⁴⁸ Está claro que la riqueza del texto puede ayudar a identificar más que las tres características que se solicitan y también a proponer otro tipo de preguntas en relación con lo que ya se ha venido trabajando sobre la gravitación universal.

la posibilidad de someter la hipótesis a prueba: “Cuando Leverrier se dio cuenta...la posición predicha por Leverrier.”

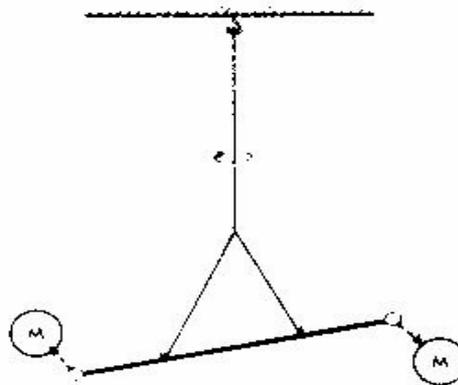
Nos queda todavía la tarea de encontrar una manera de “medir” el valor de esa fuerza gravitacional que actúa sobre todos los cuerpos del universo ya sea que estén cayendo sobre la Tierra o que formen parte de los llamados cuerpos celestes, como la Luna girando a su alrededor o incluso de dos cuerpos cualesquiera entre sí sobre la superficie terrestre.

El primero en realizar con éxito un experimento que pudiera dar cuenta de la medida de esta fuerza fue un investigador inglés, Henry Cavendish, en 1797. El dispositivo empleado por Cavendish constaba de una varilla horizontal suspendida de un hilo fino y largo y dos cuerpos de masas m_1 y m_2 .

Midiendo cuánto se tuerce la fibra que sostiene la varilla se puede medir luego, la magnitud de la fuerza.

La expresión matemática de la ley de gravitación universal resultó de la siguiente manera:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{d^2}$$



En adelante se examinará qué significa esta ecuación y cómo se la vincula con los resultados que se han venido comentando antes. Para ello se propone la siguiente:

Actividad 8

Antes de comenzar con la resolución de esta actividad te informamos que G es una constante universal (esto significa que tiene el mismo valor **siempre**) y que más adelante se darán más detalles de ella. Luego, lo que aquí se solicita es obviando la presencia de G .

- ¿Cuáles son las variables que se identifican en la fórmula?
- ¿A qué se refieren cada una ellas?. (Puedes ayudarte con el caso concreto de intentar ponerla en juego para medir la fuerza entre la Tierra y la Luna)
- ¿En qué unidades se expresará F ?. ¿Qué clase de magnitud es?
- De acuerdo al tratamiento que estás acostumbrado a hacer con el resto de las expresiones matemáticas, ¿cómo expresarías la relación entre la medida de F y $m_1 m_2$?
- Y cómo la harías relacionando F y d^2 ?

f) ¿Puede predecirse a partir de la fórmula de F en qué momento la misma se hace cero?. ¿Por qué?. ¿Es un resultado al que podrías haber arribado antes?. ¿por qué?

La actividad propone que los alumnos hagan un análisis de cada una de las variables allí intervinientes otorgándoles un significado a cada una de ellas. Recuérdese que se tiene el propósito amplio de enfrentar a los estudiantes al campo conceptual de las interacciones en la Física. Luego, se ha decidido comenzar por la gravitacional y en particular, se ha elegido el ejemplo de la interacción entre la Tierra y la Luna como “disparador” de otras tantas situaciones. La sugerencia ofrecida en el inciso b) es precisamente una manera de colocar al sujeto en situación. (Moreira, 2002). Poder atribuir a cada símbolo de los que allí se presentan un significado compartido no es tarea sencilla, no obstante todo esfuerzo por “poner” en palabras lo que los símbolos encierran es una tarea permanente que no se puede abandonar. Por el contrario hace falta ejercitarla en cada situación que resulte posible.

Los estudiantes, tal como se ha dicho antes, están familiarizados con desarrollos que requieren del empleo de la proporcionalidad directa e inversa, de manera que esto ayudará en las respuestas a los ítems e y f. No obstante hay que notar que la proporcionalidad con el cuadrado suele acarrear inconvenientes. Piénsese que se trata de estudiantes que no necesariamente han trabajado la función cuadrática.

Se entiende que estando delimitado el problema (encontrar la medida de la fuerza gravitacional) no será demasiado complejo admitir que aparecen en la fórmula tres variables: las dos masas y la distancia entre ambas. Por otra parte, en las presentaciones anteriores estas variables han estado, aunque no de manera saliente, presentes y comentadas en más de una oportunidad. Esto facilitará que la respuesta al ítem b) sea directa aludiendo a las masas de la Tierra y de la Luna y a la distancia entre ambas. El ítem c) es sólo a los fines de recordar (estos estudiantes ya conocen las unidades en que se expresa la fuerza) que en adelante la fuerza se expresará en N.

Como se comenta antes, para los ítems d) y e) hará falta, probablemente, trabajar el hecho de que cuando establecemos comparaciones entre pares de variables suponemos una tercera fija. Es este un teorema en acción que suele omitirse en el tratamiento con magnitudes proporcionales. Ya en el ejemplo de la piedra atada a un hilo que sosteníamos hubo algún comentario en relación con esto.

Por último, el ítem f) busca la predicción o anticipación haciendo uso del simbolismo matemático. Los esquemas que nuestros estudiantes puedan poner en juego frente a la variedad de situaciones que nos proponemos ofrecerles, incluirán anticipaciones e inferencias. Luego, será preciso reconocer que la única posibilidad de anular el cociente es con la condición de que alguna de las masas sea cero para concluir que tal situación no tiene sentido físicamente hablando. Por otra parte, y sin el empleo de la ecuación, los estudiantes podrían anticipar el resultado ya que en el tratamiento previo (aunque cualitativamente) ya se lo había comentado aludiendo a que es una fuerza que actúa sobre todos los objetos y que se “extiende” hasta las galaxias más lejanas. Algo así, como que no se podría prescindir de su existencia.

Habiendo alcanzado el acuerdo acerca de la relación entre la fuerza gravitacional, las masas intervinientes y la distancia que separa sus centros, resta ahora alguna

aclaración sobre la constante G . La experiencia⁴⁹, para masas conocidas separadas por una distancia también conocida, arrojó como resultado que

$$G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$$

Actividad 9

¿Qué se puede concluir a partir de conocer que el valor de G es del orden de 10^{-11} ?

¿De dónde crees que se han determinado las unidades en que se expresa G ?

La actividad tiene como propósito poner en evidencia “la debilidad” de la fuerza gravitacional y con ello la necesidad de que alguna de las masas participantes sea lo suficientemente grande como para que esta fuerza pueda resultar apreciable. Será oportuno destacar que G tiene en la ecuación de F una función semejante a la que cumple σ en la ecuación de la $\sigma = m/v$.

Respecto de las unidades, las mismas se derivan precisamente del resto de unidades que se empleen en la ecuación. Luego, se han escogido aquí aquellas del sistema internacional.

Uno de los grandes logros de la Física ha sido el de reducir todas las fuerzas encontradas en la naturaleza a **cuatro fuerzas fundamentales o interacciones** entre los compuestos de la materia. Sin embargo, cuando miramos a nuestro alrededor vemos muchos tipos de fuerzas. Aplicamos una fuerza sobre el suelo para caminar, empujamos un objeto o lo levantamos ejerciéndole una fuerza, la expansión de los gases en los motores de combustión interna produce una fuerza que pone a un vehículo en movimiento, la fuerza que realiza el viento sobre ciertos objetos es capaz de moverlos e inclusive provocarles destrozos.

Las fuerzas o interacciones fundamentales están asociadas con **fuentes**. Una fuente puede considerarse tanto como el origen de la fuerza cuanto como el sujeto sobre el cual la fuerza actúa. Así para la **fuerza gravitacional o interacción gravitatoria** la fuente es la **masa**; la **carga eléctrica** es la fuente de la **fuerza electromagnética**; la **carga débil** es la fuente de la **interacción débil** y la **carga de color** la de la **interacción fuerte**. En los años que restan en la escuela Ustedes irán incursionando en estas diferentes formas de manera de conseguir “trazarse” un panorama acerca de cómo operan todas ellas.

Actividad 10⁵⁰

El texto que sigue (tomado de la pág. 59 de Física I de Editorial Santillana) te dará un panorama de las principales características de estas cuatro formas de interacción que “dominan” todos los fenómenos de los que se ocupa la Física. Se proponen allí algunas cuestiones que deberás intentar resolver.

⁴⁹ Para quienes estuvieran interesados se comentarán tanto la experiencia de Cavendish conocida como “pesar la Tierra” cuanto la de Jolly para determinar este valor.

⁵⁰ Uno de los propósitos de la actividad es considerar la falencia obtenida a partir del análisis de textos donde la referencia al resto de las fuerzas de la naturaleza está prácticamente ausente.

El origen de las cuatro fuerzas

De las cuatro fuerzas fundamentales, dos de ellas operan en el núcleo atómico (a distancias menores de 10^{-10} cm), pero producen enormes efectos observables: son las fuerzas **nuclear fuerte** y **nuclear débil**. La **fuerza electromagnética** opera en toda la escala de distancias y se manifiesta como fuerzas de contacto (rozamiento, elasticidad, golpes, etc.), reacciones químicas de todo tipo, fenómenos luminosos y calóricos, y en cada dispositivo eléctrico o electrónico. En las dimensiones cósmicas domina la **gravedad**, que es la atracción universal de la materia, y promotora de la aparición de galaxias, estrellas y planetas. También se registra en todo fenómeno de nuestra experiencia terrestre asociado a la caída de los cuerpos: cursos de agua, proyectiles, tropismos.

En las **teorías del campo unificado** que se inician con Albert Einstein en 1910 se desarrollan ecuaciones para describir las cuatro fuerzas fundamentales de la naturaleza en términos de una sola, que poseería todas las propiedades necesarias para que todo sea tal como en efecto es. En los comienzos hipercalientes del Universo, a temperaturas mayor al billón de grados, la luz y la materia constituían la misma sustancia, y había una única fuerza que mantenía todo unido. Como consecuencia de la expansión del Universo, su temperatura fue descendiendo; aparecieron entonces partículas provistas de carga eléctrica y con masa, diferenciadas de la radiación y, por consiguiente, la fuerza única se desdobló en las cuatro fuerzas fundamentales que se observan en la actualidad. De éstas, la fuerza gravitatoria se asocia a la masa, y la fuerza electromagnética a las cargas.

Los experimentos realizados desde 1980 en aceleradores de partículas en los que se desarrollan energías comparables a la de los primeros segundos del Universo, sugieren que la unificación es posible.

En adelante queda una pregunta interesante para responder ¿cómo es que las fuerzas actúan entre elementos separados como por ejemplo la Tierra y la Luna?. Por ahora se propone el siguiente Trabajo práctico a modo de revisión de los diferentes temas que se han venido desarrollando hasta aquí. Con posterioridad a la resolución y discusión de los resultados se retomará la pregunta que ha quedado formulada.

Actividad 11: Trabajo práctico: Algunas cuestiones relacionadas con la gravitación

1. La Tierra atrae gravitacionalmente a la Luna; ¿Por qué entonces no chocan ambos cuerpos?
2. Si la gravedad tira de una manzana que está en la copa de un árbol con una fuerza de 1 N. ¿Se reduciría a $\frac{1}{4}$ N la fuerza de gravedad que se ejerce sobre la manzana si el árbol fuese dos veces más alto?. ¿Por qué?. Explica tu respuesta.
3. ¿Por qué es redonda la Tierra?
4. Ayudándote de alguno de los textos recomendados en el programa de contenidos, comenta en no más de 15 renglones cómo es que la gravedad permite explicar el fenómeno de las mareas.
5. Si las fuerzas gravitatorias que ejerce el Sol sobre los planetas desaparecieran repentinamente, ¿qué tipo de trayectorias describirían éstos?⁵¹. Explícalo.
6. Si te subieras a una escalera tan alta que te llevara a una distancia del centro de la Tierra dos veces mayor que la distancia a la que te encuentras ahora, ¿cómo sería la atracción que provocaría sobre vos comparado con el valor actual?
7. ¿Qué le sucede a la fuerza de atracción gravitatoria entre dos masas si:
 - a) se duplica la distancia entre ellas?
 - b) se reduce la distancia a la mitad?
 - c) se duplican las dos masas?
 - d) se reducen las dos masas a la mitad?
8. ¿Cuántas fuerzas gravitatorias están actuando ahora mismo sobre tu cuerpo?. ¿De qué manera podrías escribir esto haciendo uso de expresiones matemáticas?.
9. ¿Puede tener un cuerpo una masa diferente cuando se somete a la acción de fuerzas eléctricas o de fuerzas gravitatorias?. Explica tu respuesta.
10. La fuerza gravitatoria es una relación que de mínima, requiere la presencia de dos masas, justifica la verdad o falsedad de las siguientes expresiones:
 - a) La fuerza es una cuestión de pares de objetos.
 - b) La fuerza puede ser ejercida solamente por seres vivos.
 - c) La fuerza entre la Tierra y la Luna se ejerce sobre cada participante, esto es: se ejerce sobre la Tierra y una fuerza de igual intensidad y dirección (aunque en sentido opuesto ya que tratan de atraerse) se ejerce sobre la Luna.
11. Hallar la fuerza gravitatoria que atrae a un chico de 65 Kg hacia una chica de 50 Kg cuando estén separados 50 cm. ¿Qué reflexión puedes hacer sobre el resultado obtenido?
12. Una señora levanta una aguja con una tijera imantada. Con sorpresa, observa que de la aguja pende un alfiler. Las propiedades magnéticas de la tijera, la aguja y el imán determinan la interacción magnética entre estos objetos. ¿Habrá también interacción gravitatoria entre ellos?. ¿Por qué?⁵²

⁵¹ Esta cuestión se basa en la consideración de que hace falta presentar situaciones donde sea factible reconocer interacciones entre más de dos objetos.

⁵² La situación responde al carácter composicional de la interacción enunciado sobre el final del capítulo 4.

El trabajo práctico propone una mirada “integradora” de los temas que se han venido desarrollando hasta aquí intentando ofrecer a los estudiantes situaciones que permitan poner en juego los invariantes operacionales que se han anticipado como los esperados para este campo conceptual sobre el final del capítulo 4. Claro está que, para alcanzar este propósito (y tener ciertos indicadores respecto de esto) hará falta la explicitación, por parte de los alumnos, de la manera en que han resuelto las situaciones planteadas. Para ello será decisivo el rol que el propio docente juegue en esas circunstancias, procediendo de manera suficientemente flexible para ayudar a los estudiantes a evolucionar hacia los resultados consensuados científicamente.

“Una proposición explícita puede ser debatida, una proposición que se tiene como verdadera de manera totalmente implícita, no. Así el carácter del conocimiento cambia si fuera comunicado, debatido y compartido. (Vergnaud, 1996, p. 204). Luego, la puesta en común de cada una de las respuestas a las situaciones aquí planteadas creará las condiciones para identificar cuáles son los teoremas y conceptos en acción que los estudiantes están empleando y cuán distantes estarían de aquellos que se han propuesto como los esperados.

Los dos primeros problemas pretenden el reconocimiento de las variables intervinientes. Para el primero, se busca que reconozcan que la velocidad tangencial es la responsable del movimiento de la Luna alrededor de la Tierra. En el caso del segundo problema, deben reconocer que la distancia que participa en la ecuación de la fuerza gravitacional es la que media entre los centros de los cuerpos involucrados. Por tanto, un aumento en la altura del árbol no contribuye a modificar la distancia. Será importante retomar esta conclusión cuando se resuelva el problema seis que vuelve sobre la misma idea.

Los problemas tres y cuatro posibilitarán reconocer fenómenos donde se evidencia la aplicabilidad de la fuerza, tanto para dar cuenta de la “contracción” de la Tierra que ha provocado su redondez, cuanto para mostrar la influencia sobre las masas de agua.

El problema cinco retoma la noción de inercia que ha sido la disparadora de la hipótesis sobre la presencia de una fuerza actuando entre los planetas y el Sol para desembocar, más tarde, en la ley.

El problema número siete plantea diferentes alternativas para determinar la proporcionalidad que la ley establece entre las variables involucradas. Es de alguna forma, una nueva mirada sobre la función de cada una de las variables para interpretar la gravitación desde el análisis físico de las situaciones que permite representar.

En el caso del ocho, la pregunta tiene la intención de que el estudiante sea capaz de establecer la generalización que, entre otras, ya ha sido comentada en la presentación del tema. Esto es: en este momento actúan sobre mí infinitas fuerzas gravitacionales a causa de todas las masas con las cuales es posible plantear tal relación. La generalización expresada en forma de ecuación ($F = \sum f_i$) responde al carácter aditivo oportunamente enunciado.

La situación número 9 tiene el propósito de reconsiderar la invariabilidad de la masa cualquiera sea el carácter de la fuerza que está actuando sobre el cuerpo.

Las tres proposiciones que se plantean en la situación diez buscan promover la discusión acerca de algunas de las condiciones en que tiene lugar una fuerza gravitacional. La alternativa c) habrá de considerarse en relación con los temas previos que se hubieran desarrollado. Es decir, bien podrá ser una revisión del principio de acción y reacción o bien, será la posibilidad de plantearlo en términos de un principio que se cumple para todos los

cuerpos y que ya para esta altura, había sido anticipado por Newton. Cabe aquí mismo el esfuerzo, por parte del docente, para generar las condiciones de tal forma que resulte posible arribar a enunciar el carácter recíproco de la fuerza gravitacional: En términos de fuerzas, podríamos escribir que $|F_{AB}| = |F_{BA}|$.⁵³

La cuestión número once es básicamente de cálculo, a la vez que plantea el tema de la magnitud del resultado, asunto éste que ya fuera presentado tanto en el desarrollo del tema cuanto en el problema dos de este mismo trabajo práctico.

Por último la situación doce pretende que los estudiantes sean capaces de reconocer la presencia de más de una forma de interacción aunque el enunciado pueda "ponderar" sólo una forma destacando su relevancia en el planteo.

¿Cómo se espera que fueran los esquemas que nuestros estudiantes deberían poner en juego para las situaciones antes propuestas?

Para la resolución del problema uno del trabajo práctico, la información que la misma proporciona a quien va a responderlo, es la siguiente: 1) la Luna es atraída por la Tierra y 2) la Luna no choca contra la Tierra.

Para responder a la pregunta los estudiantes podrían poner en juego algunos teoremas en acto como los siguientes:

- *La fuerza de gravedad no es una fuerza de impacto o de "choque".*
- *La fuerza de atracción no hace aumentar la velocidad de la Luna.*
- *El valor de la velocidad de la Luna debe ser constante.*
- *La fuerza solamente estará modificando la dirección de la velocidad.*

Será la intervención del docente en la discusión la que deberá colaborar para que los estudiantes puedan concluir que la velocidad de la Luna no está aumentando porque si lo hiciera en algún momento impactaría sobre la Tierra. Luego, el valor de la velocidad (la rapidez diríamos) se mantendrá constante. Sin embargo, si la fuerza de atracción está actuando, la velocidad debe modificarse y tal modificación es en la dirección de la velocidad. Por tanto, no choca porque la velocidad con que orbita alrededor de la Tierra es tal que la mantiene siempre en movimiento y a la misma distancia respecto del centro de la Tierra.

Está claro que en estas discusiones los alumnos tendrán que "acarrear" con una gran cantidad de otros teoremas y conceptos que aquí sólo se han mencionado de manera implícita. Por citar algunos ejemplos de conceptos pueden mencionarse: fuerza, gravedad, velocidad tangencial, dirección, rapidez, etc.

Se retoma, ahora la cuestión que quedó planteada antes de comenzar con el trabajo práctico: ¿cómo es que las fuerzas actúan entre objetos o elementos que están separados como por ejemplo la Tierra y la Luna?

La cuestión de cómo un cuerpo puede ejercer una acción sobre otro, o bien, cómo un cuerpo puede interactuar con otros, ya había sido formulada en tiempos de los griegos, e incluso se dice que antes. Filósofos como Tales, Demócrito y Platón intentaron dar respuesta a esta cuestión proponiendo soluciones en las que

⁵³ Será ésta otra oportunidad para insistir con la manera de representar la fuerza haciéndolo, ahora en todos los objetos que participan de la interacción y por pares.

participaba la naturaleza del mundo.⁵⁴ La teoría que se propusiera ayudaría para responder cuestiones como las siguientes: ¿por qué un cuerpo es capaz de empujar a otro sin penetrar en él?; ¿cómo es que un imán puede mover a un trozo de hierro que se encuentra a cierta distancia de él?, o bien ¿cómo puede un cuerpo electrizado atraer trocitos de papel?

Para Demócrito, por ejemplo, las cosas interactuaban por contacto entre sus átomos. Descartes, en cambio, propuso la idea de que el mundo está lleno de materia y por tanto los cuerpos interactúan de manera directa o indirecta. Por ejemplo, para explicar que un trozo de imán podía atraer a un clavo sostenía que un flujo invisible de materia sale del imán, llega hasta el clavo y regresa a él. Sin embargo "el triunfo" de la concepción acerca del mundo iba a ser para la teoría de Newton (de finales del siglo XVII). Esta teoría propone que los cuerpos están formados por *corpúsculos* sólidos, extensos (similar a lo que propuso Demócrito) y por espacio vacío. Cada corpúsculo posee la propiedad de **actuar a distancia** y ejercer fuerzas de manera directa e instantánea sobre el resto de los cuerpos del universo.

Actividad 12

En la propuesta de Newton, cada corpúsculo tiene la propiedad de ejercer fuerzas gravitatorias sobre los restantes. ¿Crees que sería aplicable a otras fuerzas?. Explícalo.

La actividad intenta poner en evidencia que el modelo de acción a distancia se puede extender a otra clase de fuerzas además de las gravitatorias. Se entiende que los estudiantes estarán en condiciones de ejemplificar con fuerzas magnéticas y también con fenómenos electrostáticos.

Con esta concepción sobre el mundo es que Newton consiguió calcular el movimiento de los planetas y llegar a la ley de gravitación universal válida para toda clase de cuerpos: los pequeños cuerpos y los cuerpos celestes incluyendo a la Tierra.

La teoría de Newton era superior a lo conocido hasta ese momento en cuanto a la predicción de nuevos resultados. Sin embargo, no se presentaba como una teoría acabada ni libre de algunas ambigüedades; ya que en algunos casos tuvo que incorporar la presencia de un medio (éter) para conservar sus supuestos de base.

Los seguidores de este modelo de acción a distancia pudieron extenderlo a otras fuerzas y tuvieron la intención de aplicarlo a todos los campos de la Física. Sin embargo, esta teoría no conseguía explicar, por ejemplo, la fuerza que mantiene unidos a los cuerpos ni las fuerzas magnéticas.

A comienzos del siglo XIX comenzaron a desarrollarse otras teorías para explicar la acción de un cuerpo sobre otro.

⁵⁴ "Uno de los objetivos de la ciencia es encontrar la verdadera metafísica, y esta búsqueda no tiene otro fin que el de establecer un modelo del mundo correcto. (...) Siempre se puede afirmar que la descripción de un fenómeno existe en relación con un determinado modelo del mundo." (Berkson, 1985, p. 28)

Descartes y Leibniz, por ejemplo, tenían visiones encontradas a la de Newton acerca de cómo serían las cosas. Para Descartes, la materia se identificaba con el espacio y suponía que no existían fuerzas. Por lo tanto, en este modelo, la acción de un cuerpo sobre otro se realiza por contacto directo en un "mar de materia". Sin embargo, como en otros casos, la teoría de Descartes no podía explicar cómo es que si la interacción se da en un mar de materia un cuerpo sólido no penetra a otro. O dicho de otra manera, ¿cómo es que las superficies son resistentes a la penetración?

Para dar respuesta a esa pregunta Leibniz incorpora la presencia de una fuerza como otra propiedad esencial de la materia. Sostiene que hay que asignar fuerzas a todos los puntos de la materia y no sólo a las partículas de tamaño finito. Esta idea, que no fue admitida de inmediato ni tuvo demasiados seguidores en un comienzo, habría inspirado los estudios de Michael Faraday sobre el electromagnetismo para arribar a una teoría de campos. Esta teoría de campos de fuerzas es el modelo más general de mundo que se conoce hasta ahora.

Fue entre 1821 y 1832 cuando Faraday desarrolló la idea de que la fuerza es la única sustancia física, incluso, se supone que pudo ser antes de 1821 que él ya tuviera para sí formada la idea de considerar a la materia como un complejo de fuerzas. Los resultados de experimentos realizados por otros investigadores fueron ayudándolo a delinear esta propuesta. La idea clave que le permitió a Faraday ofrecer una nueva mirada acerca del carácter de la fuerza que vincula dos cuerpos, fue el hecho de que la acción de un cuerpo sobre otro que se encuentra alejado, demora un cierto tiempo hasta que lo alcanza. Hacía falta admitir que hay algo que avanza punto a punto desde uno de los objetos hacia el otro atravesando el espacio que los separa. Faraday propone la existencia de una sustancia universal, la fuerza. Cada punto del **campo de fuerzas** tiene asociado una intensidad y una dirección. Todos los puntos del campo interactúan con sus vecinos dando lugar a todas las posibles distribuciones de fuerzas. Esto es, se trata de un proceso que ocurre entre los puntos contiguos que separan a las dos masas en cuestión.⁵⁵

Esta propuesta permitía superar la de acción a distancia que había sido duramente criticada por el hecho de introducir cierta *discontinuidad*. Es decir, las fuerzas newtonianas saltan de un cuerpo a otro sin pasar a través del espacio que las separa.

El aporte de Faraday con la noción de campo de fuerzas es comparable a los aportes de Newton y Galileo a su tiempo. Muchos de sus contemporáneos no tuvieron la capacidad de apreciar la importancia de sus hallazgos para la ciencia. En los temas que Ustedes van a tratar, incluso en años siguientes, van a volver una y otra vez sobre esta noción de campos de fuerzas. Por ahora el estudio se limita al campo de fuerzas gravitatorias o campo gravitatorio.

En este modelo la interacción gravitatoria se asocia con un campo de fuerzas en el siguiente sentido: una masa cualquiera, a veces llamada masa de ensayo, colocada en un campo gravitacional experimentará una fuerza como consecuencia

⁵⁵ Téngase en cuenta el importante "giro" que hace falta conseguir para provocar el cambio ontológico que supone desplazar la atención desde las masas a cada uno de los puntos del espacio, de una situación discontinua a un proceso, punto a punto.

de la presencia del primero. Por ejemplo, la Tierra está inmersa en el campo gravitacional del Sol e interactúa con él y viceversa. Cada uno de nosotros estamos inmersos en el campo gravitacional del resto de las personas y de los objetos que nos rodean. El campo gravitatorio de cualquier masa se extiende hasta el infinito y es admitido actualmente que lo hace a la velocidad de la luz. Tratándose de un valor tan grande en relación con los números corrientes de velocidad que estamos acostumbrados a tratar no parece extraño, ahora, que se lo hubiera pensado como un fenómeno simultáneo entre dos masas.⁵⁶

Actividad 13⁵⁷

¿Cuáles de las siguientes magnitudes podrían ser descritas como campos?

- a) La temperatura del aire en una habitación.
- b) La velocidad del agua en una corriente.
- c) La altura de los estudiantes que se encuentran en el aula.
- d) El nivel de concentración de los alumnos para estudiar un cierto tema de Física.
- e) El aroma a una comida en el ambiente que la misma está siendo cocinada.

¿Puedes identificar un factor que te permita decidir cuándo es posible asociar un campo y cuándo no?

La actividad tiene dos propósitos: 1) reconocer situaciones a las cuales sería posible asociarles un campo. (a, b y e) y 2) concluir que la presencia de un campo no implica, necesariamente la presencia de la fuente que lo genera. Esto es, el campo es una propiedad del espacio y puede hablarse de él sin necesidad de la presencia física que ha dado lugar al mismo. En las situaciones c) y d) no es posible asociar un campo ya que la altura y el nivel de concentración son características propias de cada sujeto que no pueden propagarse al espacio en que están inmersos.

Como ya se dijo antes, este modelo es, hasta el momento, el que ha permitido trazar la visión más general de la Física. Recuérdese aquí que una ambición mantenida por la ciencia es la de conseguir la mayor cantidad de explicaciones posibles con unas pocas leyes.

En los años que siguen se estudiarán otras situaciones en las que la noción de campo aparecerá una y otra vez permitiendo que Ustedes mismos puedan ir construyendo su propia visión de la importancia que esta noción tiene para la Física.⁵⁸

⁵⁶ La teoría avanza más hipotetizando sobre un posible "portador" (bautizado con el nombre de *gravitón*) encargado de transportar la información entre una y otra masa. Será interesante acordar que el significado de simultáneo se refiere a alguna cosa que acontece al mismo tiempo en las dos masas.

⁵⁷ La actividad atiende a algunas de las manifestaciones docentes comentadas en el capítulo 4. Se entiende que una situación que ponga en relación "formas o eventos conocidos" con el modelo de campo que se intenta construir puede colaborar en la representación que se quiere lograr.

⁵⁸ El mismo Faraday, aún sin tener pruebas, sostenía la idea de una base común de las fuerzas en la naturaleza. "Por mucho tiempo he sostenido una opinión, casi llegando a la convicción, en común, creo, con muchos otros amantes del conocimiento natural, que las diversas formas bajo las

Es posible determinar una expresión matemática para "medir" la intensidad del campo en un determinado punto en el que se coloque una cierta masa de ensayo m_e . La medida del campo gravitacional viene dada por la relación que existe entre la fuerza que experimenta la masa de ensayo colocada en un cierto punto y el valor de la propia masa. Esto es:

$$\vec{C} = \frac{\vec{F}}{m_e}$$

Actividad 14

- ¿Qué clase de magnitud es C?. ¿Por qué?
- ¿En qué unidades se expresa?
- Desarrollando la expresión de F para el caso de la masa de ensayo m_e y la masa de la Tierra M, ¿a qué expresión arribas?

La actividad anterior pretende, por una parte, que el estudiante pueda reconsiderar el tema de las unidades en que se expresan la fuerza, la masa y, consecuentemente el campo así como también su carácter vectorial por ser el resultado de la razón entre un vector y un escalar. Por la otra, el ítem c) deja a consideración la posibilidad de reconocer que el campo es independiente de la masa de ensayo m_e lo que resulta en acuerdo con el hecho de tratarse de una propiedad del espacio que ya se ha comentado antes. Es decir, permitiría insistir en el hecho de que, para este modelo, quien tiene la propiedad de transmitir la fuerza es el campo y no la masa.

Retomando la discusión los resultados para el ítem c) de la actividad 14 se tiene que:

$$C = \frac{GM}{R^2}$$

Usando el valor conocido para G, la masa de la Tierra $M = 5.98 \cdot 10^{24}$ Kg y el radio terrestre $R = 6.37 \cdot 10^6$ m se obtiene $C = 9,8$ N/Kg o bien $9,8$ m/s² ⁵⁹. Este es precisamente el valor de la aceleración de la gravedad para cualquier cuerpo que se deja caer libremente en las proximidades de la Tierra. Así es que la gravedad (es habitual simbolizar este valor por la letra g) puede ser considerada como un campo de fuerza que puede detectarse y medirse colocando una masa en diferentes puntos del espacio y asignando un valor numérico y una dirección a la fuerza que actúa sobre dicha masa en cada punto.

cuales las fuerzas de la materia se hacen manifiestas tienen un origen común, o en otras palabras, están tan íntimamente relacionadas y mutuamente dependientes que ellas son convertibles, por así decirlo, la una en la otra y poseen equivalentes de poder en su acción." (Faraday, 1946 en Gramajo, 1993)

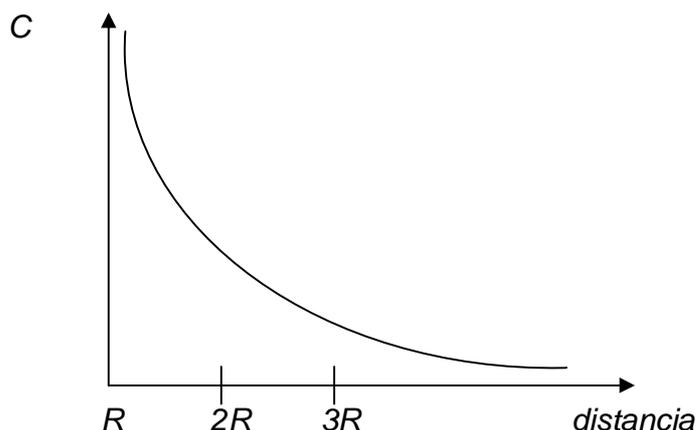
⁵⁹ Si el tema movimientos ya se hubiera desarrollado será sencillo admitir que se trata de una aceleración y que éste es precisamente el valor de la aceleración de la gravedad en las proximidades de la Tierra.

Actividad 15

- Comenta a partir de la expresión obtenida para C qué papel desempeñan cada una de las variables que allí se involucran. ¿Cómo será el valor de C para la misma masa de ensayo en las proximidades de otro planeta diferente a la Tierra?
- Grafica de manera "aproximada" cómo variaría C para una misma masa de ensayo a 2, 3, 4, 5,6, etc. radios terrestres. ¿Qué puedes decir respecto de la atracción entre la Tierra y la masa de ensayo para distancias mucho mayores que R ?
- ¿Cómo expresarías el campo gravitacional que actúa sobre la Tierra tomando en consideración que ella es parte del sistema planetario?

Una vez más, se insiste en el reconocimiento de las variables que participan de la determinación del valor del campo a los fines de que se pueda concluir lo siguiente⁶⁰:

- el valor del campo depende de la masa del planeta y de su radio.
- el valor del campo es independiente del valor de la masa de ensayo.
- el campo se extiende indefinidamente y decrece, para un mismo planeta, con el cuadrado de su radio.
- El campo total que actúa sobre un cuerpo es el resultado de sumar todos los campos debidos a todos los otros cuerpos con los que el primero interactúa. Luego si suponemos que todos los cuerpos del universo son los planetas que conforman el sistema planetario el campo gravitacional sobre la tierra será el resultado de sumar los campos debidos a cada uno de los otros planetas. Se trata del carácter aditivo antes comentado.
- Tratándose de estudiantes que están familiarizados con el trabajo de diferentes relaciones de proporcionalidad, se espera que puedan trazar la gráfica que les permita concluir que el campo no se anula nunca.



Volviendo a la expresión del campo gravitacional:

⁶⁰ El reconocimiento de las variables que se propone durante toda la propuesta colabora notablemente con la identificación del sistema de estudio. Recuérdese que la noción de sistema está incluida entre los conocimientos previos pero es preciso retomarla una y otra vez que se realice el recorte de un determinado problema.

$$C = \frac{F}{m_e}$$

En esta expresión cuando una de las masas que participan de la fuerza es la masa de la Tierra resulta de la siguiente forma:

$$C = \frac{M G}{R^2}$$

El valor del campo que resulta de reemplazar los diferentes valores que allí intervienen se conoce como la aceleración de la gravedad para cualquier cuerpo que se encuentra en el campo gravitatorio terrestre, es decir que se deja caer libremente en las proximidades de la Tierra.

Ahora bien, cuando un cuerpo cae libremente en las proximidades de la Tierra, el conocimiento cotidiano nos dice que lo hace como consecuencia de su propio peso. ¿Cómo es esto?. Si un cuerpo que cae en las proximidades de la Tierra experimenta la atracción del campo gravitatorio de ésta, es decir experimenta una fuerza debido a la atracción que la Tierra le ejerce y, por otra parte sabemos que cae únicamente a consecuencia de su peso, estamos en condiciones de afirmar que el Peso de cualquier cuerpo no es más que fuerza de la gravedad o la fuerza gravitacional que resulta de poner en interacción la masa del cuerpo y la masa de la Tierra.⁶¹

Actividad 16

Retomando las conclusiones obtenidas en la actividad 15 responde:

- a) ¿Cómo varía el peso de un cuerpo a medida que se aleja del centro de la Tierra?
- b) ¿Cuándo se anula?
- c) ¿Qué diferencias adviertes entre el peso de un cuerpo y la masa del mismo?
- d) ¿Cómo representarías gráficamente a la fuerza peso de un objeto que cae hacia la Tierra?

Habiendo incorporado ahora la noción de peso, se espera que los estudiantes puedan argumentar que:

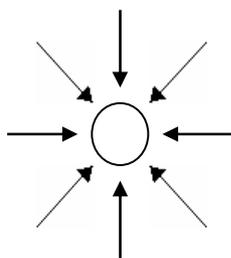
- a) el peso se modifica a medida que nos alejamos de la Tierra. Habrá alta probabilidad de cuantificar la variación con el inverso del cuadrado del radio terrestre, ya que se entiende que se ha trabajado antes sobre esta misma idea.*
- b) El peso nunca se anula.*

⁶¹ Nuevamente aquí será ocasión de retomar temas anteriores si es que se hubieran desarrollado las Leyes de Newton o, caso contrario intentar una primera aproximación a la diferenciación entre peso y masa.

- c) *El peso es una fuerza y por tanto, una magnitud vectorial y variable según la atracción que la Tierra provoque sobre el objeto que pesa mientras que la masa es una magnitud escalar, constante e independiente de la atracción de la masa terrestre.*
- d) *Se espera asimismo que puedan dibujar un vector fuerza actuando sobre el cuerpo que cae y apuntando hacia el centro de la Tierra por ser ésta el centro de masa hacia donde se dirige.*

El planteamiento que hizo Faraday acerca de los campos de fuerzas fue su representación mediante las **líneas de fuerza**. En realidad no será por ahora más que una manera de hacernos una "*imagen del campo gravitacional*". Llegado el estudio de las interacciones electromagnéticas se podrá tener una idea más completa de la importancia de esta representación. Por ahora bastará con lo siguiente:

Un cuerpo atrayente, como puede ser el Sol (o la Tierra como en la actividad anterior), pone de manifiesto su campo, rodeado de *líneas de fuerza* que se dirigen hacia él, ya que se trata del centro de fuerzas. Cualquier masa de ensayo que se colocara en las proximidades del círculo (el Sol) será atraído a lo largo de la recta que une los centros de ambos cuerpos. Luego el conjunto de líneas que se representan a continuación indican la dirección de las fuerzas atractivas del Sol correspondientes a diferentes posiciones de una masa de ensayo. Por ahora, sólo alcanza con tener esta primera aproximación a la representación. No obstante hay algunas características que vale la pena destacar: 1) se trata de una situación espacial que por razones obvias, aquí se ve sobre el plano, 2) las líneas de fuerza están trazadas en el espacio donde no hay materia, 3) la mayor concentración de las líneas en las proximidades del cuerpo indica que la fuerza que actuaría sobre una masa de ensayo en ese lugar será más intensa que si la misma masa se colocara en un punto donde las líneas están más separadas.



Esta manera de representar el campo gravitatorio de una masa es coherente, entonces, con la de asociar a un objeto cualquiera un vector, en relación con su peso que apunta hacia el centro de la Tierra ya que éste es el centro de masa que lo atrae o, dicho más apropiadamente, la masa con la que interactúa.

Una última discusión para este tema:

Se ha hablado hasta aquí aludiendo al hecho de que las interacciones fundamentales que ocurren en la naturaleza se asocian a cuatro tipos de fuerzas en los que pueden resumirse todas las clases de fuerzas que hasta el momento se han imaginado. Vale aclarar, que la palabra *interacción* se refiere a la cuestión de

actuar con algo o de relacionarse con algo. Todos los fenómenos que se estudian involucran alguna entidad, material o no, (piedras, estrellas, personas, electrones, protones, etc.) y alguna manifestación de energía. La manera que han encontrado los científicos para explicar cómo acontece la relación entre estas entidades y qué tipos de intercambios se producen cuando se relacionan, ha sido mediante el diseño de modelos, como ya se comentara antes. La acción a distancia es una posibilidad que ha ganado espacio en muchos textos y tiempo en la historia del desarrollo del conocimiento. En ese modelo, la interacción se explica en términos de una fuerza asociada a cada elemento participante. Un segundo modelo, es el de campo donde interacción se explica en términos de propiedades del espacio en que se encuentran los elementos.

En un estudio a nivel microscópico ya no resulta posible identificar o aislar cada una de las partículas que participan como para que resulte sencillo asociar una fuerza a cada una de ellas. Allí el modelo de acción a distancia deja de tener sentido. En ese ámbito el modelo predominante es el de campo y más aún se considera que la interacción está mediada por partículas que portan la información del campo.

En resumen, la noción de campo es tan aplicable al nivel microscópico cuanto al macroscópico y al de los objetos de tamaño comparable al nuestro. En los dos últimos casos, la interacción también puede ser descrita por medio de fuerzas que actúan a distancia. Luego, cuando hablamos de interacciones como sinónimo de fuerza deberíamos tener presente que si bien en cualquiera de las cuatro formas de interacción la presencia de un campo se reconoce como consecuencia de alguna fuerza actuando, sólo es en los niveles meso y macroscópico donde esa misma fuerza puede pensarse asociada a una partícula.

Actividad 17 Algunas cuestiones para revisar el bloque temático

1. ¿Cómo podemos reconocer que la Tierra ejerce una fuerza sobre todos los cuerpos cercanos a ella?
2. ¿De qué cantidades depende la aceleración de la gravedad en la superficie de un planeta?
3. ¿Cómo se compara la intensidad del campo gravitatorio en la superficie de la Tierra con la aceleración de un cuerpo en caída libre?
4. ¿Qué es más correcto: decir que un cohete lejano interactúa con la masa de la Tierra o con su campo gravitatorio?. Explica tu respuesta.
5. ¿Cómo sería el valor de G si la Tierra fuese del mismo tamaño pero su masa aumentara al doble? ¿Y el de g ? Explica tus conclusiones.
6. El peso de una manzana cerca de la superficie de la Tierra es de 1 N. ¿Cuánto pesa la Tierra en el campo gravitacional de la manzana?. ¿Por qué?
7. Señala y comenta dos diferencias entre los modelos de acción a distancia y campo de fuerzas.
8. Elabora un mapa de conceptos que te permita recuperar las ideas principales que vinculan a los contenidos trabajados en este bloque temático. Explícalo en no más de diez líneas.
9. Para las situaciones que se enuncian a continuación analiza:
 - a) ¿qué formas de interacción reconoces?

b) ¿entre qué elementos?

Situación 1: Un imán y un clavo que se le aproxima apoyados sobre la mesa.

Situación 2: Un pie pateando una pelota de fútbol apoyada sobre el césped.

10 ¿Qué significa la expresión $C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_N$

La primera pregunta presenta, de una manera diferente a las estudiadas hasta aquí, la cuestión de que el campo gravitacional de la Tierra afecta a **todos** los cuerpos cercanos a ella. Dicho de otra manera; la pregunta pone nuevamente a consideración que la Tierra es un centro de fuerzas para cualquier objeto en sus proximidades retomando la cuestión de la universalidad de la fuerza.

En el caso de la segunda pregunta se insiste en la identificación de las variables que participan de la expresión matemática a la vez que en la función que desempeñan. Será una ocasión propicia para que pueda discutirse la variabilidad de la aceleración de la gravedad en un mismo planeta a consecuencia de diferencias en el radio del mismo. Por otra parte, la independencia de la masa de ensayo es una manera de retomar lo propuesto en la pregunta anterior haciendo evidente el hecho de que cualquiera sea el objeto que se coloque en las proximidades del planeta, sentirá la influencia de éste.

La cuestión número tres propone al estudiante identificar que la medida del campo gravitacional es, precisamente la aceleración de la gravedad que actúa sobre un cuerpo que cae libremente.

El planteo de la situación número cuatro busca que el alumno sea capaz de poner a consideración la participación de la variable tiempo en la interacción entre la Tierra y un cohete lejano. Luego, quedará claro que el tiempo no es despreciable (carácter simultáneo versus carácter instantáneo) y, por tanto, lo más correcto será proponer una explicación en términos del campo gravitacional de la Tierra donde la interacción resulta de un proceso que acontece punto a punto entre la Tierra y el cohete.

El problema cinco es otra manera de presentar el análisis de los significados de G y g . Para el caso de G , hará falta tomar cuenta de que se trata de una constante universal e independiente del valor de las magnitudes que participan de la ecuación de F . El valor de g es característico de cada planeta y, contrariamente a G , varía directamente con la masa del planeta e inversamente con el cuadrado de su radio; en este caso, g aumentará al doble.

Para responder la cuestión seis, hará falta poner en juego:

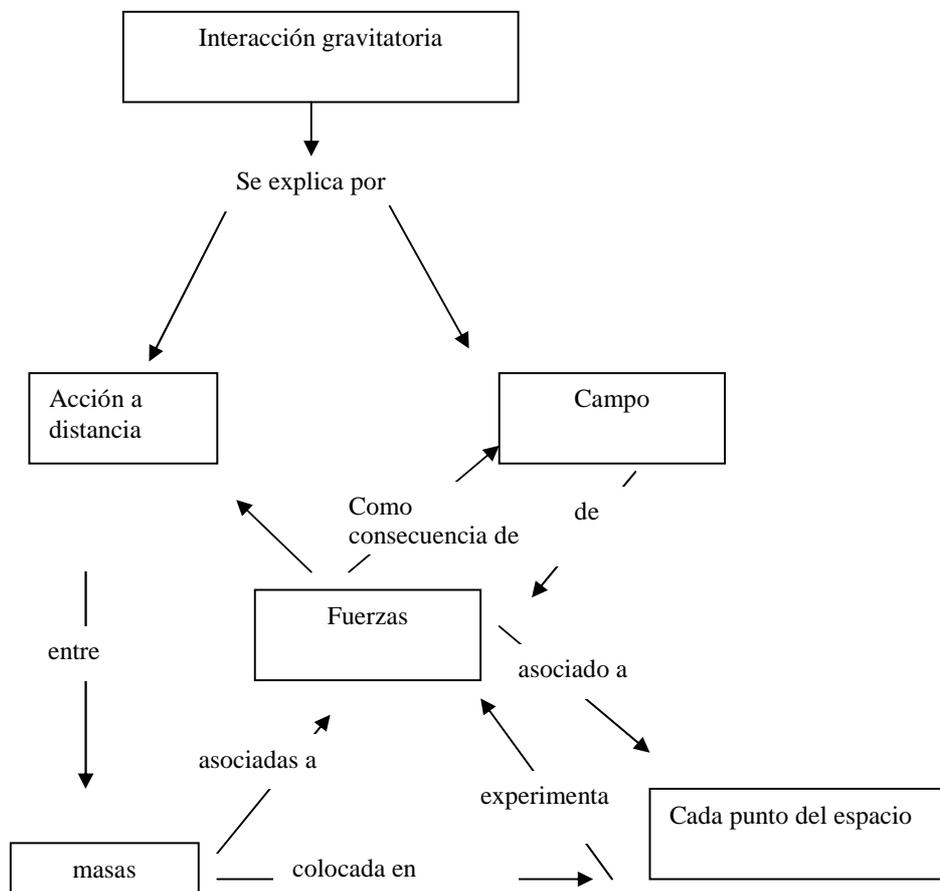
- 1) el teorema en acto que da por aceptable que el peso de un cuerpo es la fuerza con que la Tierra lo atrae a la vez que,
- 2) el carácter recíproco enunciado en las anticipaciones (principio de acción y reacción) para llegar a enunciar que la Tierra en el campo gravitacional de la manzana también pesa 1 N.

Para el problema siete, se espera que pueda enunciarse que:

- 1) en el modelo de acción a distancia el fenómeno acontece al mismo tiempo entre las masas; mientras en el de campo de fuerzas el tiempo no es cero.
- 2) en el modelo de acción a distancia cada masa tiene asociada una fuerza; en el modelo de campo la fuerza es una propiedad de cada punto del espacio.

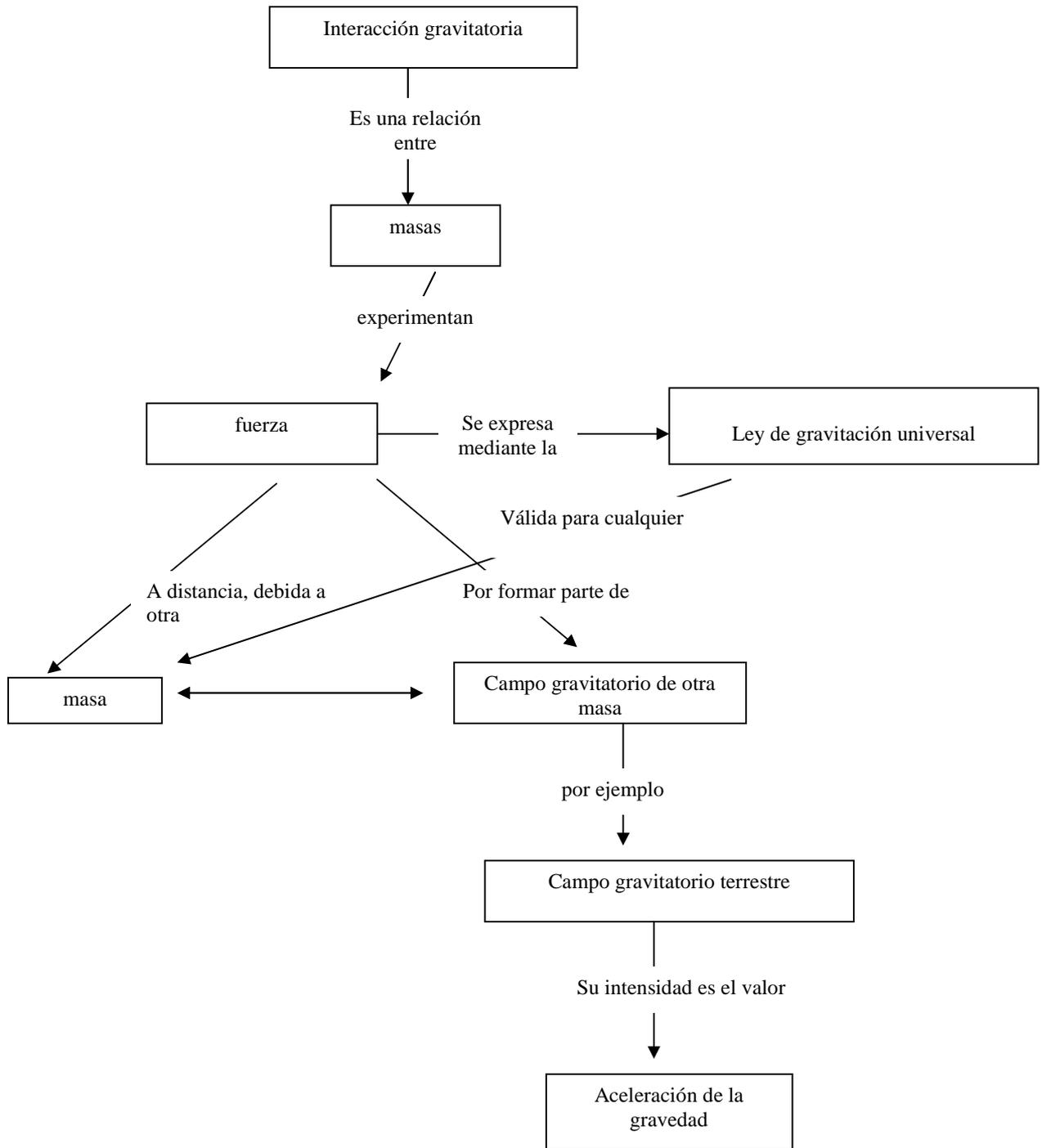
La propuesta ocho es de elaboración personal; tiene la intención de ayudar al estudiante a reorganizar sus conocimientos sobre el tema a la vez que discutirlos con su grupo de

pares. Se espera que pudieran presentarse esquemas como los que se muestran a continuación.



Esquema 1

Otra posibilidad podría ser la siguiente:



Esquema 2

Los problemas nueve y diez pretenden poner a consideración el carácter aditivo y composicional, ya detallados en la página siete. También en el caso del problema nueve será factible la identificación de los diferentes pares de fuerzas intervinientes.

5.10 La evaluación

La evaluación será continua a lo largo del desarrollo del bloque de estos contenidos. Habrá posibilidad de evaluar en las instancias de puesta en común para cada una de las actividades que se proponen y también en toda participación para despejar dudas o consultas durante el desarrollo de las clases.

El temario de evaluación que se presenta más adelante fue organizado a partir de las anticipaciones y de los propósitos ya comentados.

Se estima un tiempo de unos cincuenta minutos para su resolución. Los estudiantes dispondrán de todas las fórmulas que se han trabajado en el bloque temático a la vez que de instancias de aclaración (por parte del docente) sobre los enunciados propuestos.

DATOS PERSONALES

Nombre y apellido: -----

1. A continuación se enuncian una serie de ideas tendientes a definir la palabra **interacción**. Elige la que estimes más aceptable de acuerdo a lo discutido en clase y justifica tu elección.
 - a) *Es la acción de un cuerpo sobre otro y con posterioridad la de este último sobre el primero.*
 - b) *Acción mutua entre dos cuerpos.*
 - c) *Acción que ocurre al mismo tiempo en dos cuerpos.*
 - d) *Acción de un cuerpo sobre otro.*

2. Las oraciones que siguen hacen una caracterización sobre los elementos que intervienen en una situación de interacción. Se te solicita que marques la/s alternativas con las que estás de acuerdo. Justifica aquellos enunciados con los que no estás de acuerdo. Para hablar de interacción hace falta que:
 - a) *Al menos se esté en presencia de dos cuerpos.*
 - b) *Sólo existan dos cuerpos presentes.*
 - c) *El tamaño de los elementos que participan en la interacción sea de tamaño comparable a los objetos que estamos acostumbrados a manejar diariamente.*
 - d) *El tamaño de los elementos que participan en la interacción sea de tamaño mucho mayor que el tamaño de los objetos que estamos acostumbrados a manejar diariamente.*
 - e) *El tamaño de los elementos que participan en la interacción sea de tamaño mucho menor que el tamaño de los objetos que estamos acostumbrados a manejar diariamente.*
 - f) *Los elementos que participan en la interacción están en contacto.*
 - g) *Los elementos que participan en la interacción no están en contacto.*

3. ¿En cuáles de las situaciones que siguen dirías que hay interacción?. En aquellas oportunidades que tu respuesta sea afirmativa, indica entre quienes está aconteciendo la interacción.
- a) *Un carro tirado por un caballo en un camino de tierra.*
 - b) *Los electrones girando en órbitas alrededor de un núcleo atómico.*
4. ¿Cómo será la intensidad del campo gravitatorio de un planeta cuya gravedad es cinco veces mayor a la gravedad de la Tierra?. ¿Por qué?
5. Justifica la verdad o falsedad de cada una de las afirmaciones que siguen. Una persona de masa m y peso P que transitara por la Tierra y por el planeta del problema anterior
- a) Pesará lo mismo en los dos planetas.
 - b) Pesará cinco veces menos.
 - c) Tendrá en el nuevo planeta una masa cinco veces mayor.
6. ¿Qué trata de explicar el modelo de acción a distancia? ¿Qué diferencia hay con el modelo de campo de fuerzas?
- 7) Elegir dos de las fuerzas fundamentales (exceptuando la gravitatoria) y explicar a qué cuerpos afecta y en qué escala opera.
- 8) ¿Cuál es el peso de la Tierra en el campo generado por un kilogramo de azúcar? Justificar.

6

La implementación de la propuesta didáctica

6.1 Introducción

En este capítulo se detalla el proceso de las diferentes transformaciones que se han operado sobre los datos. Los datos se recopilan durante la puesta en práctica de la propuesta presentada en el capítulo 5, a partir de los registros en audio de los discursos sostenidos en las clases observadas; de las notas de campo tomadas en esas oportunidades y de los materiales escritos elaborados por los estudiantes.

La explicitación de los detalles atiende, tanto a las decisiones acerca de la conformación de las categorías para el análisis como a los criterios de demarcación de los resultados que se derivan.

6.2 Los registros orales

Si bien no existe una única manera de llevar a cabo el análisis de los datos es posible describir una serie de tareas u operaciones que se involucran en este proceso. Las etapas que se enuncian a continuación no necesariamente se dan, durante el proceso en el orden que aquí se presentan. En oportunidades una etapa remite a la revisión de la anterior modificándola. *“Las actividades no definen un proceso lineal de análisis en el que se pase secuencialmente de unas tareas a otras, sino que a veces pueden darse de manera simultánea, encontrarse presentes en un mismo tratamiento de datos o aparecer de modo reiterativo a lo largo de un mismo proceso”*. (Rodríguez Gómez, Gil Flores y García Jiménez, 1999)

En este caso, **una primera aproximación** a los datos consiste en **la lectura sostenida de cada una de las transcripciones** textuales de las clases observadas⁶².

Estas transcripciones se presentan numeradas correlativamente asignando un número a cada una de las intervenciones que se registran en el discurso mantenido (Ver el ejemplo en el apartado 6.2.4). Cada una de estas intervenciones recibe el nombre de *turno de habla*.

Teniendo presente que el analista ha observado todas y cada una de las clases que se tienen desgrabadas las primeras lecturas se constituyen en una nueva mirada de los episodios en que ha participado.

La segunda etapa consiste en la **reducción de los datos** a modos más manipulables para los fines del análisis. Se procede segmentando la clase en episodios. El criterio empleado para determinar el alcance de cada episodio es temático/procedimental. Cada uno de los episodios, ahora subunidades del análisis, queda determinado cuando se hace evidente el cambio a un nuevo tema ó actividad en el discurso de la clase. De esta manera, el número de episodios y, consecuentemente, el número de turnos de habla de cada episodio, varía clase a clase.

En la tabla que sigue se ha consignado para cada clase observada, la fecha de la misma, el tiempo de duración, si ha sido factible obtener el registro de las discusiones orales, los episodios en que cada clase se ha segmentado, los turnos de habla que abarca cada episodio y una descripción del tema abordado en cada uno de ellos.

⁶² Las transcripciones de las desgrabaciones de las clases observadas constituyen la primera transformación de los registros de audio del discurso mantenido en las clases observadas.

Fecha	Tiempo (en h)	Clase N°	Regis. en audio	Epis. N°	Turno de habla	Tema
07/04	1	1	Sí	1	1-42	¿Qué es la gravedad?
				2	43-141	¿Por qué se mueven los cuerpos?
				3	142-186	¿Cómo modifica la fuerza al movimiento?
09/04	1	2	Sí	1	1-76	La fuerza es constante en módulo
				2	77-187	¿Dónde actúa la fuerza?. ¿Cómo la representamos?
14/04	2	3	Sí	1	1-60	¿Cómo es la velocidad de la Tierra?
				2	61-124	El cálculo de la fuerza de gravedad
				3	125-202	Otras características de la fuerza de gravedad
16/04	1	4	No			Resolución de problemas en grupos.
21/05	2	5	Sí	Único	1-55	Discusión sobre los resultados de la resolución de problemas.
23/05	1	6	Sí	Único	1-42	Resolución de problemas.
28/04	2	7	Sí	1	1-18	El caso Urano
				2	19-99	Las variables que determina el valor de F
				3	100-120	Las fuerzas gravitatorias que nos rodean.
				4	121-209	La representación gráfica de la fuerza gravitatoria.
30/04	1	8	Sí	único	1-122	¿Cómo actúa la fuerza gravitatoria?
05/05	2	9	Sí	1	1-200	El campo gravitatorio
				2	201-301	Diferentes ejemplos de campos
07/05	1	10	Sí	único	1-92	Resolución de problemas.
12/05	2	11	Sí	1	1-21	Resolución de problemas.
				2	22-121	Revisión de los temas tratados en este bloque de contenidos.
				3	122-139	Representación gráfica del campo
14/05	1	12	No			Resolución de problemas en grupos.
21/05	1	13	Sí	único	1-71	Discusión de resultados.

Tabla 9: Caracterización de cada una de las clases observadas

La etapa siguiente consiste en la **identificación y clasificación** de determinados componentes temáticos que permitan reunirlos en una u otra categoría de contenido (Rodríguez Gómez et. al, op.cit.). Esta etapa, conocida comúnmente como categorización, se realiza de manera conjunta con la

codificación, se trata de una operación concreta según la cual se le asigna a cada elemento de una categoría un código propio para reconocerla.

Para determinar cuáles han de ser las posibles categorías se recuerda el propósito de la propuesta didáctica: "... se espera alcanzar unas primeras aproximaciones entorno de la noción de gravedad, la ley universal y los modelos de acción a distancia y campo gravitacional." En el marco teórico de los campos conceptuales de Vergnaud esto significa que se espera colaborar en el desenvolvimiento de los esquemas de los estudiantes cuando se los involucra en determinadas situaciones especialmente diseñadas y con un propósito específico como es que evolucionen hacia los modos científicamente aceptados y oportunamente mencionados en el capítulo 4. Así los principios y caracteres allí enunciados se constituyen en una parte importante del grupo de categorías que se emplearán en el análisis.

Siendo que las situaciones están diseñadas con el propósito de reconocer posibles evoluciones en las ideas de los estudiantes, interesa fundamentalmente analizar tanto las condiciones de producción de ciertos episodios como el modo en que los mismos progresan o no, en el devenir de las diferentes clases.

Al tomar en cuenta las condiciones de producción se hace necesario considerar el siguiente triángulo: el sujeto hablante, el objeto de discurso o referencia y un tercero. Para esta investigación, el hablante lo constituye cada sujeto que participa de la clase, el objeto de discurso es el bloque de temas que se nuclean bajo el rótulo de interacciones gravitacionales y el tercero es el docente que media y condiciona (con sus decisiones) la producción de ese discurso y no otro. Nótese que podría pensarse como tercero también a cualquier otro de los estudiantes que participan de la clase y ello no cambiaría demasiado en la manera que se propone para describir el análisis que en adelante se detallará. Solamente se ha considerado al docente en el rol particular de tercero por ser él quien debería estar en condiciones de introducir las modificaciones oportunas cuando el rumbo de las discusiones se aparta de las previsiones estipuladas en el diseño de las situaciones.

El modelo de discurso que en adelante se esquematiza, es análogo al que oportunamente se ha propuesto para la descripción de las clases observadas (Figura 9 en la página 63, del capítulo 2). Básicamente, se trata de una modificación al modelo tradicional que considera a los eventos didácticos, caracterizados por el alumno, el docente y los contenidos. El nuevo modelo introduce un cuarto elemento con la misma jerarquía que los anteriores, se trata del lenguaje y los símbolos; aporta el nexo entre los tres elementos anteriores y se constituye en el identificador carácter comunicacional de todo evento didáctico. (Altet, 1994)

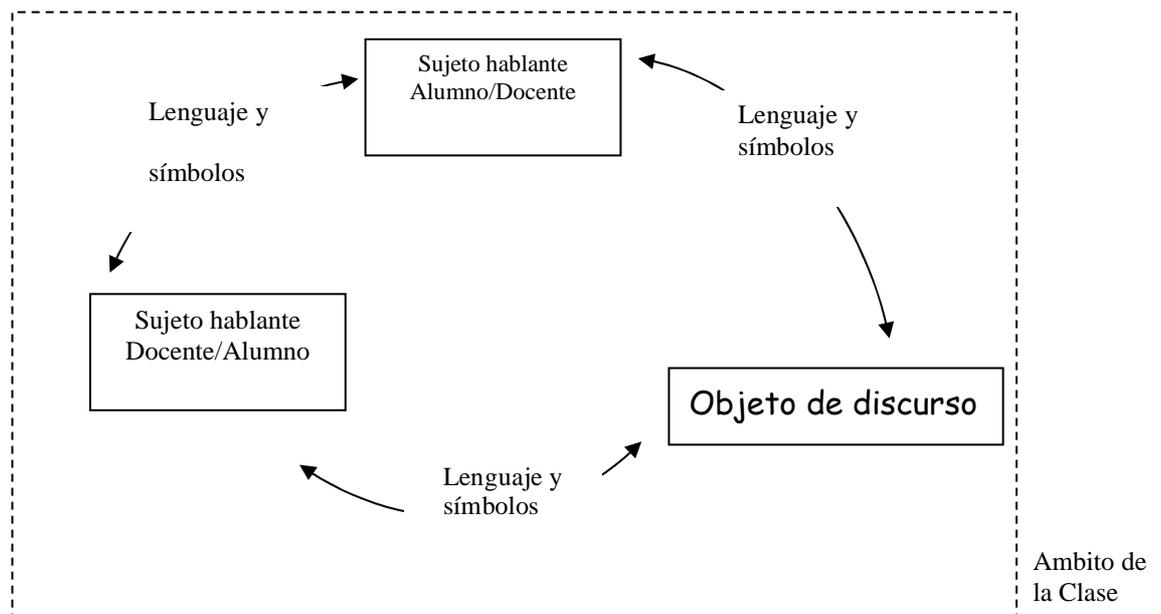


Figura 28: Modelo de discurso

El proceso seguido en la elaboración de las categorías para los fines de la investigación debería recuperar el modo en que las palabras dichas en la clase afectan a los resultados del aprendizaje. Es decir, buscará describir cómo es que ese discurso observable en el aula (*observable* en tanto que se ha registrado en audio y es susceptible de análisis) afecta el inobservable proceso mental que atraviesan los participantes y con esto a la naturaleza de todos los procesos que acontecen en la clase. Se trata de proponer categorías para las conocidas relaciones entre pensamiento y lenguaje. El pasaje del pensamiento como producto al pensamiento como proceso, y del lenguaje como sistema simbólico al habla como utilización del lenguaje en la interacción social (Cazden, 1991), demanda la clarificación de los indicadores que darán cuenta de este "salto", a la luz de los referenciales adoptados. Es por ello que las categorías para el análisis contemplan las siguientes dos alternativas:

- a) se adoptan como referenciales de partida a los caracteres y principios ya mencionados que junto a las categorías de conceptos claves y covariaciones, constituyen la metacategoría que atiende al **análisis temático** particularizando en cada una de ellas a diferentes aspectos de las interacciones gravitacionales. En este caso el análisis sigue un proceso deductivo partiendo de un sistema de categorías predefinido.
- b) se realizó un estudio preliminar a éste implementando la misma propuesta con estudiantes del mismo colegio (que asisten a otra división de primer año Polimodal) donde las clases fueron dictadas por el propio analista. Los resultados del estudio permitieron ajustar algunos aspectos de la propuesta a las demandas/necesidades de los estudiantes a la vez que permitieron determinar las categorías que conformarían la metacategoría que atiende al **análisis de enunciación propiamente dicho** vinculadas con la dinámica y el estilo en que acontece el discurso. En esta oportunidad, el proceso seguido para arribar a las categorías del análisis es eminentemente inductivo.

6.2.1 El análisis temático

Es transversal, es decir, atraviesa el conjunto de todas las unidades de análisis. Las categorías que a continuación se detallan (y que ya se han presentado antes) pueden entenderse como aquellos invariantes operacionales a los que se aspira identificar en el transcurso del discurso de las clases. La intención es estudiar la evolución a corto plazo, de las concepciones y prácticas del grupo de estudiantes frente a situaciones nuevas, una psicogénesis a corto plazo (Vergnaud, 1983 a, p.23). Luego, hay que entender que la identificación de las categorías que se enuncian a continuación puede presentar matices según se desarrolla el tema. En oportunidad del análisis de los resultados se profundizará sobre este particular.

- **REC:** *Carácter recíproco:* Si un objeto A afecta a un objeto B, después, el objeto B afecta al objeto A, es indiferente a la naturaleza de los objetos A y B. Los objetos A y B interactúan o no interactúan. (Lemignan, op.cit.)

$$|F_{AB}| = |F_{BA}|$$

- **COM:** *Carácter composicional:* Un objeto A puede estar sometido de manera simultánea a diferentes formas de interacción independientes unas de otras.
- **ADI** *Carácter aditivo:* Puede enunciarse en términos del principio de superposición de campos. El campo total debido a todas las fuentes es la suma de los campos debidos cada fuente. Si C es el campo producido por varias fuentes, podemos escribir que:
$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$
- **SIM** *Carácter simultáneo:* En términos del modelo de acción a distancia la interacción ocurre a la vez en los dos elementos que participan.
- **INS** *Carácter instantáneo:* En términos de la teoría de campos de fuerzas existe un tiempo finito para que un objeto A interactúe con otro objeto B.
- **DIM** *Principio de independencia de las dimensiones de los objetos intervinientes:* Las interacciones son posibles entre objetos del nivel microscópico, mesocósmico o macroscópico.
- **DIN** *Principio de independencia del estado dinámico de los objetos participantes:* Las interacciones son posibles sea para objetos en reposo como para objetos en movimiento.
- **SEP** *Principio de independencia de la separación entre los objetos participantes:* La interacción se da tanto para objetos muy próximos entre sí como para objetos muy alejados.

Como consecuencia de las primeras lecturas para la aproximación al tratamiento de los datos se opta por incluir, formando parte del análisis temático a las categorías:

- **CLA** *Identificación de ideas claves:* Identificación de conceptos claves durante el tratamiento de los temas del episodio que se analiza.
- **COV** *Reconocimiento de covariaciones:* Evidencia de una variación conjunta entre dos o más variables para la descripción de un cierto evento.

Una idea clave o un concepto clave para el bloque temático que se aborda es un concepto-en-acto. Un predicado que se estima relevante y tiene sentido de ser incorporado al discurso para explicar, describir, comentar un fenómeno.

La aparición de variaciones conjuntas podría permitir la identificación de ciertas reglas de acción en donde unos determinados conceptos se ponen en relación unos con otros. En ocasiones, pueden resultar en una proposición verdadera o falsa (teoremas-en-acto) en el contexto del discurso aunque no sea científicamente aceptable o se trate de una primera aproximación a ella.

6.2.2 El análisis de la enunciación

Comporta el estudio de cada clase en particular como una unidad de estudio o un estudio de caso constituyéndose en una unidad con totalidad organizada y singular. A diferencia del análisis temático que determina categorías a partir de los contenidos teóricos como cuadro de referencia, el análisis de la enunciación queda liberado de hipótesis antes del estudio del discurso. (Bardin, 1986). En este caso, se ha comentado antes que las categorías que aquí se enmarcan son el resultado de un estudio preliminar. En particular se desglosa en tres aspectos:

Disposición y dinámica del discurso, estilo y elementos atípicos.

A) Disposición y dinámica del discurso: Se trata de encontrar la lógica intrínseca que estructura a cada clase. (Bardin, op.cit.) En un diálogo, las personas involucradas se interrelacionan actuando de manera estratégica dentro de un juego de expectativas en cuanto a lo que puede suceder. En una clase, las intervenciones de los estudiantes y las intervenciones del docente están condicionadas por una infinidad de factores propios de la dinámica de funcionamiento de esos actores en ese contexto. Esta dinámica, que es la que se intenta describir se compone de dos aspectos: el lógico y el secuencial.

El análisis lógico (**LOG**) atiende a las relaciones semánticas que describen como se vinculan los significados de palabras o frases cuando se usan conjuntamente para referirse a un mismo tema. Lemke (1997)

Implica el reconocimiento de la estructura de actividad que predomina en un determinado grupo de turnos de habla.

Este análisis apunta a aquello que el alumno hace/dice para otorgarle significado a un cierto evento.

Los modos que se han identificado son los siguientes:

- **Adición (ADI):** Alude a situaciones donde el hablante reúne una serie de elementos homogéneos susceptibles de identificarse conjuntamente por su cardinal.

Ejemplo: *Nosotros creemos que hay otros mundos...*

- **Agencia (AGE):** Se trata de eventos en los cuales es factible identificar un agente al que se adjudica una cierta intervención sobre otros elementos.

Ejemplo: *Yo creo que al ser el Sol el más grande de todo el sistema le hace una fuerza a todos los otros.*

- **Analogía (ANA):** Atiende al proceso por el cual algún elemento del discurso pasa a ocupar el lugar de análogo a otro, tomado como referencia y supuestamente conocido por el resto de los hablantes, en pos de una cierta argumentación.
Ejemplo: *La boleadora hace un movimiento parecido al que ocurre en el sistema solar.*
- **Atribución (ATRI):** Recupera aquellas ocasiones en que se reconocen los atributos, cualidades o funciones de un cierto fenómeno.
Ejemplo: *Como que el centro de gravedad es el Sol.*
- **Clasificación (CLA) y Muestra/tipo (MUE):** Identifica expresiones en las que hay alusión a una clasificación, entendiéndose por tal a la rotulación de una situación que reúne una serie de cualidades. En general, cuando se clasifica a un evento, éste se convierte en la muestra o el tipo de la clase.
Ejemplo: *Otra fuerza en la que los cuerpos no necesitan tocarse, es la magnética. (CLA). Los imanes (MUE) no necesitan estar en contacto para ejercer fuerzas entre ellos.*
- **Conexión o elaboración (CON):** Reúne a dos o más expresiones en las cuales la relación entre estas expresiones es de causa/consecuencia ó problema/respuesta.
Ejemplo: *Si uno coloca un objeto en un punto cualquiera del espacio del aula, y lo suelta ese objeto se cae. Siente una fuerza sobre él que lo tira para abajo.*
- **Cuantificación (CUA):** Incluye expresiones en las cuales se asignan valores o se hacen apreciaciones sobre la cantidad de una cierta variable.
Ejemplo: *Si me subo a una escalera que está a dos radios de la Tierra la fuerza de gravedad, disminuye en cuatro.*
- **Localización (LOC):** Apunta a expresiones que sitúan un cierto fenómeno espacialmente.
Ejemplo: *La fuerza se ubica en el centro de la Tierra.*
- **Tiempo (TIE):** Apunta a expresiones que sitúan un cierto fenómeno temporalmente.
Ejemplo: *En el campo la fuerza tarda en llegar.*

El análisis secuencial (**SEC**) se focaliza en la manera en que se desenvuelve la clase. Es decir, cuál es el ritmo con que se suceden las diferentes actividades que tienen lugar en la clase para construir la red de relaciones semánticas. Es una visión global de cómo acontece el desarrollo de la clase asumiendo que es básicamente, una mirada sobre la organización que plantea el docente en función de las previsiones y anticipaciones que son propias de su función en la clase.

Consiste en la identificación de acontecimientos o fuerzas subyacentes que modifican el contenido. De manera análoga a como se ha presentado la categoría referida a la lógica del discurso se intenta en este caso, describir cuáles son los principales descriptores de cada episodio.

Las modalidades encontradas son las que siguen⁶³:

- **Construcción conjunta (COC):** Responde a grupos de turnos de habla en los cuales la intervención de los diferentes miembros de la clase puede catalogarse de comparable. No hay primacía de una voz por sobre las restantes. Son variadas las intervenciones que permiten darle sentido a una cierta construcción.
- **Disparador (DIS):** Se refiere a aquellas expresiones en las cuales es posible identificar un cierto evento que "condiciona" el modo en que la discusión se llevará adelante. Suele ser habitual que responda a la voz del docente, proponiendo alguna pregunta, por ejemplo. Se trata de una intervención breve.
- **Narrativa (NAR):** Atiende a grupos de turnos de habla donde prima fundamentalmente una única voz. A diferencia de DIS, en este caso, la narrativa mantiene durante un tiempo la voz del mismo hablante.
- **Recontextualización (REC):** Son expresiones en las que uno de los hablantes inserta el diálogo en un ámbito claramente definido, fuera del que se venía desarrollando o cuando menos, clarifica el contexto de esa discusión.
- **Resumen selectivo (RES):** Es un grupo de expresiones en las que puede advertirse el intento de resumir lo discutido, eligiendo unas ciertas expresiones y omitiendo otras.

Las categorías lógica y secuencial acontecen en simultáneo sin primacía cronológica de una sobre la otra, junto con el análisis estilístico permiten determinar la dinámica de cada unidad de análisis, en este caso, cada clase.

B) Estilo: La mirada estilística permite reconocer ciertas rupturas o continuidades que pondrán de manifiesto formas más confusas, redundantes o coherentes y controladas del discurso según sea el caso.

- **Rupturas (RUP):** Se considera una ruptura a cada palabra o frase que provoca un cambio en la dinámica del discurso.
- **Continuidades (CON):** Se considera una continuidad a aquella palabra o frase que permite sortear un obstáculo para que el discurso pueda continuar a pesar del obstáculo.

C) Elementos atípicos queda determinada por:

- **Identificación de repeticiones (REP):** reconocimiento de ciertas repeticiones o recurrencias que pudieran indicar importancia, ambigüedad, ambivalencia a una cierta noción.

⁶³ No se consignan ejemplos dado que la transcripción de grupos de turnos de habla se volvería engorrosa la lectura y se estima que la caracterización de la categoría es suficiente para dar una aproximación a ella.

- **Reconocimiento de fallos lógicos (FAL):** identificación de secciones que corresponden a una tentativa de razonamiento que falla en la argumentación.

Mientras que la mirada lógica está enfocada a lo que el alumno hace y la secuencial a lo que el docente propone hacer, los aspectos estilísticos y de elementos atípicos son despersonalizados en el sentido de que son parte del devenir del juego discursivo y por ello, se vinculan, indistintamente, a cualquiera de los miembros de la clase.

6.2.3 Las categorías de análisis y su relación con el propósito de la investigación

Como ya se ha dicho antes, este trabajo se orienta a colaborar en el desenvolvimiento de los esquemas de los estudiantes cuando abordan el tema de las interacciones gravitatorias. Para esto, a partir de los resultados de estudios preliminares se diseña una propuesta didáctica. El registro en audio de la puesta en práctica de la propuesta junto a otros documentos elaborados por la población de estudiantes con que se trabaja (trabajos prácticos, evaluaciones, esquemas conceptuales) se constituyen en el material a analizar y para el cual se han construido, entre otras, las categorías antes comentadas. Para describir la manera en que las categorías antes detalladas se vinculan con las intenciones de esta investigación se presenta un mapa conceptual que retoma los elementos del discurso, (incluidos en el esquema que se encuentra en la página 202) a la vez que incorpora otros de índole teórica y metodológica. Básicamente, expresa que en el contexto de esta investigación que es la clase de Física, alumnos, docente y contenido (interacciones gravitacionales) están interconectados a partir del discurso que acontece en el aula, compuesto de lenguaje y símbolos.

Establecido el contenido a tratar en la clase, el docente organiza y dirige las actividades en función del mismo. Estas actividades consisten fundamentalmente en la toma de decisiones en función de los acontecimientos que se desarrollan en la clase. Se asume que se trata de decisiones profesionales, producto del conocimiento previo y la práctica reflexiva de un profesional de la docencia. Además, se realizan con miras a que los estudiantes puedan desarrollar unos esquemas cuyo contenido (los invariantes operacionales) se espera que evolucionen hacia las formas científicamente aceptadas. Desde el análisis del discurso de las clases esta organización y planeamiento del devenir de la clase se infiere con la categoría SEC que como se ha dicho antes puede adoptar diferentes modalidades.

El alumno, por su parte, desarrolla un repertorio de esquemas. Tales esquemas se componen de los invariantes operacionales (teoremas-en-acto y conceptos-en-acto), reglas de acción, posibilidades de inferencias y objetivos o metas. En particular, las reglas de acción, que son los verdaderos disparadores de los esquemas se infieren desde el discurso bajo la categoría COV. Los invariantes operacionales se identifican a partir de:

- a) las categorías preestablecidas según ciertos principios y caracteres propios del campo conceptual de las interacciones gravitatorias

- b) la categoría CLA que identifica a los conceptos-en-acto y
- c) la categoría LOG que adopta diferentes modalidades. A diferencia de las categorías preestablecidas, LOG reconoce a aquellos teoremas-en-acto que si bien no responden a formas científicamente aceptadas (en ese caso, se dispone de las categorías preestablecidas), colaboran en la construcción de las mismas.

Luego, lo que los alumnos dicen/hacen está fuertemente condicionado por lo que el docente dice/hace y recíprocamente. Cada uno de los episodios que se analizan no es independiente del contexto en que se desarrolla. En ese contexto de desarrollo de la clase se incorporan las categorías asociadas al estilo y a la presencia de elementos atípicos.

Mientras que la categoría SEC está focalizada en aquello que el docente dice, hace o denota proponerse, las categorías que describen los invariantes operacionales se derivan de las acciones de los estudiantes para otorgar significado al discurso. Está claro que el hecho de que se reconozcan a partir de enunciaciones de los alumnos no niega la deliberada participación del docente dentro del contexto de producción que tienen lugar. El resto de las categorías (elementos atípicos y las vinculadas con el estilo del discurso) responden, de manera indiferente a intervenciones de uno u otro de los actores de la clase.

En el mapa de la página que sigue se ha optado por acompañar las relaciones entre los diferentes elementos con la categoría que se emplea para identificar tal relación. Las categorías aparecen con su sigla y en recuadros sombreados. El mapa no es otra cosa que la explicitación de la herramienta de análisis de los discursos basada en el marco teórico.

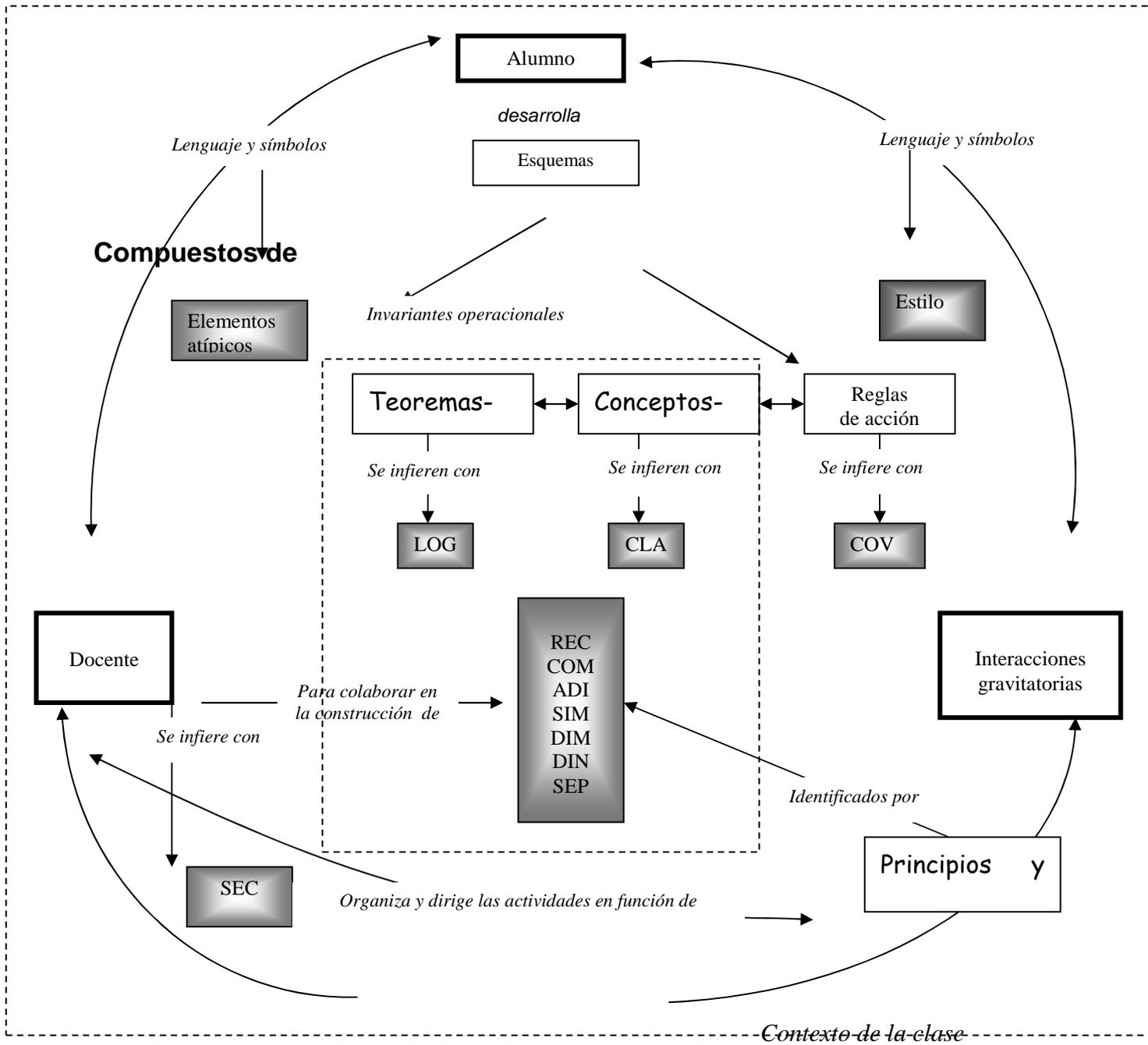


Figura 29: El modelo de análisis.

6.2.4 A modo de ejemplo: La identificación de las categorías en la Clase N° 1

Episodio I

- | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 1. D: En la clase pasada yo les anticipé que comenzábamos un nuevo bloque de temas que es el 2. Como para comenzar ¿qué podrían decir Udes. que es la gravedad? _____→ | SEC: Disparador |
| 2. A: Es lo que hace que los cuerpos no floten. | |
| 3. D: Es lo que hace que los cuerpos no floten sino ¿qué? | |
| 4. A: Que estén en el piso. | |
| 5. D: Julia | |
| 6. A: Es una fuerza. | |
| 7. D: ¿Es una fuerza? _____→ | CLA |
| 8. A: De atracción. _____→ | LOG: Atribución |
| 9. D: ¿De atracción?. ¿Y quién haría esa fuerza? | |
| 10.A: El centro de la Tierra. _____→ | LOG: Agencia |
| 11.A:Es en cuerpos con mucha masa. _____→ | CLA |
| 12.D: La gravedad ¿es entre cuerpos de mucha masa?. | |
| 13.A1: La fuerza de atracción es entre dos cuerpos con _____→
masa. | REC |
| 14.D: Sí, Tomás | |
| 15.T: La fuerza de atracción es entre cuerpos con masa. | |
| 16.D: El dice que con mucha masa y vos decís con masa. | |
| 17.A: Uno siempre tiene mucha masa. El que hace más fuerza tiene más masa. _____→ | COV |
| 18.D: ¿Vos qué es lo que querés aclarar? | |
| 19.T: Que no necesariamente tiene que tener mucha masa. | |
| 20.D: Y vos ¿qué decís? | |
| 21.F: Uno con más masa que el otro y puede ejercer más fuerza. | |
| 22.J: Que funciona entre los cuerpos con masa. | |
| 23.D: ¿Cómo? _____→ | CLA |
| 24.J: Que la gravedad funciona entre los cuerpos con masa. | |
| 25.A: EL que tiene más masa atrae al que tiene menos masa y el que tiene menos masa se acerca al que tiene más masa. | |
| 26.D: Se acerca al que tiene más masa. ¿Y entre quiénes se ejerce la fuerza? ¿uno, los dos, el otro? _____→ | COV FAL |
| 27.A: En ambos. | |
| 28.A: No para mí se ejerce entre dos cuerpos cualquiera. _____→
no importa la masa. Pero se nota cuando | REC |
| 29.cuando uno tiene mucha masa, o cuando los dos _____→
tienen mucha masa. | CON |
| 30.D Y mucha ¿en qué pensás?. ¿mucha como cuánto? | |

31.A: Como la Tierra.	→	LOG: Cunatificador Muestra/tipo	} SEC: Construcción conjunta
32.A: Como Júpiter.			
33.D: Entonces todos están de acuerdo en que es una fuerza. ¿Eso dicen?		COV LOG: Cuantificador	
34.A: Yo creo que cuando más cerca estén más fuerza de gravedad hay. Porque si están más lejos, suponete la Tierra en este caso, se ejerce menos gravedad.	→		
35.D: Entonces ¿de qué dependería?			
36.A: De la distancia.	→	CLA	
37.D: ¿Algo más?			
38.A: Otro punto es que no tendrían que estar en contacto los cuerpos para que esa fuerza este ahí.		LOG: Atribución SEP	
39.D: ¿No tienen otra explicación más que es una fuerza?			
40.A: Es una interacción.	→		
41.D: Acá Alejo agrega que hay una interacción. ¿Y eso qué es?	→	CLA	
42.A: Vendría a ser una interacción mutua entre dos cuerpos.			
43.A: Esa es la idea de fuerza que ya vimos.	→	REC	

Episodio II

44.D: Para dar una respuesta más acabada a esto les cuento que esto empezó a discutirse cuando se intentaba analizar ¿por qué se mueven los planetas?. Para poder dar una respuesta a esto había varias explicaciones en determinado momento. Lo que vamos a hacer es analizar esas explicaciones que había en ese momento y vamos a tratar de interpretarlas. Dejamos por ahora inconcluso qué es la gravedad y lo vamos a completar con más conceptos. Vamos a copiar esto en la carpeta. Pongamos para referirnos a la gravedad.

45.A: Hay título o algo?.

46.D: El título del bloque.

47.A: Interacción gravitatoria.

48.D: El título entonces es Interacción gravitatoria. Para referirnos a la gravedad vamos a comenzar analizando uno de los problemas que hacía falta resolver: ¿Qué es lo que hace que los planetas se muevan?. Algunas ideas que circulaban para dar respuesta a esta cuestión eran las siguientes:

→ SEC:
Disparador

- Oresme, un obispo que participaba de las discusiones sobre el problema, sostenía que si existieran otros “mundos” en el universo, la materia situada cerca de ellos sería atraída hacia su centro.
 - Kepler, un matemático de aquella época, imaginó a los planetas impulsados en órbitas a causa de un arrastre provocado por una fuerza solar.
 - Galileo, llega a la conclusión, de que si algo se mueve, sin que nada lo toque ni lo perturbe, se seguirá moviendo indefinidamente en línea recta y siempre a la misma velocidad.
 - Otra propuesta sostenía que los planetas giraban porque detrás de ellos iban ángeles batiendo sus alas e impulsando el planeta hacia delante.
- Entonces ponemos una pregunta abajo, ¿Cuál de las ideas que se acaban de enunciar te resulta más aceptable?. ¿por qué?.
- ¿Se te ocurren otras posibilidades para el movimiento de los planetas?. Explicar.
- Entonces en un ratito lean esas cuatro y después comentamos qué opinan. Discutan entre Ustedes.

SEC: Narrativa

Después de un tiempo de discusión.

49.D: Vamos a discutir lo que pensaron hasta ahora. Todas las respuestas posibles, para Ustedes. A ver Alonso.

50.A: Para mí es que cuando se forman los planetas empiezan por la fuerza de gravedad que empieza a atraer partículas. Esas partículas empiezan a estar en movimiento. Ese movimiento necesita ser giratorio por la fuerza del Sol y por la fuerza centrífuga es igual a la fuerza de gravedad y por eso se mantienen en órbita.

51.A: Ay, no entendí nada.

FAL

52.D: Bueno, de nuevo, pero lento. Vos dijiste que los planetas giran alrededor del Sol por una fuerza de gravedad.

53.A: No, porque al principio empezaron a dar movimiento de choque de partículas.

54.D: Y ahora porqué giran?

55.A: Bueno, ahora sí, siguen girando, por lo de Galileo. Siguen siempre en la misma dirección.

56.D: ¿En la misma dirección?

57.A: No dirección no. No porque si lo atrae el Sol, lo atrae.

58.D: Entonces ¿qué hace el Sol?

59.A: Lo atrae.

LOG: Atribución

60.D: Lo atrae, le está haciendo una fuerza de atracción a los planetas.

61.A: Sí.

- 62.D: Y esto hace para vos que el planeta gire alrededor del Sol. Estarías de acuerdo entonces con Kepler.
- 63.A: Sí.
- 64.D: A ver allá, Julia.
- 65.J: Sí, nosotras pusimos esa, porque es la más razonable.
- 66.A: El sistema donde estaban los planetas era el sistema solar. Y nos parece que el centro de ...gravedad, no. (lo dice en un tono de vos más bajo como arriesgando) → CLA
- 67.D: Sí, después vemos los nombres, continua
- 68.A: Como que el centro de gravedad es el Sol
- 69.D: Bueno, entonces, el Sol le hace una fuerza a los planetas para que giren.
- 70.A: Yo creo que al ser el Sol el más grande de todo el sistema le hace una fuerza a todos los otros. Pero los otros no alcanzan a tocar al Sol porque hay fusión en el Sol que expulsa energía y los repele. → FAL
LOG: Clasificador
Atribución
- 71.D: No podemos comparar energía con fuerzas. Pero contame porqué aclaraste que el Sol es el más grande.
- 72.A: Y porque tiene más masa. → COV
- 73.D: Y entonces, que...
- 74.A: Porque es el que atrae.
- 75.A: Nosotras elegimos o combinamos las tres primeras. Por ejemplo lo de Kepler o la primera.
- 76.D: A ver qué dice la primera.
- 77.Dice que existen otros mundos que atraerían. Y nosotros estamos de acuerdo con eso.
- 78.D: ¿Y cuáles serían los otros mundos?
- 79.A: Marte, otros.
- 80.D: Otros planetas. Y el centro de esos planetas ¿por quién se sentiría atraído?. Porque aca dice eso.
- 81.A: Nosotros creemos que hay otros mundos pero no hay otro centro tan poderoso como el Sol. Después la de Kepler, algunas cosas sí. Por ejemplo lo de la fuerza solar no. → ADI
LOG: Clasificador
- 82.D: ¿El Sol no los atrae?
- 83.A: Sí, los atrae pero no necesariamente. Por ahora es el que tiene más masa pero si hubiera un planeta que tiene más masa se sentiría atraído por ese. → LOG: Agencia
Continuidad
- 84.D: Y en este caso es el Sol. O sea que si hubiese otro sistema solar ese los atraería. ¿qué decís que no?
- 85.A. Para mí depende de la distancia. Si vos tenes un planeta, necesitas del movimiento antes porque si no va directo al sol. → COV
- 86.D: Suponete que lo analizas cuando ya se empezó a mover. ¿Por qué sigue moviéndose?.
- 87.A: Ah, sí por el Sol.
- 88.A: Para mí no se caen.

- 89.D: Por que no se caen al Sol decís.
- 90.A: Sí.
- 91.D: A ver, esperá un poquito.
- 92.A: Para mí es porque la energía que liberan
contraresta el movimiento.
- 93.A: No para mí es porque giran, por la fuerza centrífuga
que es igual a la atracción. → FAL
- 94.A: ¿Qué es la fuerza centrífuga?
- 95.D: A ver ¿qué es la fuerza centrífuga dice Flavia?
- 96.A: A que cuando un cuerpo gira siempre tiende a irse
para afuera. O sea a salirse.
- 97.D: Sí Flavia. ¿En qué casos por ejemplo?
- 98.A: Como en una honda.
- 99.A: Como en auto, vas así y hay una fuerza que quiere
llevarte para afuera. } → RET
LOG: Agencia
100. D: Entonces hay una fuerza que lo mantiene en esa
órbita y no lo obliga a irse para afuera.
101. A: Que es la fuerza del Sol.
102. D: Entonces ¿son distintas la fuerza centrífuga que
la del Sol?. ¿Son dos distintas?
103. A: ¿Cuál es la fuerza que lo mantiene cerca del Sol?
104. D: Vamos a dejar algunas preguntas inconclusas
por ahora.
105. A: Una pregunta. ¿por qué giran en óvalos?
106. D: Porque el Sol no está justamente en el centro de
ese sistema.
107. A: Si la fuerza del Sol no está, el planeta se sigue
moviendo derechito.
108. D: A ver, Lucía.
109. A: Por lo que dice Galileo, se sigue moviendo en
línea recta.
110. D: ¿Con cuál están de acuerdo?.
111. A: Con la de Lucía.
112. D: ¿Por qué la velocidad no cambiaría?
113. A: Porque no hay nada que lo perturbe. → COV
114. D: ¿Y qué es lo que hace cambiar la velocidad de
un cuerpo?
115. A: El roce.
116. D: ¿EL roce?.
117. A: Una fuerza. → FAL
118. A: La energía cinética.
119. D: A ver, paren un poco. ¿Qué tiene que haber
para que la velocidad cambie?
120. A: Una fuerza. → COV
121. D: Tiene que haber una fuerza. Una puede ser la
del roce, pero no necesariamente.
122. A: Puede disminuir.

123. D: Puede disminuir o podría haber otra que lo haga aumentar. La de roce lo haría disminuir. ¿Qué otra cosa podría provocar una fuerza en el movimiento de un cuerpo?
124. A: La deformación. → COV
125. D: ¿Y sobre el movimiento?
126. A: Cambio de rumbo.
127. D: ¿Cómo sería eso?
128. A: Y que si no está el Sol iba a ir en línea recta.
129. D: Entonces estarías de acuerdo con Galileo. Si no existiera la fuerza entre el Sol y el planeta el planeta seguiría en línea recta y con velocidad constante.
130. A: Porque se está moviendo sin que nada lo perturbe.
131. D: Entonces, tendría que haber una fuerza que atrae a los planetas y estaría en el Sol, ahí es donde están de acuerdo con Kepler. Si esa fuerza no existiera el planeta seguiría con velocidad constante y en línea recta ya ahí están de acuerdo con Galileo. Y... la de los ángeles? } SEC: Resumen selectivo
132. A: No, esa no.
133. D: De acuerdo con la primera Tomás propone que si hubiera otro planeta con más masa que el Sol serían atraídos hacia ese planeta. Eso es lo que él propuso.
134. A: Siempre y cuando estén a la misma distancia.
135. D: Agustín dice que también lo de la distancia importa. → COV
136. D: ¿Qué provocaría una fuerza?
137. A: cambio.
138. D: ¿Cambio en qué?
139. A: Cambio en la velocidad y deformación.
140. A: La velocidad puede disminuir o aumentar.
141. A: O cambiar de rumbo. → COV

Episodio III

142. D: Bien. Teniendo en cuenta eso vamos a pasar a otra pregunta. Coloquen ahí abajo. Proponer una situación que ponga en evidencia lo que enunciaba Newton. Y coloquen: (lo que acabamos de decir recién). El único modo de cambiar el movimiento de un cuerpo es mediante una fuerza: Es decir, tanto para mostrar como cambia la velocidad de un cierto móvil cuanto para mostrar cómo cambia la dirección del movimiento.. Bueno traten de pensar un ejemplo de una fuerza actuando que me cambie la velocidad como de una fuerza actuando que me cambie la dirección. Cualquier ejemplo, el que se les ocurra. } SEC: Resumen Selectivo

Después de unos minutos, se les solicita que comenten los ejemplos.

143. D: Vamos a comentar los ejemplos. Volvamos a la discusión. Vemos estos ejemplos y ya terminamos.

144. A: Tirar una pelotita de tenis contra una pared, la pelotita vuelve y cambia de dirección y la velocidad.

145. A: Cuando por una canaleta que es así y tiras agua, si tiene un codo que la desvía cambia la dirección.

146. D: ¿Qué otro?

147. A: Por ejemplo cuando alguien tira una pelota y otro la batea, le cambia la dirección.

148. A: Un auto andando y el viento en contra.

149. A: Disminuye la velocidad ahí. Pero no cambia la dirección.

150. D: No cambia la dirección.

151. A: Tendrías que doblar para eso. →

152. D: Claro.

153. A: Otro ejemplo es el del carrito que sube en la montaña rusa y cambia de dirección.

154. D: Y ahí ¿qué fuerza actúa?

155. A: La potencial →

156. D: Están confundiendo la energía, les pregunto por fuerza.

157. A: El peso.

158. D: La fuerza peso. →

159. D: Hubo un ejemplo que propusiste vos Tomas que hacía que un cuerpo girara y no era el de los planetas.

160. T: Una honda.

161. D: Ah, sí. ¿Lo entienden?

162. A: Sí. Una honda o una boleadora.

163. A: Una piedra. →

164. D: ¿Qué es lo que hace que esa piedra o boleadora gire?

165. A: La fuerza.

166. D: ¿De qué fuerza me están hablando?

167.

168. A: De la que vos hacés.

169. D : ¿Cuándo saldría disparada esa piedra?

170. A :Cuando la soltás.

171. D: ¿Quién hace la fuerza?

172. A: El material

173. D: ¿Qué material?

174. A: La cuerda.

175. D: Bien.

176. A: La boleadora en movimiento es un ejemplo parecido al sistema solar.

177. D: A ver de a uno.

178. A: Digamos, la boleadora es atraído por el hombre que la agarra. La mano es el Sol.

RET
COV
LOG: Muestras

RUP

FAL

CLA

RET
LOG: Conexión

LOG:
Analogía,
Elaboración

179. D: Y la fuerza?
 180. A: La fuerza de gravedad que hace el sol
 181. D: Y en el cuerpo?
 182. A: La mano o la soga.
 183. D: Y la piedra ¿con quién se compara?
 184. A: Con el planeta.
 185. D: Están todos de acuerdo que ahí hay una fuerza que hace que este cuerpo gire y que si corto el vínculo. ¿Qué pasa con el cuerpo cuando corto el vínculo?
 186. A: Sigue, como Galileo, nada lo perturba.
 187. D: Bueno, seguimos el miércoles.

LOG:
 Analogía,

Comentarios en relación con la aplicación de las categorías a la clase ejemplificada

A continuación se comentan los criterios de demarcación para la identificación de los episodios y cada una de las categorías identificadas.

El alcance del **episodio I** está vinculado al hecho que desde el comienzo hasta el turno 42 el discurso sostenido, procura la caracterización oral de la gravedad (como consecuencia de la discusión grupal) en términos de lo que los estudiantes ya conocen con anterioridad a esta clase. Es una sucesión de turnos de habla que procuran sacar "a la luz", mediante preguntas (conducidas por el docente), aquello que los alumnos estarían conociendo acerca del tema.

El comienzo del segundo episodio, en el turno 43, se asocia al cambio de actividad que habrán de desarrollar los alumnos como es analizar una serie de enunciados hipotéticos acerca del tema en cuestión a los fines de decidir y argumentar cuál es el más probable para explicar que los planetas se mueven.

El criterio para cambiar al tercer episodio es similar al empleado en la transición anterior. Ahora, a partir del turno 141, los estudiantes deberían estar en condiciones de proponer ejemplos escritos que pongan en evidencia las conclusiones alcanzadas en el segundo episodio.

El proceso comienza con el análisis por cada subunidad, esto es por episodio. Los resultados para cada uno de los episodios se resignifican en el análisis de toda la clase.

Para proceder al análisis del **episodio I** se comienza por examinar la secuencia (**SEC**) en que se desenvuelve el discurso. En el turno 1, se presenta una cuestión a modo de disparador (**DIS**) y el resto del episodio se enmarca en un intercambio permanente entre, los estudiantes y el docente y los estudiantes entre sí. Este es el motivo por el cual se categoriza al resto del episodio con la modalidad de construcción conjunta (**COC**) entre los actores participantes. Como notas distintivas hay que destacar las diferentes intervenciones del docente procurando replanteamientos (en los turnos 7,9,18, 48 y siguientes) en pos de llevar adelante la construcción de los significados.

En los turnos 3, 7 y 9 el docente emplea la repregunta para insistir en avanzar hacia la caracterización de la gravedad a la que había apuntado, originalmente, en el primer turno de habla de esta clase. Los estudiantes, se ven "condicionados" a seguir una cierta lógica en el diálogo ofreciendo algunas "aproximaciones" a la idea. Así en el turno 6 aparece el primer concepto clave (**CLA**): *es una fuerza*. Y de manera continuada el atributo (**ATRI**) que es de atracción (turno 8) y el reconocimiento del agente (**AGE**) que la estaría realizando (turno 10, el centro de la tierra). De aquí en adelante se identifican otros conceptos que en la construcción conjunta se asumen como claves o relevantes: la noción de masa (turnos 11 y 22); la idea de distancia como factor que incide en la relación de atracción entre dos masas (turno 35) y la noción de interacción a modo de explicación "más integral" de la discusión que se viene sosteniendo (turno 39). Otras modalidades para la lógica del discurso, aparecen asociadas con la identificación de ejemplos (muestra/tipo en el turno 32) y la cuantificación como factor detonante para comentar el efecto de la atracción (turno 33).

Continuando este mismo eje, del **análisis de la enunciación propiamente dicho**, hay que notar la identificación de las categorías que responden al estilo y a los elementos atípicos. En el turno 25, un estudiante sostiene que el cuerpo con más masa atrae al que tiene menos masa. Se trata de un fallo (**FAL**) bastante comentado en la bibliografía específica y asociado con la falta de identificación del carácter simétrico de la interacción. Sin embargo, tres turnos más adelante, otro estudiante refuta esta afirmación argumentando que la cuestión pasa por el efecto que la atracción provoca. Esta idea se transforma en un elemento que otorga continuidad (**CON**) al fallo anterior introduciendo la expresión "se nota cuando uno tiene mucha masa..."

En relación con el **análisis temático** es posible, a pesar de tratarse de la primera aproximación al tema, la identificación de unas cuantas categorías además de los ya comentados, conceptos claves. Así se reconoce a la categoría **REC** en tres oportunidades (turnos 13, 27 y 41). Es de destacar que en los tres casos, la aproximación al carácter recíproco es diferente. En el turno 13 solamente se reconoce que hay dos cuerpos participantes, en el 27 la noción se amplía, admitiendo que la fuerza se ejerce en ambos cuerpos, lo que se rectifica en el turno 41, al cierre del episodio, incorporando el término científico de interacción. Otra de las categorías que se identifica en tres oportunidades (turnos 17, 25 y 33) es **COV**. En el turno 25 esta categoría puede ser entendida en términos de algunos de los elementos que componen un esquema:

Cuando dos cuerpos se relacionan:

El cuerpo que tiene más masa atrae al que tiene menos masa. (Esto puede asumirse como un teorema-en-acto) y luego, la regla de acción es:

Si un cuerpo tiene menos masa que otro, entonces se moverá acercándose al que tiene más masa.

Para comentar cómo se analiza el **episodio II** se procede de manera análoga al anterior, comenzando por la estructuración de las actividades que orientan ese segmento de la clase. En el turno 47 el docente propone un problema **disparador** para el cual él mismo ofrece, a manera de **narrativa**, una serie de posibles alternativas que lo expliquen. Al retomar el diálogo, una vez que se han discutido las

ventajas y desventajas de cada alternativa, la clase transcurre en una **construcción conjunta** de todos los participantes, hasta el turno 131 en el cual el docente, resume en unas pocas frases, las principales ideas discutidas hasta ese momento (de allí el calificativo de **resumen selectivo**)

La lógica reaparece con las modalidades:

- **atribución** (turno 59 donde se manifiesta que el Sol es quien atrae a los planetas, turno 70: el Sol expulsa energía y repele);
- **agencia** (turno 83 donde se comenta que si un planeta tiene más masa que el Sol, ése sería el responsable por la atracción de los planetas y turno 99 donde se identifica a la fuerza como la responsable de un cierto efecto) y por último
- **clasificación** (turno 70) donde se reconoce al Sol como el elemento del sistema solar, con más masa.

Otras categorías del análisis de la enunciación son:

- fallos (**FAL**) en los turnos 50 y 70 y 93. En esos casos se hace uso de ciertos términos científicos ubicándolos fuera del contexto de la discusión que se viene llevando a cabo.
- continuidad (**CON**) que se infiere cuando un estudiante, ante una controversia en los turnos 82 y 83, hace manifiesta la provisoriedad de las afirmaciones que están sosteniendo.

De las categorías vinculadas con el análisis temático se pueden destacar:

- **CLA** en el turno 66 donde el término clave es el centro de gravedad,
- **ADI** en el turno 81. En este caso, se asume que la aseveración acerca de la presencia de otros mundos es una aproximación al carácter aditivo de la atracción gravitatoria y
- **COV** Esta categoría tiene una frecuencia notable a la vez que una variedad de asociaciones entre diferentes ideas. Así aparecen relaciones entre el volumen y la masa, la distancia y la fuerza, la velocidad y la fuerza por presentar algunos casos.

El **episodio III** se construye sobre la base de los ejemplos que los alumnos presentan respecto de identificar una fuerza que cambie el módulo de la velocidad con que se mueve un cuerpo o cambie la dirección del movimiento. Así la secuencia de actividades se organiza en torno de un **resumen selectivo** a cargo del docente y luego, un grupo de intercambios (**construcción conjunta**) entre los diferentes partícipes de la discusión.

En cuanto a la lógica se pueden reconocer **muestras o tipos** que responden a diferentes situaciones que colaboran para identificar como es que en situaciones cotidianas es posible cambiar el movimiento de algunos elementos a causa de la acción de una fuerza (Turnos 143 a 147). En paralelo a esta categoría está la de las **covariaciones** entre la fuerza aplicada y la dirección de la velocidad adquirida por el cuerpo sobre el que actúa la fuerza.

Un aspecto de interés en el análisis lo constituye el grupo de turnos de habla 163 a 186 donde se discute en torno de la analogía entre el movimiento de una boleadora y el movimiento planetario. En este tramo de la discusión se superponen algunas categorías:

- **ANA:** la lógica del discurso que se sostiene involucra a los participantes del debate en el modo de razonamiento que hace uso de la analogía. En éste se hace preciso la identificación de los elementos que se analogan y de aquellos que se recortan dejándolos al margen de la comparación análogo/analogado.
- **CON:** esta categoría se hace presente en la conexión establecida entre los elementos dos partes para comparar o analizar a los fines de establecer conclusiones o resultados. Por ejemplo en el caso de la analogía, se estudian las relaciones mano/soga - piedra/planeta; en otros casos se analizan relaciones causa-consecuencia; etc.

Algunas observaciones a modo de síntesis:

- Las palabras claves que se han identificado en esta primera clase, presentadas según frecuencia de aparición decreciente, son: fuerza, masa, peso, centro de gravedad, velocidad, "a distancia", interacción
- La evolución en el modo de referirse al carácter recíproco de la fuerza que actúa entre dos masas es aceptable para estudiantes que por primera vez se encuentran involucrados en términos de la interacción gravitatoria.
- La mayoría de las asociaciones que se han categorizado como covariaciones (COV) responden a un modelo "cuasi funcional" estableciendo alguna dependencia en términos matemáticos. Estas asociaciones han permitido el reconocimiento de algunas reglas de acción. Entre otras:
 - a) *"Si la fuerza del Sol no está, el planeta se sigue moviendo derechito"* (turno 107)
Por detrás de esta afirmación el estudiante está asumiendo que si no hay una fuerza presente la dirección de la velocidad no se modifica, como lo expresa en el turno 113: *"porque no hay nada que lo perturbe"*.
 - b) *"Si los cuerpos están más cerca, se ejerce mayor fuerza de gravedad"* (turno 33)
- Algunos teoremas-en-acto que emplean los estudiantes:
 - a) *"La gravedad funciona entre los cuerpos con masa"* (turno 24)
 - b) *"Hay otros mundos, pero no hay otro centro tan poderoso como el Sol"* (turno 81)
 - c) *"Una fuerza provoca cambio de velocidad y deformación"* (turno 139)
 - d) *"Aunque los cuerpos no estuvieran en contacto la fuerza igual estaría ahí"*. (turno 37)

Es importante destacar que aunque los comentarios se han presentado de manera segmentada el proceso seguido es altamente dinámico: la identificación de unos elementos, por ejemplo, el reconocimiento de los conceptos que para los estudiantes se presentan como relevantes conduce al encuentro de otros elementos de los esquemas que se estarían poniendo en juego como son las proposiciones que se estiman como verdaderas y consecuentemente las reglas de acción que estarían por detrás de ellas.

Otra cuestión de relevancia es el hecho de que para que el discurso pueda alcanzar la fluidez capaz de permitir las inferencias antes comentadas, las intervenciones del docente son decisivas a la hora de preguntar, replantear, contextualizar, sintetizar,

en resumen: estructurar la dinámica de la clase como se refleja a partir de las categorías vinculadas al análisis de la enunciación propiamente dicho.

6.2.5 La aplicación de las categorías a todas las clases

El análisis continua, de manera similar a como se ha ejemplificado para la clase número 1, con cada una de las clases observadas. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla que se adjunta en la página siguiente. En la misma, cada fila se identifica con cada uno de los episodios de clase analizados. La notación 1I, designa con el primer número al número de clase y con el segundo, al número de episodio dentro de ella. Cada columna se corresponde con una categoría.

En la intersección de una fila con una columna se registra una **X** para las categorías del análisis temático que se identifican en cada episodio analizado. Igual criterio se sigue para el estilo y los elementos atípicos. Para la disposición y dinámica se opta por destacar las diferentes modalidades que se presentan en cada episodio.

El análisis seguido para completar la tabla se propone, como ya se mencionara en otra oportunidad, dar respuesta a las siguientes dos cuestiones:

- ¿Qué procedimientos emplea el docente, (dice/hace) para poner en juego una cierta situación?
- ¿De qué manera tenemos información acerca de la forma en que los alumnos dan cuenta de lo que el profesor les ha propuesto?

En el primer caso, las respuestas se construyen a partir de los diferentes valores de la categoría SEC. No se toma en cuenta una categoría que específicamente se ocupe del contenido del discurso del docente ya que el propósito acerca de la incidencia del contenido está centrado en las voces de los alumnos.

En el segundo caso, las inferencias buscan la identificación de los elementos de los esquemas que se estarían poniendo en juego y por tanto, derivan de las categorías LOG, CLA y COV

Clase	Ejemplos	Análisis temático										Análisis de la enunciación propiamente dicho					
		REC	COM	ADI	SIMS	INDIM	INDIN	SEPN	CELA	COV	Disposición y dinámica			Estilo		E. atípicos	
											LOG	SEC	RUP	CON	REP	FAL	
1	I	X						X	X	X	ATRI-CLACUA-MUE-ADI-	DIS-COC-REC-		X	X	X	
	II								X	X	CON-ATRI-AGE-CLA-	DIS-NAR-COC-REC-RES-		X	X	X	
	II I								X	X	MUE-CON-	RES-COC-	X		X	X	
2	I								X	X	AGE-CUAMUE-CON-	RES-COC-RES-	X		X		
	II	X					X		X	X	LOC-AGE-CUAMUE-CLA-	COC-REC-COC-RES-	X		X	X	
3	I			X					X	X	ATRI-TIE-CUA-CLAGE-	DIS-REC-NAR-COC-	X	X	X		
	II	X							X	X	CUA-AGE-	DIS-COC-RES-NAR-	X		X		
	II I								X	X	CLA-ATRI-CUA-	DIS-COC-RES-REC-		X	X	X	
5	I	X							x	X	AGE-CUAMUE-CON-	DIS-COC-RES-	X	X	X	X	
6	I								X	X	CLA-CON-ATRI-CUA-	DIS-COC-RES-REC-	X	X		X	
7	I								x	X	CON-	DIS-COC-REC-RES-	X		X		
	II									X	CUA-	REC-COC-			X	X	
	II I			X							CLA-ATRI-	DIS-COC-REC-	X		X	X	
	I V	X	X	X			X		X	x	AGE-ATRI-CON-CUA-	DIS-COC-RES-DIS-RES-REC-RES-REC-NAR-REC-RES-	X	X	X	X	
8	I		X	X				X	X	X	ATRI-CLAMUE-CON-AGE-	RES-REC-NAR-RES-REC-DIS-RES-DIS-RES-	X		X		
9	I	X	X	X					X	X	ATRI-CLAMUE-AGE-CUA-CON-	DIS-RES-COC-RES-REC-RES-COC-	X	X	X	X	
	II				X				X	X	CON-LOC-CLA-MUE-TIE-ATRI-AGE-TIE-LOC-	DIS-COC-DIS-COC-NAR-DIS-REC-	X	X	X	X	
10	I			X					X	X	ATRI-CUA-AGE-	DIS-RES-REC-NAR-REC-DIS-RES-		X	X	X	
11	I								X	X	CON-CUA-	DIS-COC-REC-			X		
	II	X			X	X		X	X	X	ATRI-TIE-AGE-CUA-	DIS-RES-COC-RES-COC-	X	X	X	X	
	II I								X	X	ATRI-CON-	DIS-RES-COC-REC-			X		
12	I	X					X		X	X	CON-ATRI-CUA-AGE-	DIS-RES-REC-DIS-REC-RES-		X	X	X	

Tabla 10: las categorías de análisis en cada clase

6.2.6 El análisis temático y la evolución del contenido del discurso

La tabla que sigue especifica el contenido al que responden algunas de las cruces marcadas en la tabla anterior reuniendo las nociones que se estiman como más representativas y que se han identificado como los componentes de los esquemas puestos en juego por los alumnos a lo largo del desarrollo de la propuesta didáctica. Se presentan en una tabla indicando, cuando corresponde, el nombre particular de la categoría a la que representan.

E p.	Concepto s-en-acto (CLA)	Teoremas-en-acto	Reglas de acción (COV)
I	Fuerza, centro de la Tierra, masa, a distancia, interacción	<ul style="list-style-type: none"> • La gravedad funciona entre cuerpos con masa. • Para que la gravedad actúe los cuerpos pueden no estar en contacto. (SEP) • La fuerza de atracción es entre dos cuerpos con masa. (REC) 	<ul style="list-style-type: none"> • El que hace más fuerza tiene más masa. • Si están más lejos, se ejerce menos gravedad.
1 II	Fuerza, centro de gravedad, masa, volumen, distancia	<ul style="list-style-type: none"> • El Sol le está haciendo una fuerza de atracción a los planetas. • El centro de gravedad es el Sol. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los planetas giran porque la fuerza centrífuga es igual a la fuerza de atracción. • Si la velocidad varía tiene que haber una fuerza. • Si un auto cambia el rumbo es porque hay una fuerza actuando. • Si hubiera un planeta con más masa que el Sol los demás serían atraídos hacia él.
1 III	Fuerza.		<ul style="list-style-type: none"> • Si la fuerza que hace el Sol desaparece, entonces los planetas se seguirían moviendo "derechito".
2 I	Distancia, velocidad, masa, fuerza, tiempo proporcional.	<ul style="list-style-type: none"> • El Sol hace la fuerza de gravedad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Si las distancias son iguales y se emplea el mismo tiempo para recorrerlas, entonces son directamente proporcionales.
2 II	Vector fuerza, masa, distancia, velocidad	<ul style="list-style-type: none"> • La medida de la fuerza depende de las dos masas y de la distancia. (REC, ADI) • La fuerza de gravedad sirve para explicar porqué los planetas giran. (DIN) 	<ul style="list-style-type: none"> • Si la Tierra no le ejerciera una fuerza, la Luna se movería en línea recta y a velocidad constante.
3 I	Aceleración, fuerza, masa,	<ul style="list-style-type: none"> • La fuerza modifica la velocidad del cuerpo sobre el que actúa, cambiando el valor de la 	<ul style="list-style-type: none"> • Sería menor si caería y sería mayor si se fuera, entonces tiene que ser constante.

	velocidad	<p>velocidad a que se mueve o la dirección de ésta.</p> <ul style="list-style-type: none"> • La fuerza de gravedad se ejerce entre todos los cuerpos con masa.(ADI) 	
3 II	Fuerza, masa, velocidad	<ul style="list-style-type: none"> • La fuerza depende de las dos masas. (REC) • La fuerza depende de la distancia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Si un cuerpo está lejos de la Tierra siente menos la fuerza de gravedad. • Cuanto más masa, más fuerza. • Cuanto más lejos, menos fuerza
3 III	Vector, fuerza, masa, distancia	<ul style="list-style-type: none"> • Dividir por un número grande da un resultado muy pequeño. • La fuerza actúa en una dirección. 	<ul style="list-style-type: none"> • Si no tengo masa, no tengo cuerpo. • La fuerza se anula cuando la masa es cero. • Si la distancia es muy grande, la fuerza es muy pequeña.
5 I	Fuerza, masa, velocidad, distancia, vector, interacción	<ul style="list-style-type: none"> • La atracción se da en los dos cuerpos de igual manera. (REC) 	<ul style="list-style-type: none"> • Si no hay fuerza actuando, un cuerpo que ya empezó a moverse sigue moviéndose sin que nada lo frene en línea recta.
6 I	Fuerza de gravedad, velocidad tangencial	<ul style="list-style-type: none"> • La velocidad tangencial de la Luna contrarresta la fuerza de gravedad de la Tierra. • Siempre que se establecen comparaciones estas comparaciones son entre magnitudes de la misma clase. • La Luna tiene una cierta velocidad que le permite dar vueltas alrededor de la Tierra y en la misma órbita. 	<ul style="list-style-type: none"> • Como la velocidad tangencial de la Luna es la suficiente, los cuerpos (Tierra/Luna) no chocan. • Si la distancia entre dos centros aumenta al doble la fuerza disminuye. • Si la distancia entre los centros aumenta al doble la distancia no disminuye a la mitad.
7 I	Fuerza de gravedad	<ul style="list-style-type: none"> • Una teoría se tiene que adaptar a los hechos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Si hay diferencias en la trayectoria de Urano, es que otra atracción se hace presente.
7 II	Fuerza, distancia, proporcionalidad, masa, potencia-ción.	<ul style="list-style-type: none"> • La potencia de un cociente es el cociente entre la potencia del dividendo y la potencia del divisor. 	<ul style="list-style-type: none"> • Si la distancia aumenta al doble la fuerza disminuye cuatro veces. • Si la distancia disminuye a la mitad del valor original, entonces la fuerza aumenta al doble.
7 III	Fuerza, masa	<ul style="list-style-type: none"> • Sobre cada cuerpo actúan infinitas fuerzas. (ADI) • Sobre cada cuerpo actúan tantas fuerzas como masas tengas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sobre mí actúa la fuerza de la tierra, la fuerza del escritorio, la de cada compañero, por lo tanto la fuerza total es la suma de todas estas.
7 IV	Masa, fuerza, vector, fuerza normal.	<ul style="list-style-type: none"> • La fuerza es una cuestión de pares, lo que no significa que no pueda calcularse para más de dos cuerpos. (ADI) 	<ul style="list-style-type: none"> • Si tenemos tres masas, sobre la masa tres actúa la fuerza que le hace la masa dos y también la fuerza que le hace la masa uno. La fuerza que le hace la masa uno es

		<ul style="list-style-type: none"> • Un libro cae hacia la Tierra y no la Tierra hacia el libro porque la masa de la Tierra es mucho más grande. (DIM) • La fuerza que la Luna hace a la Tierra es igual a la que la Tierra hace a la Luna. (REC) • Que haya interacción magnética no significa que la gravitatoria no exista, sólo que será despreciable. (COM) • La cantidad de materia no cambia nunca. (Invariabilidad de la masa) 	<p>debida a la interacción entre uno y tres y la que hace la masa dos entre dos y tres.</p> <ul style="list-style-type: none"> • La fuerza que la Tierra le hace a la Luna se dibuja sobre la Luna y apunta hacia la Tierra. Luego, la que la Luna le hace a la Tierra se dibuja sobre la Tierra, con el mismo módulo pero con sentido contrario. • Si la Tierra tira hacia abajo un libro, el libro, tira de la Tierra hacia arriba. • Si las fuerzas se aplican en cuerpos diferentes (Tierra y Luna) no se pueden sumar ni restar, por tanto no se anulan. Son un par.
8 I	Masa, “a distancia”, carga, gravedad, fuerza, distancia, atracción, campo gravitatorio	<ul style="list-style-type: none"> • La interacción gravitatoria se ejerce entre cuerpos con masa. • La fuerza gravitatoria igual que la de las cargas, se ejerce más allá de que haya una distancia. Es a distancia. (SEP) • Un cuerpo tiene su propio campo. • Una masa colocada en un cierto punto del espacio experimenta el campo gravitatorio del Sol, de la Tierra, de todos los cuerpos con masa. (ADI) • Puede haber campos de distinto tipo actuando en un mismo objeto. (COM) • El campo que siente una masa depende de la masa que lo generó y de la distancia que te separe de ella. • El campo te permite explicar la fuerza de gravedad. 	<ul style="list-style-type: none"> • Un imán siente el campo gravitatorio y también atracción magnética cuando tiene otro imán al lado. • Si está más lejos del centro de la Tierra el campo de la Tierra es menor. • Cuando una masa en un punto del espacio, experimenta una fuerza, es porque esa masa está en el campo gravitatorio de la Tierra, por ejemplo.
9 I	Espacio, fuerza, masa, distancia, interacción, masa de prueba, campo	<ul style="list-style-type: none"> • Los campos interactúan. (REC) • Una masa experimenta el campo gravitatorio de todas las demás masas con las que interactúa. (ADI) • El campo es una propiedad del espacio. • Un mismo cuerpo puede 	<ul style="list-style-type: none"> • Si un cuerpo percibe una fuerza es que un campo está actuando sobre él. • Si ponés una masa en el campo gravitatorio de otra masa, experimenta una fuerza.

		estar en dos campos a la vez. (COM)	
9 II	Campo gravitatorio, otros tipos de campos, fuerza, propagación.	<ul style="list-style-type: none"> Hasta que la masa de prueba experimenta la fuerza en un campo gravitatorio, transcurre un cierto tiempo. (INS) La fuerza actúa en el campo. El campo es una propiedad del espacio. 	<ul style="list-style-type: none"> El aroma es un campo porque si decís que cada punto del espacio se modifica, el aroma es diferente según lo lejos o cerca que esté de ese aroma. Si no tiene masa, la temperatura no es un campo. Si se modifica cada punto del espacio, la temperatura es diferente en cada punto, entonces la temperatura es un campo. La altura de los estudiantes no modifica a cada punto del espacio, así que la altura de los estudiantes no es un campo.
1 0 I	Masa, distancia, gravedad, kg masa, constante de gravitación universal, campo.	<ul style="list-style-type: none"> El campo es igual a la aceleración de la gravedad. El campo total sobre un cuerpo resulta de sumar todos los campos que actúan sobre él. (ADI) 	<ul style="list-style-type: none"> Si la masa aumenta, aumenta la atracción del campo, siempre que la distancia sea la misma, entonces la relación es de proporcionalidad directa. Si quiero calcular el campo en otro planeta, tengo que cambiar la masa y poner la masa del otro planeta. El campo que actúa sobre la Tierra es el campo de la Luna, el del Sol, el de cada uno de los otros cuerpos del sistema.
1 1 I	Masa, campo, peso	<ul style="list-style-type: none"> El campo nunca se anula. 	<ul style="list-style-type: none"> Siempre que tengamos masa, tenemos campo, luego aunque la distancia sea muy grande un mínimo valor de campo vamos a tener. Un cuerpo muy alejado de la Tierra pesa menos que en ella, porque si la distancia aumenta el campo disminuye.
1 1 II	Peso, fuerza de atracción, masa, fuerza a distancia, campo, gravedad, interacción.	<ul style="list-style-type: none"> El peso es una fuerza que actúa a distancia. (SEP) Cuando la fuerza es a distancia la fuerza está en cada cuerpo. Cuando hablamos de campo, la fuerza está en el campo. Si la Tierra interactúa con otro cuerpo, la fuerza de atracción la ejercen los dos cuerpos. (REC) En la acción a distancia la fuerza la ejercen los dos cuerpos a la vez. (SIM) Cuando hablamos de 	<ul style="list-style-type: none"> Si colocás un cuerpo la fuerza tarda en llegar porque viaja en el campo, es poco tiempo pero tarda. El peso de la Tierra en el campo gravitatorio de una manzana es igual al peso de la manzana en el campo gravitatorio de la Tierra porque ambos son la misma fuerza de atracción. Si no hay masa, no hay cuerpo y si no hay cuerpo ni masa, entonces no habría campo. Que el campo terrestre no se anule significa que siempre está presente, aunque si sumo varios campos entre sí puedo llegar a tener campo total

		<p>campo, la fuerza tarda en llegar. (INS)</p> <ul style="list-style-type: none"> • El campo tiene el valor de g en cercanías de la Tierra. • El peso es la atracción gravitatoria de la Tierra sobre un objeto. (DIN) 	<p>cero.</p>
1 1 III	Fuerza, campo, distancia, vector	<ul style="list-style-type: none"> • El campo es un vector. • La representación gráfica del campo es por medio de vectores. • Las líneas de campo son infinitas. • A una misma distancia de la masa, la intensidad del campo es la misma. 	<ul style="list-style-type: none"> • Si se divide un vector por un número, el resultado es otro vector. Entonces el campo es un vector. • Si las líneas de campo están más juntas el campo es más intenso. Si las líneas están separadas el campo es más débil. • Si me paro rodeando la carga, en diferentes puntos que están a la misma distancia de la carga el campo es el mismo.
1 2 I	Masas, interacción, radio del planeta, campo, acción a distancia, gravedad.	<ul style="list-style-type: none"> • Si una masa percibe una fuerza hay un campo actuando sobre ella. • La fuerza de gravedad provoca cambios en la velocidad de los objetos sobre los que actúa. (DIN) • La aceleración en caída libre es igual a la intensidad del campo gravitatorio de un cuerpo en la Tierra. • La relación entre el peso de una manzana en el campo de la Tierra y el peso de la Tierra en el campo de la manzana es la misma. (REC) 	<ul style="list-style-type: none"> • Si un objeto percibe una fuerza, cambia su velocidad ya sea que cae verticalmente o gira alrededor de otra masa con velocidad tangencial. • Para calcular el peso de una manzana en el campo de la Tierra uso la misma fórmula que si quiero calcular el peso de la Tierra en el campo de la manzana.

En esta tabla se han presentado los conceptos-en-acto, teoremas-en-acto y reglas de acción que se estiman más representativos del discurso de las clases observadas. Entre los teoremas-en-acto identificados, interesan especialmente los que pudieran responder a las categorías preestablecidas en el análisis temático. Con esta intención se analizan las diferentes expresiones que responden a una misma categoría, recorriendo desde el primer episodio al último y repitiendo este procedimiento para cada una de las categorías del análisis temático. Luego de esto, se comentan consideraciones con relación a los conceptos-en-acto y a las reglas de acción.

Los teoremas en acto

- Acerca del carácter recíproco (REC)

En las primeras clases (episodios 1I, 2II y 3II) la identificación de la categoría se realiza en función de que los enunciados reconocen la presencia de dos elementos en la interacción.

La asignación de esta categoría de manera más aproximada a la esperada en términos de la ciencia está en el episodio 5I donde no solamente se habla de dos masas sino que se manifiesta una función que la vincula (las masas se atraen) y más aún, se asigna una ponderación a esta función (es la misma para las dos masas involucradas).

Ya en el episodio 7IV, esta asignación se ejemplifica en términos de la relación entre la Tierra y su satélite la Luna, ejemplo éste que se reitera en cuanto a su contenido en el episodio 12I donde se comparan los pesos de dos objetos ubicados en sendos campos. En estos dos casos, la asignación está particularizada en términos de intensidades de las fuerzas actuantes.

El episodio 9I da cuenta de una extensión de este carácter a la noción de campo. En el caso 11II nuevamente la fuerza aparece evidenciando un carácter relacional, a consecuencia de estar localizada en los dos elementos que participan de la interacción.

La presencia evolucionista que el carácter recíproco muestra en este análisis es especialmente interesante porque coloca la mirada en la mayoría de las críticas que la investigación educativa ha venido destacando como impedimento para la construcción de la noción de fuerza (Greca y Moreira, 2001). Mayoritariamente, estos artículos dan cuenta de que la dificultad en el empleo de la noción de fuerza en los términos que la ciencia tiene consensuados está en la asignación de una causalidad lineal desde un cuerpo hacia otro, (escudada en algunos casos en función de variables como la masa o el volumen), a diferencia de un tratamiento relacional. (Valladares y Garzón, 1996; Pozo y Gómez Crespo, 1998)

- Acerca del carácter composicional (COM)

En el episodio 7 IV se pone de manifiesto que los estudiantes son capaces de reconocer que es posible la presencia de dos formas de interacción diferentes (aludiendo a las fuentes que las generan).

La próxima presencia de esta categoría se encuentra en el episodio 8I con un carácter más general que en el episodio anterior, ya que la enunciación se realiza en términos del modelo de campo.

Una nueva consideración tiene que ver con la aparición en el episodio 9I: en este caso, si bien podría estimarse comparable al anterior, se entiende que hay una alternativa más interesante si se toma en cuenta que en este caso el foco se coloca en el objeto y no en el campo como si fuera el envolvente del objeto. Luego, los enunciados 8I y 9I se presentan como simétricos.

- Acerca del carácter aditivo (ADI)

De manera análoga a como se ha comentado la categoría REC la presencia del carácter aditivo presenta unos cuantos estadios diferentes. La primera

identificación es en la clase 3, episodio I, donde los estudiantes admiten que la fuerza de gravedad se ejerce entre todos los cuerpos con masa. Esta aseveración admite el reconocimiento de la adición de una manera laxa, ya que no necesariamente este enunciado conduce a suponer que la participación de todos los cuerpos es vinculándolos mediante la adición. Sin embargo, otras manifestaciones que se comentan más adelante lo avalan.

Merece destacarse, en este enunciado, que el hablante alude a la gravedad como un fenómeno que vincula a los cuerpos con masa. Se trata de una apreciación que ha conseguido descontextualizarse de los elementos concretos para los cuales venía siendo aplicada. Es decir, mientras hasta aquí se hablaba de la interacción entre la Tierra y la Luna, la Tierra y otros planetas, etc. esta proposición se "desprende" de los objetos concretos para referirse a cualquier elemento del que se conozca que tiene masa.

Ya en el episodio 7III se encuentra una apreciación que justifica la asignación de ADI al episodio 3I. En este caso se enuncia que sobre un cuerpo actúan infinitas fuerzas, esto parecería sugerir que el cuantificador *todos* del episodio anterior se asocia a cada cuerpo con masa en relación con el resto de *todos* los otros cuerpos con masa que se encuentren. Parte de esta apreciación se evidencia en el episodio 7 IV, donde se deja explícito que más allá del carácter recíproco (es una cuestión de pares), la intensidad compete a la presencia de todos los cuerpos participantes.

En el episodio 9I se hace evidente el carácter aditivo pero ahora aplicado a la noción de campo. Es importante notar que en esta oportunidad, nuevamente queda patente la identificación de la masa como la fuente generadora de la interacción gravitatoria. Por último en el episodio 10I la expresión del carácter aditivo refleja la formalización matemática del mismo aludiendo a la operación necesaria para obtener el campo resultante sobre una dada masa.

- Acerca de los caracteres de simultaneidad e instantaneidad

Ambos se identifican en el lenguaje oral por única vez cuando el docente incorpora específicamente (en la clase 11) cuestiones vinculadas a la participación del tiempo en los modelos que se estudian para describir a la interacción gravitatoria.

- Acerca de los principios DIN, SEP y DIM

Tal como se ha mencionado en la presentación de estas categorías en el capítulo 5 los principios de *independencia del estado dinámico*, de *independencia de la separación entre las masas* y de *independencia de las dimensiones* de los objetos intervinientes se toman en cuenta para fortalecer las condiciones de validez del modelo de interacción gravitatoria.

Se identifica a DIN en los episodios 2II, 3I y 11II donde se manifiesta que la fuerza de gravedad se aplica a cuerpos que se mueven y a objetos afectados por la atracción de la Tierra donde esos objetos no necesariamente están en movimiento.

El reconocimiento de SEP está asociado en los tres casos que aparece la cuestión de la acción a distancia. Sin embargo, la expresión del episodio 1I deja en claro que no se excluye el contacto, por el contrario la manifestación parece dar cuenta de una ampliación del alcance de la fuerza gravedad.

Por último, la única identificación de DIM está asociada al efecto que podría provocar una fuerza según el tamaño del objeto de que se trate.

Implícitamente, estos principios se incluyen en la manifestación explícita que los estudiantes hacen acerca de condiciones para estar afectados por la fuerza gravitatoria como es tener *masa*. (Episodio 3I)

Los conceptos-en-acto y las reglas de acción

Las palabras clave (conceptos-en-acto) más representativas del discurso sostenido en cada episodio mantienen una cierta estabilidad a lo largo de los diferentes episodios. Avanzado el desarrollo de la propuesta didáctica se incorporan nuevos conceptos como es el caso de *campo* sin que esto provoque que otros, como *masa* y *fuerza* sigan apareciendo con notable frecuencia.⁶⁴

Algunas de las reglas de acción que se han podido reconocer en el discurso sostenido durante las clases se han agrupado en la categoría COV. Se trata de las expresiones que los estudiantes emplean para tomar decisiones acerca de:

- a) aproximaciones a cómo resolver una cuestión. Por ejemplo: *“si un cuerpo está lejos de la Tierra siente menos la gravedad”*
- b) qué expresión matemática usar. Por ejemplo: *“Para calcular el peso de una manzana en el campo de la Tierra uso la misma fórmula que si quiero calcular el peso de la Tierra en el campo de la manzana”*.
- c) cómo argumentar una afirmación. Por ejemplo con relación a cómo será el módulo de la velocidad de la Luna para orbitar alrededor de la Tierra un estudiante afirma: *“sería menor si caería y sería mayor si se fuera, entonces tiene que ser constante”*. Es de notar que de un modo sintético, este alumno está tratando de comentar el siguiente recorrido:

Si la velocidad de la Luna fuera disminuyendo, entonces, se caería sobre la Tierra. Por el contrario, si aumentara entonces se escaparía de la órbita. Por tanto, como ninguna de las afirmaciones anteriores se ha cumplido, tiene que moverse con un módulo constante.

Una mirada que recorra desde las primeras clases hasta las últimas pone de manifiesto la evolución en el discurso empleado por los estudiantes y con ello, el contenido de ese discurso. Por ejemplo, en el episodio 1I la expresión *“el que hace más fuerza tiene más masa”*, es claramente representativa de la concepción asimétrica de la fuerza, asociada al objeto más masivo. Esta misma noción parece ser la que se infiere de la expresión *“si la fuerza que hace el Sol desaparece, entonces...”* donde claramente el Sol es el agente responsable.

En la clase 7, en alusión a la misma noción de fuerza, el discurso es radicalmente diferente: *“La fuerza que la Tierra le hace a la Luna se dibuja sobre la Luna y apunta hacia la Tierra. Luego, la que la Luna le hace a la Tierra se dibuja sobre la Tierra, con el mismo módulo pero con sentido contrario”*. En este caso, no solamente se establece el par responsable de la fuerza (Tierra y Luna) sino que además se aclara que el módulo de esa fuerza es único para los dos cuerpos participantes de la interacción.

⁶⁴ Más comentarios con relación a las palabras clave que emplean los estudiantes se comentan cuando se analizan producciones escritas.

Por último, en el episodio 11II, se enuncia: “*El peso de la Tierra en el campo gravitatorio de una manzana es igual al peso de la manzana en el campo gravitatorio de la Tierra porque ambos son la misma fuerza de atracción*”. Se entiende que es una proposición importante en la construcción de los significados que se buscan elaborar. La expresión permite suponer que la fuerza se admite como una cuestión de pares, que esa fuerza se hace explícita cuando alguna masa se ubica en el campo gravitatorio de otra y que según sea el campo gravitatorio desde el cual se haga el análisis, la fuerza que experimenta cada masa de prueba, es del mismo módulo. Algo similar se expresa en el último episodio de las clases observadas (12I):

“*Para calcular el peso de una manzana en el campo de la Tierra uso la misma fórmula que si quiero calcular el peso de la Tierra en el campo de la manzana*”.

6.2.7 El análisis de la enunciación propiamente dicho

I De la disposición y dinámica del discurso

Como se ha dicho antes, las categorías que atienden a la enunciación propiamente dicha reúnen a aquellos elementos que colaboran en la construcción del discurso en tanto estructuradores de la forma en que éste se enuncia. Dentro de la disposición y dinámica del discurso, la modalidad LOG es la asociada a las formas de actividad que el hablante explicita para otorgarle significado a un cierto evento. Luego, cada teorema en acto de los que se han reconocido antes, podría tener asociada una categoría vinculada con el contenido (como las que ya se han comentado) y otra con la actividad, especificada con alguno de los valores de LOG. Esos valores, son de importancia porque aportan información acerca de la forma en que las prácticas de los estudiantes podrían evolucionar a medida que se enfrenta a nuevas situaciones, como se ha hecho antes. Con esa intención se ejemplifican algunas modalidades de LOG en diferentes momentos del desarrollo de la propuesta didáctica.⁶⁵

La modalidad **agencia** que se ha definido como la instancia según la cual se identifica a un agente capaz de ejercer cierta acción sobre otros se identifica de la siguiente forma:

- El Sol le está haciendo una fuerza de atracción a los planetas.(1 II)
- La fuerza entre la Luna y la Tierra está en los dos: en la Luna y en la Tierra. (7 IV)
- Ahora, la fuerza actúa en el campo (9 II)

En estos ejemplos es importante notar que en tanto se avanza en el desarrollo de los temas (los ejemplos recorren desde la clase 1 a la 9), las enunciaciones de los estudiantes son cada vez más descontextualizadas del referente concreto, pasando de la explicación de un único agente, al reconocimiento de los dos que participan de la interacción, hasta la identificación de un agente no material capaz de ejercer la fuerza. Esta última apreciación daría evidencias de la posibilidad de operar (en el sentido amplio, de establecer relaciones) con

⁶⁵ Otros comentarios en relación con estas categorías se realizan en el momento del análisis de los registros escritos.

constructos que son parte de los modelos que explican la interacción gravitatoria. También muestra cómo no es posible ver la evolución de la asignación de la categoría Agencia sin el contenido específico.

Otra de las modalidades es **atribución**: los estudiantes asignan a un cierto evento o fenómeno ciertas capacidades y/o propiedades.

Algunos ejemplos en que los estudiantes atribuyen cualidades o funciones son los siguientes:

- La gravedad es una fuerza de atracción (1 I)
- Una fuerza puede cambiar la dirección de la velocidad de un cuerpo. (3 I)
- Cada cuerpo, por tener masa, tiene su propio campo. (8 I)

Una mirada al interior de las filas (en cada episodio) da cuenta que es altamente probable que cuando se identifica la atribución también se reconoce un agente. Es decir, el atributo de que la gravedad es una fuerza atractiva puede estar acompañado del comentario acerca de quién es el responsable de estar ejerciendo esta fuerza.

Las modalidades **clasificación y muestra/tipo** aparecen vinculadas a los distintos tipos de fuerzas (gravitatoria, electromagnética, nuclear) ó a los distintos modelos capaces de explicar la interacción gravitatoria como puede advertirse en el análisis de los registros escritos que se presentan en el apartado 6.3. Se trata de categorías que, de detectarse, darían algún indicio acerca de posibles graduaciones o diferenciaciones que se comentan oportunamente.

En el caso de **localización y tiempo** se trata de dos modalidades que colaboran a situar (en el espacio y en el tiempo respectivamente) algunos de los fenómenos que se estudian.

Un ejemplo de LOC:

- Si estoy a cierta distancia de una masa, a diferentes puntos alrededor de ella, tengo siempre el mismo campo, porque la masa es la misma y la distancia también. (9 II)

En esta expresión la estudiante da claras muestras (igual distancia respecto de una masa fija en un punto) de estar refiriéndose a superficies equipotenciales.

Un ejemplo de TIE

- Aunque casi no te das cuenta, porque viaja a la velocidad de la luz, la fuerza tarda en llegar. (11 II)

La expresión anterior ejemplifica la presencia de un tiempo diferente a cero en presencia de campos.

La modalidad **conexión o elaboración** se identifica en variadas ocasiones y con finalidades bien diferenciadas. Por ejemplo,

- Cualquier campo aunque no sea gravitatorio te modifica el espacio.(9 II).

En este caso el estudiante es capaz de identificar que el campo es una propiedad del espacio y que cada punto del espacio, donde hay un campo tiene asociada una cierta relación que tiene que ver con alguna propiedad de ese campo.

Otro ejemplo de conexión o elaboración, corresponde a la analogía que se infiere del siguiente segmento de discurso de la clase 1, episodio III.

188. D: Hubo un ejemplo que propusiste vos Tomás que hacía que un cuerpo girara y no era el de los planetas.
189. T: Una honda.
190. D: Ah, sí. ¿Lo entienden?
191. A: Sí. Una honda o una boleadora.
192. A: Una piedra.
193. D: ¿Qué es lo que hace que esa piedra o boleadora gire?
194. A: La fuerza.
195. D: ¿De qué fuerza me están hablando?
196. A: De la que vos hacés.
197. D: ¿Cuándo saldría disparada esa piedra?
198. A: Cuando la soltás.
199. D: ¿Quién hace la fuerza?
200. A: El material
201. D: ¿Qué material?
202. A: La cuerda.
203. D: Bien.
204. A: La boleadora en movimiento es un ejemplo parecido al sistema solar.
205. D: A ver de a uno.
206. A: Digamos, la boleadora es atraído por el hombre que la agarra. La mano es el Sol.
207. D: Y la fuerza?
208. A: La fuerza de gravedad que hace el sol
209. D: Y en el cuerpo?
210. A: La mano o la sogá.
211. D: Y la piedra ¿con quién se compara?
212. A: Con el planeta.
213. D: Están todos de acuerdo que ahí hay una fuerza que hace que este cuerpo gire y que si corto el vínculo. ¿Qué pasa con el cuerpo cuando corto el vínculo?
214. A: Sigue, como Galileo, nada lo perturba.
215. D: Bueno, seguimos el miércoles.

En este ejemplo la **elaboración** o **conexión** pasa por la analogía que se emplea para establecer comparaciones entre el movimiento planetario y el de una boleadora que se hace girar en un plano horizontal. Es importante notar como los mismos estudiantes identifican los elementos de un sistema (mano y boleadora) con el otro (sistema planetario) asignando en cada caso, funciones similares. También es de destacar que en ningún momento de este intercambio de apreciaciones haya cuestionamientos acerca de que en el caso de la boleadora la fuerza se ejerce en presencia de un vínculo que es la sogá, mientras que en el del Sol, tal vínculo no tiene su correlato.

Otra de las modalidades que se presenta con diferentes grados a lo largo del desarrollo de todas las clases es la **cuantificación**. En este caso, los estudiantes pasan de establecer aproximaciones cuantitativas a realizar análisis haciendo uso de las reglas de la proporcionalidad directa o inversa, luego de que se han introducido las expresiones matemáticas específicas. Por ejemplo:

- Cuando está más lejos de la Tierra, hay menos fuerza de gravedad. (3 II)
Luego de introducida la expresión matemática correspondiente:

- Si la Tierra tuviese el doble de masa, su campo sería el doble porque el campo es directamente proporcional a la masa. (12 l)

La otra metacategoría que conforma la Disposición y dinámica del discurso es la relativa a la secuencia (SEC) que sigue la clase, visto desde la óptica de las estrategias que de alguna manera, el docente activa para llevar adelante el desenvolvimiento del tema. Dado que el foco de este trabajo está puesto en los estudiantes y que además, ejemplificar los ritmos que siguen las clases implicaría la transcripción de extensos segmentos de ellas se procede a una descripción de carácter general.

Una mirada de las modalidades que adopta la secuencia al interior de cada episodio analizado, pone de manifiesto que el ritmo de la clase reitera siempre tres fases: una primera de introducción al desarrollo que se realizará en esa clase y que intenta plantear la discusión, la segunda de desarrollo propiamente dicho y la tercera de cierre.

Cada una de estas fases adquiere connotaciones particulares. En el caso de la primera, el comienzo de la discusión se instala, básicamente recurriendo a dos estrategias: una cuestión disparadora (DIS) por ejemplo ¿por qué los planetas se mueven?, ó bien una breve revisión del tema recuperando de las ideas que se han tratado en clases anteriores aquellos aspectos en los que interesa profundizar (RES). Es importante destacar que cuando se identifica a la categoría RES, el calificativo selectivo atiende por igual a lo que se explicita que a lo que se omite. Es decir, en algunos casos, el docente, omite deliberadamente aspectos en los que no le interesa poner el acento. Por ejemplo:

1. D: ¿Qué pasa si por ejemplo se tienen tres cuerpos? (Hay un esquema aclaratorio). Sobre eme uno ¿qué fuerzas van a actuar?.
2. A: La de la masa dos y la de la masa tres.
3. D: La fuerza que le hace la masa tres y la fuerza que le hace la masa dos. Son fuerzas gravitatorias. ¿Hacia dónde van a estar dirigidas?. Entre eme uno y eme tres, ¿qué fuerza hay entre ellas?
4. A: Gravitatoria y hacia eme tres.
5. A: La hace eme tres sobre eme uno.
6. D: Apunta a eme tres. La dibujo en eme uno y va hacia eme tres. ¿Hay otra fuerza actuando sobre eme uno?.
7. A: Si la de eme dos.
8. D: Hacia dónde está dirigida la de eme dos.
9. A: hacia eme dos.
10. D: Bien, hacia eme dos. Después veremos si es más grande, más chica, o cómo es. La idea es que por más que tenga tres cuerpos siempre necesito de pares para poder calcular una fuerza. Después calcularemos una total que, como dijo Nacho o Luisina va a ser la resultante de las fuerzas que actúan sobre la masa.
11. A: Que la calculas con los vectores.
12. D: es una forma. Puede ser sí.

De la clase 7, episodio 4

En este segmento del discurso sostenido entre el docente y los estudiantes, el docente resume, hasta ese momento, lo discutido en el turno 10 dejando en evidencia que lo notable es el hecho de que la fuerza es una cuestión entre

pares de masas (aún cuando se tengan tres masas) y omitiendo cómo es que se obtiene la fuerza resultante cuando hay más de dos masas interactuando.

La etapa de trabajo sobre el tema ya instalado, adopta diferentes formatos:

- a) trabajo conjunto entre los diferentes actores de la clase (COC) donde el intercambio de ideas es notable en el sentido de que la transcripción del discurso permite advertir turnos de habla relativamente breves ya que tienen asociados pocos renglones a la intervención de cada hablante. Un ejemplo de la construcción conjunta se advierte en la página anterior, donde alumnos y docente concluyen acerca de cuáles fuerzas estarían actuando sobre una cierta masa a consecuencia de la presencia de otras dos.
- b) instancias de desarrollo a cargo del profesor manteniendo la discusión (NAR)
- c) instancias de desarrollo a cargo del profesor reposicionando el debate desde otra mirada de manera que cambia el contexto de análisis de un cierto fenómeno (REC)

Ejemplos de NAR y REC se advierten en los siguientes turnos de habla del episodio 1 correspondiente a la clase 8.

1. D: Hay otro tipo de fuerzas que también pueden establecer relaciones sin estar en contacto, ¿cuáles son?
2. A: Los átomos.
3. D: ¿Cómo es eso de los átomos?
4. A: Los electrones
5. D: Con qué cosa se relacionan.
6. A: Con el núcleo.
7. A: Con los protones del núcleo.
8. D: Y porqué se atraen, por la masa?
9. A: No son cuerpos con carga.
10. D: Tampoco están en contacto y se ejerce fuerza entre ellos. En las cargas, en los imanes y en las masas en los tres tipos se ejercen fuerzas aunque no estén en contacto entre sí. Esto era lo que se quería explicar. A algunos se les ocurrió la idea de que salía masa desde un cuerpo y llegaba hasta el otro para interactuar sobre el otro. Otros decían que la fuerza era a distancia y no había nada entre medio. Otros inventaron un medio. Bueno, había un medio para que un medio interactuara con el otro. Algo tenía que estar ahí pasando para que un cuerpo ejerciera fuerza sobre el otro. Newton propuso que la fuerza se ejercía a distancia. Otros propusieron que si uno percibía una fuerza era porque alguien la estaba ejerciendo sin importar quién la estaba ejerciendo. Si en algún lugar del espacio yo coloco una masa y esa masa experimenta una fuerza es porque hay alguien que me está ejerciendo una fuerza, más allá de que no conozco quien es el que la ejerce. Si uno pone una masa por ejemplo por acá y la dejo...
11. A: Se cae.
12. A: Siente una fuerza.

La recontextualización se da en el hecho de que se admite que las cargas se comportan de manera similar a las masas, ejerciéndose fuerzas a distancia. La narrativa aparece en el turno 10 donde el docente instala el debate acerca de cómo es que esa fuerza está actuando a distancia.

La última fase, de cierre, toma, en la mayoría de las clases observadas, el formato de un resumen selectivo (RES) o de una recontextualización (REC) de lo discutido en instancias previas.

Es importante dejar en claro que aún cuando se destacan varias categorías en un mismo episodio (véase el caso de la clase 7, episodio IV) el ritmo es este: iniciar la discusión, construir conjuntamente ideas y resumir o cerrar estas ideas.

II Del estilo del discurso

Las dos modalidades que responden al estilo del discurso son: las rupturas en la secuencia del diálogo (RUP) y las continuidades (CON). Se trata de la identificación de palabras o frases que darían lugar a interrupciones en la discusión o, por el contrario, se convierten en el nexos necesario para que el discurso pueda continuar. Si bien están asociadas al contenido específico, no se corresponden con un elemento de los esquemas ya que están más ligados a la estructura en que se viene manteniendo la conversación. Como se advierte de la lectura de la tabla presentada en **6.2. 6** no siempre que se reconoce una ruptura se encuentra una continuidad y viceversa. Esto podría explicarse por el hecho de no siempre es explícito para todos los participantes de la conversación que se encuentran frente a uno de estos casos.

Un ejemplo donde las dos categorías se presentan conjuntamente es el siguiente:

Se comienza con la discusión de las respuestas a las cuestiones que propone el práctico. En particular se transcribe la discusión de la pregunta número uno que trata sobre cómo es que la Luna se mueve alrededor de la Tierra.

1. D: A ver Gabriela.
2. A: Puse, la fuerza de Newton porque la velocidad tangencial es suficiente para asegurar el movimiento casi circular alrededor de la Tierra y....(se pierde el audio)
3. D: Otra respuesta?.
4. A: Porque la velocidad tangencial de la Luna contrarresta la fuerza gravitatoria provocando el movimiento.
5. D: ¿Qué dicen de esta respuesta?. La velocidad contrarresta la fuerza de gravedad dicen.
6. A: No, hay un ángulo de 90.
7. D: ¿Dónde hay un ángulo de 90?
8. A: La tangencial es perpendicular a la fuerza en cada punto, no la contrarresta.
9. D: Flavia dice que primero hay un ángulo de 90. Así que no se contrarrestan. Si se contrarrestan estarían a 180 grados. Y por otro lado hay otra cosa por la que está mal.
10. A: No son compatibles.
11. D: ¿Quiénes?.
12. A: Tengo que restar fuerzas.
13. D: Claro !!!, Yo puedo restar dos fuerzas pero no una fuerza y una velocidad, sí?. Debido a la fuerza de gravedad y a que existe una velocidad tangencial es que tengo que dar la respuesta. Podes leer de nuevo Gabriela?

De la clase 6, episodio 1

En el turno 4 un estudiante plantea una respuesta equivocada que el docente propone para que sea discutida con el resto de la clase. En el turno 6 otro alumno introduce la cuestión del ángulo recto entre la velocidad tangencial y la fuerza de gravedad provocando una ruptura en la argumentación sostenida en el turno 4. Más adelante, en los turnos 10 y 12 otro estudiante introduce la necesidad de que las dos magnitudes a restar deben ser de la misma clase otorgando la continuidad a la discusión acerca cómo se mueve la Luna alrededor de la Tierra.

El ejemplo deja en claro que se trata de instancias que colaboran en la identificación de la manera en que los estudiantes se estarían representando la interacción.

III De los elementos atípicos

Los elementos atípicos se han agrupado en dos categorías: las repeticiones (REP), y los fallos (FAL). De manera análoga a los comentarios realizados para las categorías del estilo de discurso, se trata, en este caso, de indicadores acerca de formas de expresión que colaboran en la comprensión del discurso sostenido.

Las repeticiones identificadas son básicamente las asociaciones presentadas en COV. Es decir, cuando se hace uso de una cierta relación entre variables la misma se reitera en varias ocasiones (cinco o más veces) durante el mismo episodio. En general estas asociaciones responden a un cierto nivel de cuantificación. Las expresiones que más repiten tienen la forma:

- Si no hay fuerza actuando el objeto se mueve a la misma velocidad.
- Si nos alejamos de la Tierra, cuanto mayor es la distancia, menor es la fuerza de gravedad.
- Si nos vamos a otro planeta la gravedad es diferente porque la masa del planeta es distinta y el radio también.

En cualquiera de los ejemplos presentados, se reconocen ciertas reglas de acción, de las que se han comentado antes, cuyo uso reiterado ante situaciones diferentes suele desembocar en los principios y caracteres que se propusieron como esperables de alcanzar al finalizar el desarrollo de la propuesta didáctica.

Los fallos se corresponden con el contenido propio del tema que se está tratando y colaboran para la interpretación del empleo de ciertas reglas de acción y teoremas-en-acto. Algunos ejemplos de fallos:

1. D: Esta fuerza que acabamos de calcular acá que es este dos con cero cinco y 18 ceros ($2.05 \cdot 10^{20}$) está aplicada en la Luna dirigida hacia la Tierra o en la Tierra dirigida hacia la Luna y porqué?
2. A: Está en los dos para mí.
3. D: ¿Por qué?
4. A: porque la atracción se da en los dos cuerpos y de igual forma.
5. D: ¿Están todos de acuerdo con eso?
6. A: No para mí es de la Luna hacia la Tierra porque la Tierra tiene mayor masa que la Luna.

7. D: Y dónde se ejerce entonces para vos?
8. A: En la Luna.
9. A: Para mí está mal.

De la clase 5, episodio I

En este ejemplo el fallo se identifica en el turno de habla 6 donde el estudiante admite como verdadero que si un cuerpo tiene mayor masa que otro, ejerce sobre este último una fuerza más intensa que aquella que ese cuerpo menos masivo ejercería sobre el de mayor masa.

1. D:Si yo me pongo mucho perfume Victoria estaría inundada del olor a perfume mío, pero Federico lo sentiría menos porque modifica el espacio alrededor del que lo genera que es mi perfume. En la temperatura pasa lo mismo. ¿Por qué nos ponemos cerca del radiador?
2. A: Pero para que el campo sea un cam-po tiene que haber masa porque sino **no** tenes fuerza.
3. D: Pero estás pensando en uno gravitatorio
4. A: Aaaah.
5. A: Ah esta fórmula es para gravitatorio !!!
6. D: Claro. Si quisiera hacerlo entre cargas tengo otra cosa en la fórmula, si quisiera hacerlo entre imanes otra.
7. A: Si no es gravitatorio te modifica igual.
8. D: Cualquier campo aunque no sea gravitatorio te modifica el espacio, cada punto del espacio. Si es gravitatorio lo hace a través de una masa ejerciendo fuerza sobre ella. ¿Y qué otros hay?
9. A: Magnético.
10. A: Y eléctrico.

De la clase 9, episodio II

En este segundo ejemplo la estudiante tiene como verdadero para sí (teorema-en-acto) que si habla de un campo, necesariamente se refiere a una masa (turno de habla 2). Sin embargo, cuando el docente acota en el turno 3, ella es capaz de provocar una cierta ruptura en su razonamiento admitiendo que la expresión matemática en la que ha reparado es solamente para campos gravitatorios.

Es importante destacar la labor del docente como generador de instancias de participación genuina. Las transcripciones permiten percibir que los estudiantes están muy habituados a expresarse en términos de aquello sobre lo que están pensando sin ningún tipo de condicionantes y seguros de que serán escuchados y recibirán una respuesta aún cuando se trate de explicaciones que no están de acuerdo con lo que se esperaba alcanzar.

6.3 El análisis de los registros escritos

La permanencia en el aula a lo largo del desarrollo completo de la propuesta didáctica presentada en el capítulo 5 ha permitido el registro de datos provenientes de otras fuentes de información además de los derivados del discurso oral. Así es que se cuenta con:

- *Notas de campo*: las mismas fueron confeccionadas por el observador durante cada una de las clases en que se desarrolló la propuesta. Estas notas incluyen básicamente comentarios en relación con manifestaciones paralingüísticas (entonaciones, acentos, pausas, etc.), cinésicas (movimientos corporales) y proxémicas (posiciones corporales) de los actores de la clase que podrían colaborar en la construcción de ciertos significados. Asimismo, se toma nota de cada una de las expresiones que docente y estudiantes realizan en el pizarrón.
- *Producciones escritas elaboradas por los estudiantes*: se trata de registros escritos en los que se evalúa la evolución de los significados en diferentes momentos del tratamiento de las interacciones gravitatorias. Se recogen dos evaluaciones. La primera de ellas fue solicitada en la clase número 7, incluyó sólo dos preguntas (similares a las que se discutían en las clases), no tuvo aviso previo por parte del docente y según la opinión del propio docente el propósito perseguido era el de indagar cómo se estaban construyendo ciertas ideas. La devolución incluyó ponderaciones del estilo bien, regular, mal (que el docente registró a los fines de conformar una nota conceptual a lo largo de todo el trimestre) y la resolución conjunta entre todos los miembros de la clase. La segunda evaluación estuvo avisada con diez días de anticipación, incorporó a todos los temas que forman parte del bloque temático y contó con un trabajo previo de revisión conjunta entre el docente y los estudiantes. La devolución incluyó la resolución en la pizarra y una nota numérica sobre 10 puntos que formaría parte del resto de las notas del trimestre con miras a la acreditación de los conocimientos. Una tercera producción escrita realizada por los estudiantes y recogida por el investigador la constituye la elaboración, durante una de las clases observadas (la número 11), de un mapa conceptual recuperando las principales ideas trabajadas y al que se ponderaría de la misma manera que a la primera evaluación.

El material recopilado tanto en las notas de campo como en las elaboraciones escritas se analiza siguiendo las mismas fases que se han descrito para los registros orales y procura aumentar la confiabilidad en los resultados obtenidos hasta ese momento⁶⁶.

⁶⁶ La noción de confiabilidad debe entenderse aquí como una manera de alcanzar cierta convergencia en los resultados del aspecto que se pretende estudiar a partir del empleo de técnicas de recolección de datos y consecuentemente, registros diferentes. La diferencia entre los registros orales y escritos va más allá del mero soporte que permite su recolección. Mientras que los registros orales se toman durante todas y cada una de las clases, los escritos son esporádicos (en tiempos bien diferenciados) e involucran a los estudiantes de modos bien diferenciados. Los registros orales responden a la participación voluntaria y sin carácter evaluativo, la participación escrita es necesaria (a pedido del profesor) y tiene el carácter de una evaluación con miras a la acreditación.

6.3.1 Los mapas elaborados por los estudiantes⁶⁷

La consigna para la elaboración de los mapas es parte de un grupo de actividades propuestas a modo de "cierre" al tratamiento del tema de las interacciones gravitacionales. La misma se presenta del siguiente modo:

Elabora un mapa de conceptos que te permita recuperar las ideas principales que vinculan a los contenidos trabajados en este bloque temático. Explícalo en no más de diez líneas.

A pesar de que los estudiantes involucrados están familiarizados con el uso de mapas conceptuales se recordó que se esperaban mapas que evidenciaran lo siguiente:

- 1) jerarquía conceptual: la misma podría lograrse de la manera que para ellos resultara más práctica. (espacial, por medio de recuadros diferentes, subrayados, etc.)
- 2) conceptos relacionados: podrían hacer uso de líneas acompañadas de ciertas palabras que sirvieran de nexo entre los conceptos que vinculaban, de manera que quien leyera el mapa pudiera construir una proposición acerca del significado de la relación establecida.
- 3) una explicación indicando la manera en que el autor del mapa ha concebido esa elaboración.

El análisis de los mapas se ha realizado de manera independiente por dos investigadores y por el docente que lleva adelante la propuesta.

Los mapas se elaboraron en clase, con el apoyo de los materiales escritos producidos, por los propios alumnos, durante el tratamiento del bloque de contenidos. De los 15 mapas que se analizan, 5 no cumplen con la condición de adjuntar un comentario acerca de cómo se han construido. El análisis, realizado a partir de las consideraciones teóricas que sustentan el empleo de los mapas, está basado en cuatro categorías: conceptos clave, jerarquización vertical, jerarquización horizontal y significados que se infieren. Si bien la última de las categorías mencionadas atiende específicamente a los significados, será la mirada conjunta de los resultados de las cuatro categorías la que posibilitará inferir el modo en que los estudiantes se estarían representando los significados construidos para este tema.

Las categorías empleadas para este análisis se pueden describir del siguiente modo:

⁶⁷ Stipcich, M. S., Moreira, M. A. y Caballero Sahelices, C. (2003) *La noción de interacción gravitatoria en mapas conceptuales elaborados por estudiantes de polimodal*. Presentación oral y aceptado para publicar en Memorias del IV Encuentro Internacional de Aprendizaje Significativo. Maragoggi. Alagoas.

Conceptos clave: Incluye a aquellos conceptos que los estudiantes han escogido para cumplir con la consigna propuesta, de manera análoga a la que se usara en el análisis de los registros escritos.

Entre los conceptos que se emplean para la elaboración de los mapas, los que aparecen con mayor frecuencia son: interacción gravitatoria, fuerza, masa, acción a distancia, campo, peso.

Jerarquización vertical: Identifica cuáles son los elementos que se ubican en el "tope" y cuáles los que aparecen en la "base" de los mapas. Esta categoría atiende a una primera aproximación respecto de la estructuración que los estudiantes han elegido para relacionar los conceptos, tomando en consideración los elementos que aparecen ubicados en los extremos superior e inferior de los mapas presentados⁶⁸. En principio, se reconocen dos subcategorías de la jerarquización vertical:

- Nivel superior: los mapas que se han recopilado pueden catalogarse según alguno de los tres conceptos siguientes: interacción gravitatoria (6 mapas), fuerza (5 mapas), gravedad o gravitación (4 mapas).
- Nivel inferior: la última línea (entendiendo por tal, al grupo de elementos que conforman la base de los mapas analizados) se compone de un número variable y diversificado de conceptos. Entre otros, pueden citarse: fórmulas matemáticas que describen alguno de los conceptos elegidos para elaborar el mapa como puede ser la expresión del campo gravitatorio ($C = F/m_p$ ⁶⁹), la fórmula de la fuerza entre dos masas ubicadas a una cierta distancia ($F = G \cdot m_1 \cdot m_2 / d^2$), expresiones que aluden a relaciones entre diferentes magnitudes que participan en las expresiones matemáticas para el cálculo de la fuerza, expresiones que generalizan el campo resultante sobre un objeto cualquiera en interacción con varias masas ($\sum C_i = C_t$ ⁷⁰); representaciones gráficas de la fuerza que actúa entre dos masas y/o del campo gravitatorio de una cierta masa, etc.

Jerarquización horizontal: Identifica cuáles son los elementos que se ubican en el mismo estadio horizontal.

El número de líneas que los estudiantes emplean para la construcción del mapa es variable. A los fines de constatar los significados construidos, la característica más notable es que todos los mapas analizados colocan en el mismo nivel jerárquico a las nociones de *acción a distancia* y *campo*, presentando evidencias de que se trata de dos modelos alternativos para explicar la interacción gravitatoria.

Significados que se infieren: Recopila los significados que se pueden inferir a partir de: las relaciones establecidas, las proposiciones que se pueden reconstruir a partir de las leyendas ubicadas sobre las líneas que conectan los conceptos, los comentarios que los estudiantes elaboran acompañando al mapa.

⁶⁸ Debe quedar claro, sin embargo, que el análisis de la jerarquización vertical involucra a cada uno de los estadios intermedios que figuren.

⁶⁹ m_p es la masa de prueba.

⁷⁰ C_i es cada uno de los campos que actúan sobre el campo total que experimenta una masa, C_t .

Haciendo uso del referencial teórico de Vergnaud los teoremas-en-acto que se han identificado son los siguientes:

El campo total es la sumatoria de todos los campos actuantes. Responde al carácter aditivo y ha sido ubicado, principalmente en la base de los mapas, como una caracterización del modelo de campo.

En el modelo de campo interactúan los campos.

En el modelo de acción a distancia interactúan las masas.

En el modelo de acción a distancia todo ocurre de manera instantánea.

En el modelo de campo el fenómeno tarda en percibirse.

La gravedad es universal. Aunque expresar la universalidad no garantiza que se asuma la validez con independencia de ciertas variables, podría entenderse como una síntesis de los principios de independencia de la separación, el tamaño y el estado dinámico de los cuerpos involucrados

Algunos ejemplos

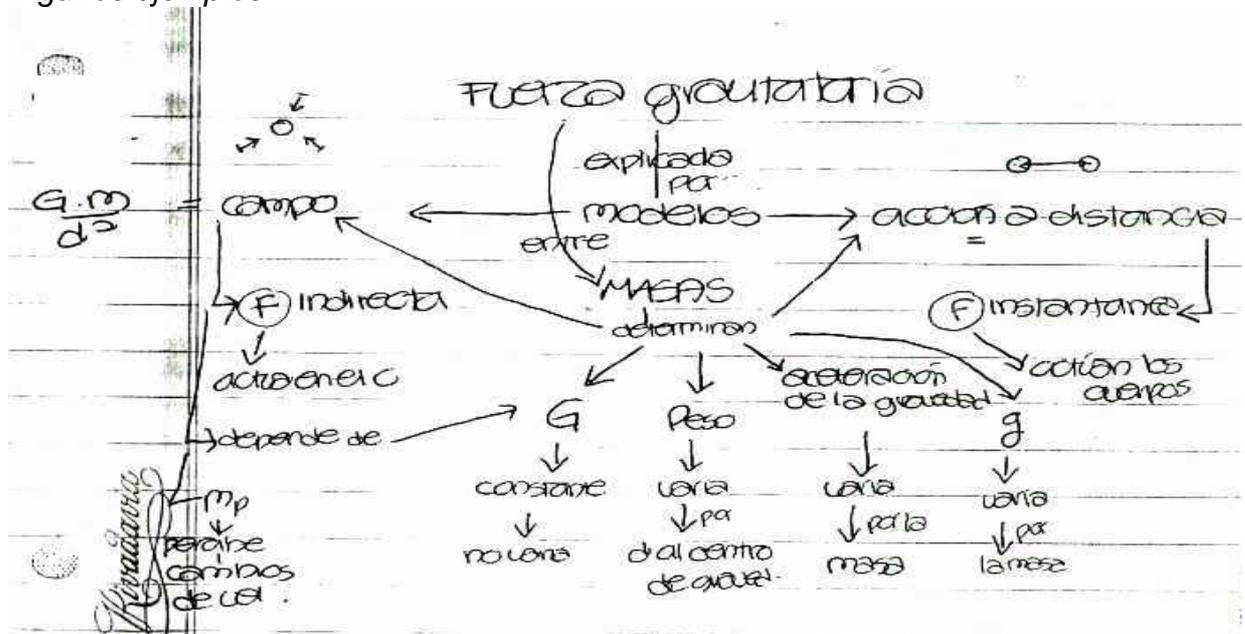


Figura 30: Mapa número 4

Lo acompaña el siguiente comentario:

La fuerza de gravedad se da entre todos los cuerpos con masa y la explicamos mediante modelos, uno es el de acción a distancia en el cual las fuerzas se dan instantáneamente y entre los cuerpos que actúan. Otro es el de campo, las fuerzas se dan indirectamente y no actúan en los cuerpos sino en su campo, este es una propiedad del espacio que depende de la masa que provoca el campo. En el primer modelo la fuerza la determinan las masas que actúan.

La masa determina el peso de estas, el cual varía con la distancia al centro de la Tierra, la aceleración de la gravedad la cual depende de la masa. G es una constante universal que no varía.

Este mapa es un ejemplo de cómo con cuatro conceptos clave (conceptos-en-acto) el estudiante presenta una idea de la manera en que concibe a la fuerza gravitatoria. Los conceptos que se identifican como claves son: fuerza gravitatoria, campo, acción a distancia y masa. Es precisamente la noción de masa la que se presenta como el "nudo" de todo el mapa, el concepto a partir

del cual se derivan todas las relaciones que se establecen. Los modelos pueden estimarse como "alternativas equivalentes" dada la paridad jerárquica con que se presentan. La particularización de cada uno incluye representaciones en lenguaje gráfico y matemático para el caso del campo. Nótese que la representación gráfica es una "aproximación" a las líneas de campo y a la fuerza aplicada en cada masa. Se hubiera esperado que la representación gráfica se ubicara en la misma línea que caracteriza las variables que participan de cada modelo. Una observación interesante es que para este alumno, la fuerza ocupa en los dos modelos "el mismo lugar jerárquico" sólo que según sea el caso se la presenta como mediada por el campo o actuando de manera directa e instantánea.

El texto que acompaña el mapa permitiría admitir la universalidad de la fuerza (emplea el cuantificador *todos*) para aquellos cuerpos con masa (reconoce a la *masa* como la condición o fuente para la presencia de la fuerza). Además, coloca a la fuerza como una derivación de la presencia de masas (en el modelo de acción a distancia) o como agentes que actúan en el campo de las masas, según el otro modelo propuesto. Los comentarios que relacionan a la masa con el peso son confusos.

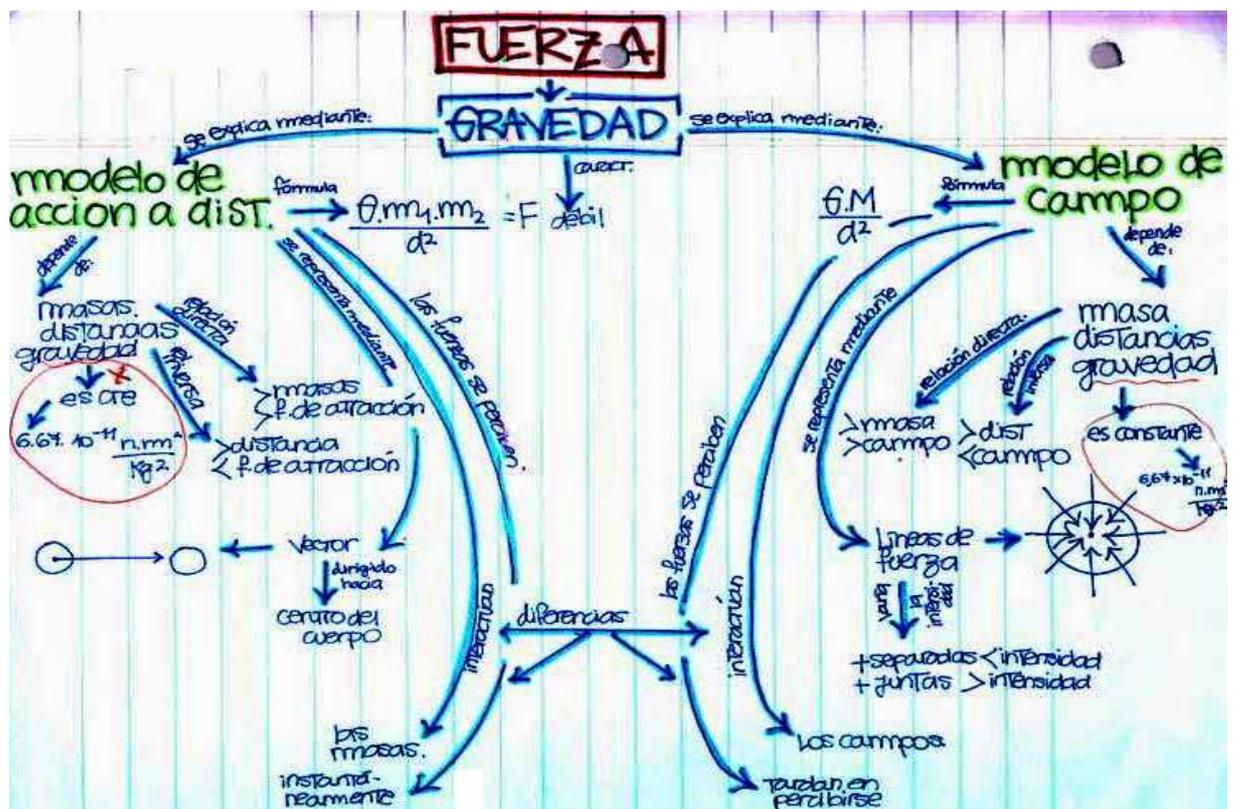


Figura 31: Mapa número 1 sin comentarios explicativos.

Para este ejemplo se identifican como conceptos claves: fuerza, gravedad, modelo de campo, modelo de acción a distancia. Nótese que la masa, la distancia y la gravedad se ubican en un nivel jerárquico inferior y formando parte de las variables que participan en cada modelo explicativo de la fuerza. Se ha señalado en rojo el error que consiste en identificar el valor de la aceleración de la gravedad con el de la constante de gravitación universal G.

Entre las especificaciones para cada modelo hay que notar la representación gráfica de los modelos (la fuerza y las líneas de fuerza) y las expresiones matemáticas. Destaca claramente la participación de la variable tiempo, de los "agentes" que estarían participando de la interacción en cada modelo y las dependencias matemáticas entre las variables intervinientes.

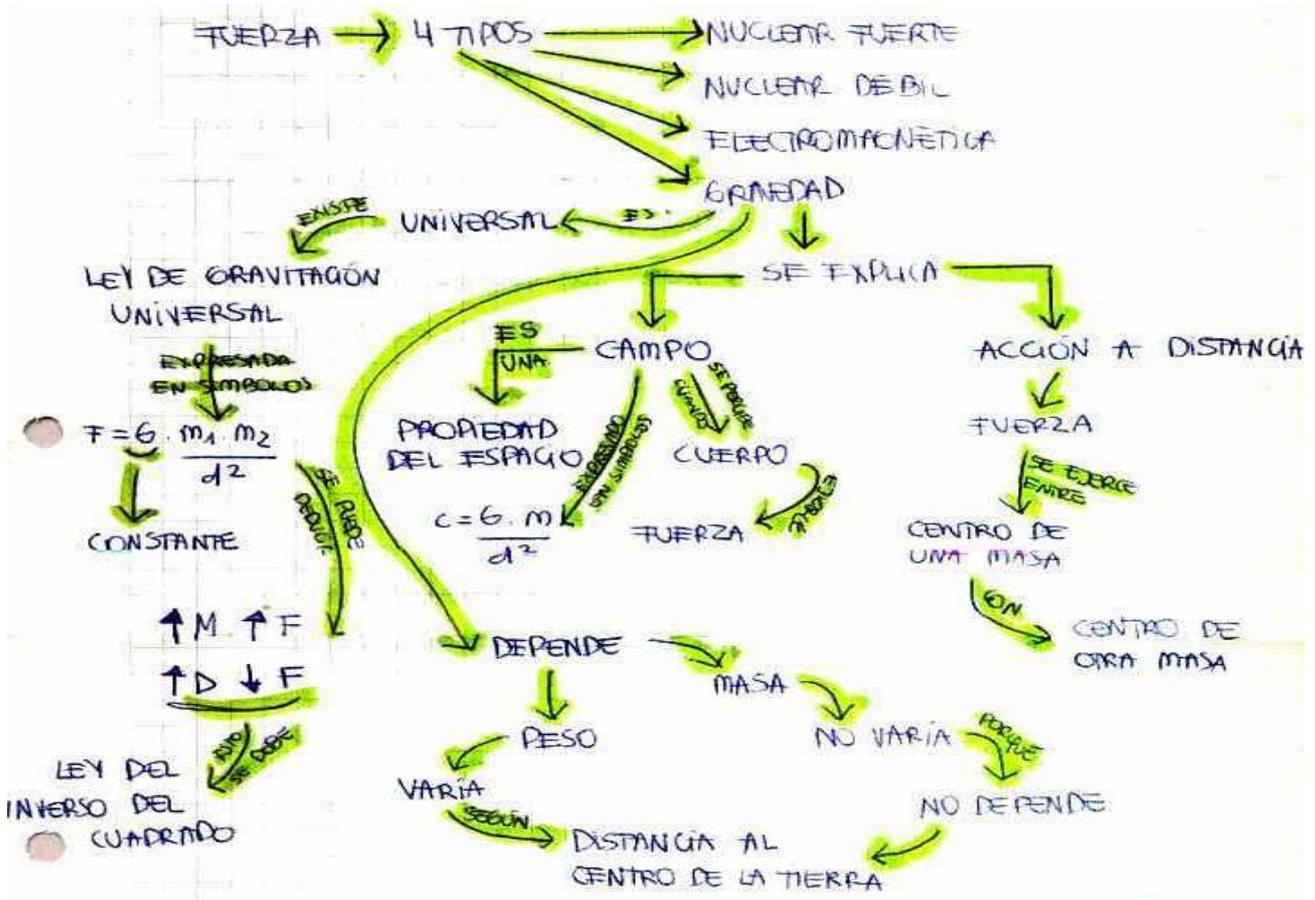


Figura 32: Mapa número 2

Lo acompaña el siguiente comentario:

Se conocen cuatro tipos de fuerzas: nuclear fuerte, nuclear débil, electromagnética y la de gravedad. Esta última se puede explicar de dos maneras diferentes. Una es mediante el campo, que es una propiedad del espacio y se percibe cuando a un cuerpo se le ejerce una fuerza. Otra manera para explicar la gravedad es mediante la acción a distancia que es la fuerza que se ejerce entre el centro de una masa con el centro de otra masa. Newton descubrió que la gravedad es universal, por eso inventó la ley de gravitación universal que dice que todo cuerpo atrae a todos los demás objetos con una fuerza que para dos cuerpos es directamente proporcional a las masas. Entonces cuando las masas son mayores, también lo es la fuerza de atracción. Esta fuerza disminuye por el cuadrado de la distancia ya que la relación es inversamente proporcional. Esta ley también está compuesta por una constante G. La gravedad depende tanto de la masa del cuerpo como el peso. Pero hay una diferencia: el peso varía según la distancia del centro de la Tierra, en cambio la masa no.

El mapa 2 es una presentación que no permite identificar demasiados niveles de jerarquía conceptual, con conceptos de índoles diferentes que comparten el mismo estadio, como es el caso de los modelos de campo y acción a distancia junto a la ley de gravitación universal. A pesar de esto, el texto que lo acompaña permite identificar algunos teoremas-en-acto: el campo es una propiedad del espacio, un cuerpo que percibe una fuerza está inserto en un cierto campo, en el modelo de acción a distancia la fuerza se ejerce entre los centros de masa de los cuerpos, cada objeto atrae a todos los demás objetos, la fuerza gravitacional es una fuerza atractiva, entre otros.

El ejemplo siguiente es un mapa excesivamente denso que deja al descubierto la dificultad que ha encontrado el estudiante para consignar sólo las "principales ideas" que caracterizan al tema.

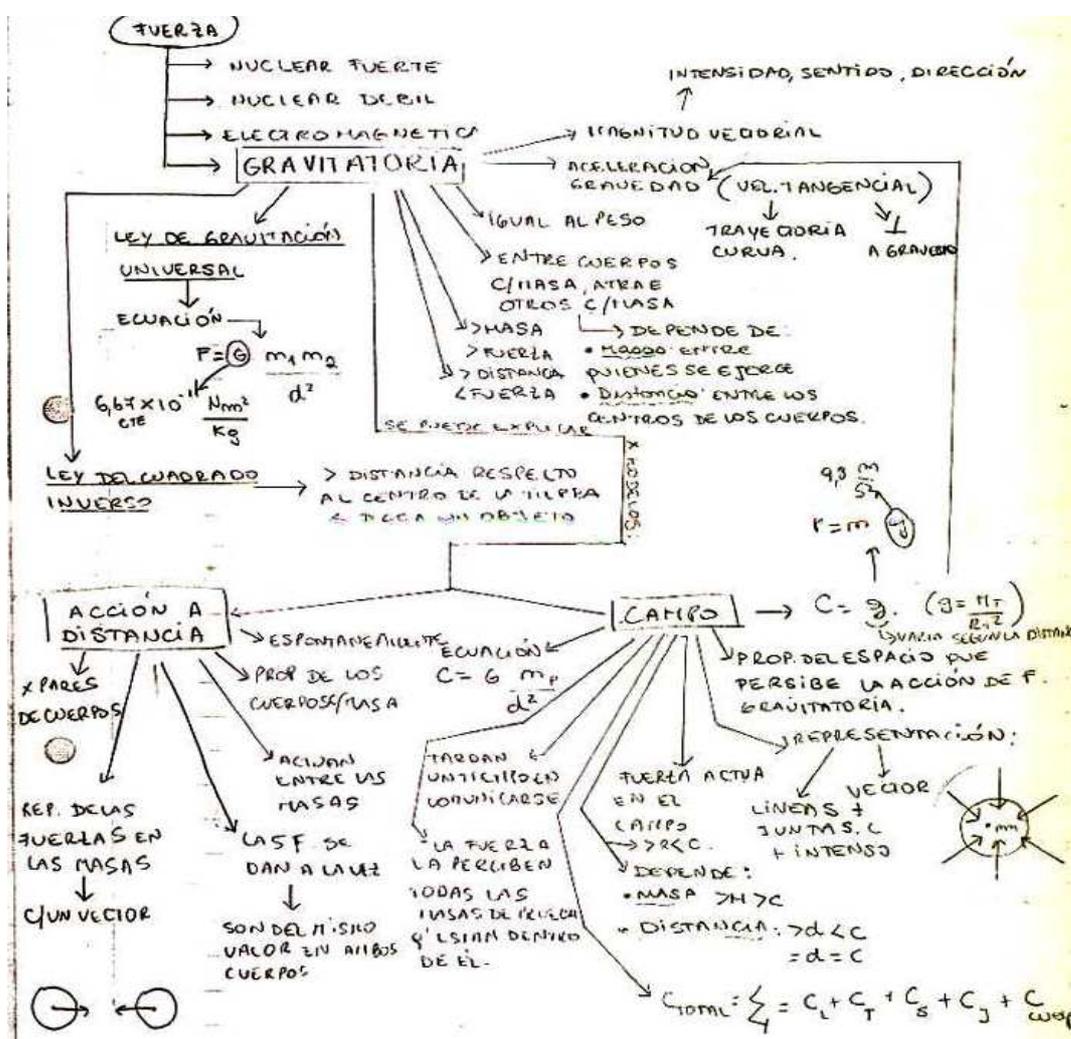


Figura 33: Mapa número 3

Lo acompaña el siguiente comentario:

La gravitatoria es una fuerza que atrae cuerpos con masa. Depende de las masas entre las que se ejerce (>m, >F) y de la distancia entre quienes se ejerce (>d, <F). Su fórmula, según la ley de gravitación universal es

$F = G \frac{m_1 m_2}{d^2}$. Es una magnitud vectorial. Se puede explicar por dos modelos: acción a distancia y campo. El primero de ellos es una propiedad de los cuerpos con masa, donde las fuerzas actúan entre las masas y se dan a la vez, instantáneamente, son del mismo valor en ambos cuerpos. Son pares de cuerpos y se pueden representar con un vector. El segundo es una propiedad del espacio. Depende de la masa ($>m$, $>C$) y de la distancia. ($>d$, $<C$; $=d$, $=C$). Las fuerzas actúan en el campo y la perciben todas las masas de prueba que están dentro de él. Tardan un tiempo en comunicarse. Su ecuación es $C = G \cdot m_p / d^2$. Se representa con un vector. Si las líneas están más juntas el campo es más intenso.

Es una presentación que incluye a "todos" los aspectos discutidos a lo largo del tratamiento de los contenidos: expresiones matemáticas, representaciones gráficas, etc. Del mapa, se infieren como conceptos-en-acto: la fuerza gravitatoria, la acción a distancia y el campo; sin embargo atendiendo al texto que lo acompaña puede admitirse que la noción de masa también forma parte de los conceptos que el estudiante considera relevantes en esta temática. El texto que lo acompaña es muy poco preciso al momento de comentar las dependencias entre las variables participantes. Recupera, sin embargo, cuestiones como las siguientes:

- la fuerza de atracción es de igual magnitud en cada uno de los cuerpos participantes,
- en el modelo de acción a distancia las fuerzas actúan en las masas,
- en el modelo de campo las fuerzas están en el campo.

Si bien, de los 15 mapas analizados, se han podido identificar algunos teoremas-en-acto y conceptos-en-acto que los estudiantes emplean para la conceptualización y que coinciden con los que se detectarían en las manifestaciones orales, resulta interesante destacar que:

- algunos estudiantes tienen dificultades en identificar las principales ideas que caracterizarían al tema, de manera que los mapas que elaboran son, en realidad, diagramas de flujo que incluyen a *todos* los contenidos trabajados. En este sentido cabe tener presente que *"la trayectoria de un aprendiz a lo largo de un campo conceptual científico es sinuosa, difusa, difícil y sobre todo demorada"* (Moreira, 2002).
- el ejercicio de acompañar al mapa de un comentario explicativo es altamente recomendable por cuanto, en algunas ocasiones es más explicativo que el propio mapa, arrojando luz sobre ciertas relaciones que podrían no estar lo debidamente destacadas o sobre ciertos conceptos que, desde el mapa, no parecerían identificarse como relevantes.
- se advierte el empleo de entidades que, siendo epistemológicamente diferentes, aparecen ubicadas en el mismo nivel jerárquico. Por ejemplo, los modelos junto a leyes y a características que denotan la validez de las leyes como su carácter universal. Esto es esperable, si se tiene en cuenta que se trata con estudiantes de 15 años. En todo caso, es un llamado de atención a la manera en que los docentes colaboran en la construcción de los conceptos científicos y la forma en que se los ubica en el marco de una determinada teoría.

6.3.2 Otras producciones escritas

Las evaluaciones de las que se registran las respuestas tienen los siguientes enunciados:

1. Si todos los planetas se empujan entre sí y "tironean" unos de otros. ¿No es contradictorio decir que la fuerza que controla el movimiento de cada uno de ellos está en el Sol?
2. Si existe una fuerza de atracción entre todos los objetos ¿cómo es que nosotros no nos vemos atraídos hacia los edificios que nos rodean?

Evaluación 1

1. A continuación se enuncian una serie de ideas tendientes a definir la palabra **interacción**. Elige la que estimes más aceptable de acuerdo a lo discutido en clase y justifica tu elección.
 - a) *Es la acción de un cuerpo sobre otro y con posterioridad la de este último sobre el primero.*
 - b) *Acción mutua entre dos cuerpos.*
 - c) *Acción que ocurre al mismo tiempo en dos cuerpos.*
 - d) *Acción de un cuerpo sobre otro.*
2. Las oraciones que siguen hacen una caracterización sobre los elementos que intervienen en una situación de interacción. Se te solicita que marques la/s alternativas con las que estás de acuerdo. Justifica aquellos enunciados con los que no estás de acuerdo. Para hablar de interacción hace falta que:
 - a) *Al menos se esté en presencia de dos cuerpos.*
 - b) *Sólo existan dos cuerpos presentes.*
 - c) *El tamaño de los elementos que participan en la interacción sea de tamaño comparable a los objetos que estamos acostumbrados a manejar diariamente.*
 - d) *El tamaño de los elementos que participan en la interacción sea de tamaño mucho mayor que el tamaño de los objetos que estamos acostumbrados a manejar diariamente.*
 - e) *El tamaño de los elementos que participan en la interacción sea de tamaño mucho menor que el tamaño de los objetos que estamos acostumbrados a manejar diariamente.*
 - f) *Los elementos que participan en la interacción están en contacto.*
 - g) *Los elementos que participan en la interacción no están en contacto.*
3. ¿En cuáles de las situaciones que siguen dirías que hay interacción?. En aquellas oportunidades que tu respuesta sea afirmativa, indica entre quienes está aconteciendo la interacción.
 - a) *Un carro tirado por un caballo en un camino de tierra.*
 - b) *Los electrones girando en órbitas alrededor de un núcleo atómico.*
4. ¿Cómo será la intensidad del campo gravitatorio de un planeta cuya gravedad es cinco veces mayor a la gravedad de la Tierra?. ¿Por qué?
5. Justifica la verdad o falsedad de cada una de las afirmaciones que siguen.

Una persona de masa m y peso P que transitara por la Tierra y por el planeta del problema anterior

 - a) *Pesará lo mismo en los dos planetas.*
 - b) *Pesará cinco veces menos.*
 - c) *Tendrá en el nuevo planeta una masa cinco veces mayor.*
6. ¿Qué trata de explicar el modelo de acción a distancia? ¿Qué diferencia hay con el modelo de campo de fuerzas?
- 7) Elegir dos de las fuerzas fundamentales (exceptuando la gravitatoria) y explicar a qué cuerpos afecta y en qué escala opera.

8) ¿Cuál es el peso de la Tierra en el campo generado por un kilogramo de azúcar? Justificar.

Evaluación 2

La evaluación 1 fue realizada por los 18 estudiantes que conforman el curso. Respecto de la cuestión 1, 16 estudiantes responden que no es contradictorio argumentando diferentes razones para ello. Entre las respuestas más frecuentes se pueden citar:

No, porque se dice que controla el movimiento ya que tiene suficiente masa para atraer a todos los planetas despreciando el empuje y el "tironeo" entre los mismos, logrando que giren a su alrededor. Lucía.

No, no es contradictorio, porque existe atracción entre los planetas, porque poseen masa, pero el Sol al poseer una cantidad de masa superior a la de los planetas, ellos se sienten más atraídos, por eso controla el movimiento. Victoria.

No porque suceden las dos cosas, pero como el Sol es el que mayor masa tiene puede controlar el movimiento de cada uno pero esto no quiere decir que no se produzcan empujones y tironeos entre los planetas. Todo lo contrario, también pasa, pero como la fuerza que ejerce el Sol para controlar los movimientos de cada uno es mucho mayor, se podría decir que la fuerza entre los planetas es despreciable. Flavia.

No es contradictorio porque los planetas se sienten todos atraídos o tironeados por los demás. Pero al ser el Sol el cuerpo de mayor masa, es el único que atrae a todos los planetas controlando su movimiento, haciéndolos girar en órbitas. Si hubiera un planeta con una masa que supere a la masa del Sol, entonces los demás planetas (de menor masa) girarían alrededor de él. Ignacia.

En realidad sí. Porque, aunque el Sol es el que tiene gran cantidad de masa y los planetas giran alrededor de él, el movimiento de los planetas no está determinado totalmente por el Sol, por ejemplo, las órbitas de los planetas se ven perturbadas por la acción de la gravedad con otros planetas. Sin embargo el Sol es el principal factor para calcular el movimiento de los planetas. Además de la fuerza de gravedad, la velocidad tangencial de un planeta determina el movimiento. Tomás.

Todos los planetas se atraen entre sí por tener masa pero como el Sol tiene mucha más masa que todos los planetas hace que los planetas giren alrededor de él, por lo que hace que el Sol controle su movimiento. Gabriela.

En todos los ejemplos antes citados, los estudiantes reconocen a la cantidad de masa (y no de tamaño del Sol) como la responsable de la fuerza mayor. Otros teoremas-en-acto que se infieren de las respuestas a la cuestión 1:

- Todos los cuerpos con masa experimentan fuerzas de atracción gravitatoria.
- Los demás planetas ejercen fuerzas despreciables comparadas con la que el Sol ejerce sobre un cierto planeta.
- La velocidad tangencial de cada planeta respecto del Sol también determina el movimiento.

De las respuestas a la cuestión 2 de la evaluación 1, las más frecuentes son:

No nos sentimos atraídos, porque la masa del edificio no es lo suficientemente grande (como la de la Tierra) para atraernos, pero eso no quiere decir que no hay ninguna fuerza de atracción. Lisandro.

No nos sentimos atraídos hacia los edificios que nos rodean porque esa fuerza gravitatoria que existe entre nosotros y los edificios es despreciable en comparación con la fuerza gravitatoria que existe entre nosotros y el planeta Tierra. Alejo.

Respecto de la segunda evaluación, la misma fue realizada por todos los estudiantes que forman el curso, se programó para ser resuelta en una hora reloj, tiempo que resultó aceptable en la puesta en práctica. Al momento de comenzar la resolución, los estudiantes disponían de las expresiones matemáticas necesarias presentadas en el pizarrón.

Los comentarios vinculados a los resultados se hacen siguiendo el orden preestablecido de las cuestiones y atendiendo a las respuestas más frecuentes. Se incluyen comentarios acerca de las dificultades identificadas.

La respuesta que más se repite para la cuestión 1 es la alternativa b, la eligen 12 estudiantes sobre un total de 18. Las justificaciones adoptan la siguiente forma:

La interacción es una acción mutua que debe darse al menos, entre dos cuerpos para que exista. Los cuerpos se relacionan mediante fuerzas, pueden estar en contacto o a distancia y relacionarse igual.

Para la pregunta número dos la combinación con mayor frecuencia es aquella que asigna valor de verdad verdadero para la alternativa a y falso para todas las restantes. Las argumentaciones acerca de los ítems que se ponderan falsos suelen reunirse en unas pocas ideas para más de un ítem. Así por ejemplo, es habitual que las respuestas sean del siguiente estilo:

No es necesario que sólo existan dos elementos. Pueden existir más, pero la interacción se estudia de a pares. (En relación al ítem b). Todos los objetos interactúan por más grandes o pequeños que sean (ítem c). Incluso los objetos más pequeños que los usuales al ojo humano, interactúan. (Ítem d). Los objetos grandes también (ítem e).

Existe interacción a distancia. Por ejemplo la atracción de la Tierra con un avión en vuelo (ítem f). Los cuerpos pueden estar en contacto e interactuar (ítem g). Santiago

Respecto de la pregunta 3 solamente tres estudiantes responden que no existe interacción (dos para el caso a y uno para el caso b). Las respuestas que más se repiten son:

Caso a) Se da entre el caballo y el carro. Entre el carro y la Tierra. Entre el caballo y la Tierra.

Caso b) Hay interacción entre el núcleo y los electrones. Agustín

La pregunta número 4 fue respondida bien por 12 estudiantes. En general la argumentación para asegurar que la gravedad será cinco veces mayor está asociada a que la gravedad es una medida del campo. Las respuestas que siguen se han considerado aceptables a pesar de que no dejan en claro que la gravedad es una medida de la intensidad del campo.

Va a ser cinco veces mayor ya que si la gravedad es más grande, se debe a que también lo es el campo. Julia.

La intensidad del campo va ser cinco veces más (estando a la misma distancia del centro) porque va a tener cinco veces más atracción. Federico.

En el primer caso el argumento es que el campo aumenta en la misma proporción que la gravedad. En el segundo se asocia a la gravedad con la atracción. Se enuncia que si la intensidad en un mismo punto cambia es porque hay más atracción.

Respecto de la cuestión 5, la combinación más repetida en las respuestas de los estudiantes es valor de verdad falso para cada una de las tres alternativas que se proponen. En general suelen responder a las tres opciones juntas del siguiente modo:

Como la atracción es cinco veces mayor, en el nuevo planeta el peso también será cinco veces más ya que el peso se calcula como el campo por la masa. (Respuesta para los incisos a y b). La masa de un cuerpo es totalmente propia y no varía por estar en un lugar o en otro. (Respuesta para el inciso c) Luisina.

Las respuestas a la cuestión número 6 son totalmente comparables a las presentadas al comienzo de este apartado cuando se analizaron los mapas conceptuales. Se transcriben dos respuestas en la que los elementos que aparecen se repiten en otras respuestas.

El modelo de acción a distancia trata de explicar la gravedad. Igual que el modelo de campo. Pero existen algunas diferencias:

**El campo es una propiedad del espacio y se percibe cuando se coloca un cuerpo en ese espacio y se le genera una fuerza. En cambio, la acción a distancia se da entre el centro de un cuerpo con masa con el centro de otro cuerpo con masa.*

En el campo la fuerza que se ejerce sobre el cuerpo no es en forma instantánea, en cambio en la acción a distancia sí lo es. Flavia.

El modelo de acción a distancia trata de explicar la interacción de las cosas que no están en contacto. La diferencia es que en el modelo de campo se afirma que entre dos objetos que no están en contacto hay un campo y que la interacción tarda en llegar de un cuerpo al otro. En el modelo de acción a distancia no se toma en cuenta el tiempo. Tomás.

Las respuestas a la cuestión numerada 7 son de carácter personal ya que en función del artículo oportunamente discutido en clase sobre las cuatro fuerzas fundamentales, cada estudiante elige a qué fuerzas referirse exceptuando la gravitatoria.

Por último la cuestión número 8 fue respondida de manera aceptable por la mayoría de los estudiantes. La dificultad más notable se asocia a que no reconocen que el dato que presenta el enunciado es la masa de azúcar y no el peso. Las justificaciones acerca de que el peso será el mismo son similares. A modo de ejemplo:

El peso de la Tierra en el campo del azúcar se calcula haciendo la masa de la Tierra por el campo del azúcar que es la Fuerza entre ambos dividido por la masa de la Tierra que es la masa de prueba en ese caso. Si hacemos el cálculo pensando lo que el azúcar pesa en el campo de la Tierra la masa del azúcar que multiplica al campo se simplifica con la que lo divide, de modo que resultan iguales.

6.4 En síntesis

En este capítulo se ha presentado el proceso seguido en el análisis de los registros orales y escritos recopilados durante la puesta en práctica de la propuesta didáctica. Tal proceso, desemboca en resultados que se interpretan a la luz de los elementos de los esquemas que estarían empleando los alumnos para conceptualizar sobre la interacción gravitatoria. En esos esquemas, se ha prestado especial interés al lugar de los teoremas-en-acto y conceptos-en-acto que son los que incluyen el contenido propiamente dicho. Asimismo se ha procurado dar cuenta de la evolución que estos elementos han experimentado a lo largo de las diferentes clases.

Luego, es posible admitir que la implementación de esta propuesta didáctica ha permitido que los estudiantes pudieran arribar, en diferentes

instancias, a los principios y caracteres previstos aproximándose a la comprensión de la interacción gravitatoria desde dos modelos: el de la acción a distancia y el de campo gravitatorio.

El tratamiento futuro de otros tipos de interacciones (electromagnética y nuclear) en los años subsiguientes de la formación preuniversitaria sería ocasión propicia para la continua revisión de estos resultados y, consecuentemente, la lógica generalización de los mismos principios y caracteres para otras fuentes generadoras de interacción.

7

Conclusiones y derivaciones

7.1 Introducción

Se ha discutido, en el comienzo de esta tesis, acerca de la importancia que el tema que se investiga tiene dentro del campo de la enseñanza de la Física considerando, fundamentalmente el carácter estructurador que el mismo denota. A continuación se delimitaron los lineamientos teóricos y los metodológicos. En el capítulo 4 se reseñan los resultados de los diferentes estudios diagnósticos sobre el tema para desembocar en el capítulo 5 con la elaboración de una propuesta didáctica cuyos resultados se detallan en el capítulo 6. En este último capítulo se retoman las preguntas derivadas del recorte del problema a la luz de los resultados alcanzados. Asimismo se describen posibles implicaciones futuras.

7.2 Retomando el problema de investigación

En el apartado 2.5.7 el problema de esta tesis quedó circunscrito a tres grandes cuestiones que aquí se retoman con miras a sintetizar cómo se responden en función del trabajo realizado.

Cuestión 1: ¿cuáles son las ideas que los estudiantes estarían usando para dotar de significado a la interacción?

Esta pregunta busca identificar las ideas de los estudiantes sobre la interacción. Decidir acerca de cuáles estudiantes involucrar condujo a incorporar la variable escolarización. Así, se decide encuestar a dos grupos de estudiantes cuya diferencia más notable (en relación con el interés de esta investigación) es que unos han cursado toda la *Física escolar* mientras que otros aún no han tratado en sus clases el tema interacciones. La respuesta a esta primera cuestión fue desarrollada en el capítulo 4 en los apartados 4.3 y 4.4. En esa oportunidad se describen los fundamentos de la elaboración de los instrumentos para recabar información a la vez que los criterios empleados en el proceso de análisis de la mencionada información.

A modo de síntesis se enuncian, a continuación, los aspectos más destacables.

De los ingresantes a la Universidad

- Las explicaciones acerca de cómo se vinculan cuerpos que no están en contacto adquieren dos formas bien diferenciadas: por medio de fuerzas o por "otros factores" que pueden estimarse próximos a la noción de campo, aún cuando no hay indicadores explícitos al respecto. Los resultados parecen indicar que no existe una preponderancia de una de estas explicaciones sobre la otra.
- La causa de la interacción es, mayoritariamente, la presencia de los dos cuerpos que participan de la misma.
- La mayoría de los respondientes está de acuerdo en admitir que en la interacción pueden participar más de dos elementos.
- Cualquiera que sea "el modelo explicativo que los estudiantes adoptan" lo hacen concibiendo la posibilidad de "extenderlo" a más de dos elementos participantes y, consecuentemente, a la influencia de cada uno de ellos sobre los restantes.
- Las cuatro fuerzas fundamentales no se reconocen como las formas de interacción que nuclea a diferentes clases de fuerzas.
- El tiempo es, mayoritariamente, desestimado; es decir, parecería primar una explicación en la que participan a la vez la de los objetos que se vinculan.

De los estudiantes de Polimodal

- La interacción es concebida, mayoritariamente, como la acción mutua entre dos cuerpos.
- La variable tiempo no se reconoce como un factor de relevancia para la relación.
- Se reconoce que para hablar de interacción hace falta considerar dos participantes.
- Se admite, mayoritariamente, que la interacción ocurre entre cuerpos que están en contacto.

El análisis de estos resultados se completa incorporando a otras variables que se estimaron de relevancia a la hora de interpretar las respuestas de los alumnos. Así, se decidió que los textos de uso frecuente entre los estudiantes y las opiniones de los docentes en ejercicio en relación con el tema eran aspectos que deberían incluirse a los fines de obtener una mirada más completa sobre el asunto. En los apartados 4.1 y 4.5 del mismo capítulo 4 se dan las especificaciones acerca de los análisis de los textos y las opiniones de los docentes, respectivamente.

Como resumen de esta mirada integrada entre las opiniones de los docentes, los textos y los estudiantes resulta que el concepto de interacción es prácticamente desestimado como contenido a enseñar. Esto no significa que el mismo sea ignorado por los textos, e incluso por los profesores en ejercicio. Las referencias al mismo son parciales, incompletas y poco relacionadas con temas afines. En el caso de los profesores, la interacción mediada por campo se presenta como un tema de difícil abordaje para el tratamiento en el aula.

Cuestión 2: ¿Cuáles son los contenidos escolares que se esperarían poner en juego en las situaciones de clase a fin de obtener un aprendizaje significativo de las interacciones gravitatorias?

Esta pregunta parte de asumir la importancia de la incorporación de la noción de interacción como un contenido estructurador del curriculum de Física de Polimodal, por las razones que se han detallado en el capítulo 1 de esta tesis.

Admitidas estas consideraciones se hace preciso identificar, en principio, la red de contenidos a incluir, contemplando tanto a la interacción de partículas mediante fuerzas que actúan a distancia como a la versión más moderna en la que la interacción está mediada por un campo. Según se ha comentado en otro lugar, parece de suma importancia, tanto desde un punto de vista científico como técnico la inclusión de la noción de campo al momento de desarrollar diferentes formas de interacción.

Los textos analizados y las opiniones de los profesores dejan al descubierto la dificultad para elaborar propuestas de clase que incluyan al concepto de campo con énfasis en un significado que vaya más allá de la expresión matemática que indica la medida de ese campo.

Los contenidos escolares que hay que identificar se enmarcan en las ideas científicamente consensuadas sobre la interacción gravitatoria.

Luego, hay que reconocer que se ubican en el continuo que incluye, tanto a las ideas que los estudiantes estarían empleando para dotar de significado a la interacción como a las ideas científicamente consensuadas.

En términos de la teoría de los campos conceptuales, son los significados esperables para decidir cuándo el aprendizaje de los estudiantes puede aceptarse como significativo. En el apartado 4.6 se enuncia el conjunto de principios y caracteres que se tomará como referente para el diseño de la propuesta didáctica.

Cuestión 3: ¿Es posible diseñar y poner en práctica una propuesta didáctica con situaciones de clase que tomen en cuenta las respuestas a las dos cuestiones anteriores?

Las consideraciones que impregnan la propuesta didáctica han sido detalladas en el capítulo 5 de esta tesis. Allí se señalan no solamente los contenidos y actividades a desarrollar sino también los criterios de secuenciación, las respuestas esperadas, los motivos para plantear unas actividades y no otras, etc.

Básicamente la propuesta tiene tres características que la diferencian de lo que habitualmente, tanto los textos como los currículos escolares, incluyen en el tratamiento de este tema:

1. Los contenidos son abordados como respuesta a problemas. (Por ejemplo: ¿Por qué se mueven los planetas?, ¿Cómo es que dos cuerpos que no están en contacto se influyen mutuamente?)
2. La secuenciación de los contenidos no requiere más que unos pocos contenidos previos para poder desarrollarse. De esta manera, cabe la posibilidad de ponerla en práctica en diferentes momentos del currículo de Física de Polimodal. (Como iniciación al tratamiento de la Mecánica Clásica, cuando ya se han estudiado las Leyes de Newton, etc.)
3. Se incorporan actividades y consideraciones para desarrollar el tratamiento de la interacción gravitatoria mediada por campo. La noción de campo es presentada como un modelo alternativo al de acción a distancia justificando su tratamiento como una opción más explicativa.

El mencionado diseño es, en sí mismo, un resultado de esta investigación. En él se incorporan los resultados de estudios preliminares con miras a colaborar en el aprendizaje de la noción de interacción gravitatoria.

La implementación de la propuesta didáctica fue bien recibida tanto por el docente que la puso en práctica como por el grupo de estudiantes que participaron de ella. Asimismo, dio respuestas satisfactorias a los objetivos planteados en el apartado 5.7 del diseño. Esto puede corroborarse consultando los resultados que se presentan en el capítulo 6. Para alcanzar estos resultados se ha empleado el análisis de la enunciación para los registros del discurso oral mantenido durante las clases. La puesta en práctica de esta

técnica ha permitido la elaboración del *modelo de análisis* que se incluye en el apartado 6.2.3. En el mismo:

- a) se reconstruye el modelo didáctico y de discurso (desarrollados en los capítulos 2 y 3)
- b) se identifica a cada uno de los elementos de ese modelo con las acciones que se esperaría que desarrollaran a la luz de la teoría de los campos conceptuales de Vergnaud y
- c) se asocia a las diferentes acciones o funciones de cada elemento con una categoría (a la luz del análisis de la enunciación) que permitirá identificarla en el discurso oral.

Los resultados derivados de ese análisis se han triangulado con otros, derivados de las producciones escritas recogidas en oportunidad de las evaluaciones y la elaboración del mapa conceptual que se incluyen en el mismo capítulo 6.

Como consecuencia de la implementación de la propuesta, se pueden mencionar los siguientes resultados:

- Una evolución hacia las formas esperadas en la enunciación y el empleo del *carácter recíproco* de la interacción desde el primer episodio de la clase 1 hasta la clase 12. Esto se pone de manifiesto en expresiones crecientemente descontextualizadas para referirse a la fuerza que actúa sobre dos masas cualesquiera. En las primeras clases la fuerza es asumida como una relación que permite vincular dos masas (que caracterizan a dos objetos identificables). A medida que se avanza en el desarrollo de la propuesta, la relación encarnada por la fuerza adquiere más especificaciones. Entre otras, se hace posible asignarle una medida, capacidad de atracción y también la extensión de estos resultados para dos masas cualesquiera.
Los estudiantes identifican que la fuerza tiene un carácter relacional asignando un vector fuerza de la misma longitud para dos masas diferentes; en ocasiones reconocen que el peso de una masa en el campo gravitatorio de la Tierra es del mismo valor que lo que pesaría la Tierra en el campo gravitatorio de la primera masa.
- La identificación de instancias en las cuales los estudiantes son capaces de reconocer la presencia de diferentes formas de interacción (gravitatoria y magnética, por ejemplo) actuando de manera simultánea (*Carácter composicional*)
- La identificación del empleo del *carácter aditivo* tanto para la fuerza como para la noción de campo. En ciertas oportunidades se hace uso de las expresiones matemáticas representan este carácter para la fuerza y para el campo.
- La evidencia (a partir de las producciones escritas y los mapas conceptuales) del reconocimiento de dos modelos alternativos para la explicación de la interacción gravitatoria. La caracterización escrita permite identificar el reconocimiento de la fuente que genera la interacción y, a partir de ella, los caracteres y principios que permiten describir cómo se explica la interacción en términos de cada uno de los modelos.

- La evidencia de las similitudes y diferencias entre la explicación de la acción a distancia y el modelo de campo. En el caso de las producciones escritas, suelen acompañar sus explicaciones con representaciones gráficas de cada uno de ellos.
- El empleo de conceptos-en-acto apropiados para el campo conceptual de la interacción gravitatoria. Esto es, los conceptos que se identifican como claves son pertinentes a la temática desarrollada.

7.3 Algunas posibles consecuencias

En esta última parte, se señalan algunas consecuencias que pueden resultar interesantes para futuros trabajos de investigación.

Recuperando lo que ya se ha expresado al desarrollar el marco teórico de los campos conceptuales, cada dominio conceptual puede abordarse por una infinidad de situaciones y es la variedad de las mismas la que colabora en las conceptualizaciones que de ellas pudieran derivarse. Luego, para continuar en esta línea de investigación, se hace preciso diseñar otras propuestas didácticas para la interacción gravitatoria, que incluyeran *otras situaciones* diferentes a las que en esta tesis se han empleado. Ello permitiría ampliar la variedad de oportunidades de los estudiantes al momento de dominar progresivamente un campo conceptual.

Otra cuestión que merece interés es la de emplear esta misma propuesta didáctica con otras poblaciones escolares que ya hubieran desarrollado aspectos de la mecánica clásica y que pudieran estimarse análogas a la que ha formado parte de este estudio. Esto es, analizar cómo serían los resultados obtenidos si *aquello que el alumno ya sabe* es diferente respecto de lo que aquí se ha discutido.

Una tercera cuestión que parecería interesante de indagar es ¿cuáles son los invariantes operacionales que emplearían los estudiantes que han formado parte de esta investigación, enfrentados a una propuesta didáctica (analogable a la que aquí se ha desarrollado) para el tema interacción electromagnética?. Un estudio de esta índole ofrecería la posibilidad de extender el campo de situaciones para conceptualizar sobre las interacciones de distinta índole ya que los principios y caracteres que han sido el referente de la propuesta didáctica para la interacción gravitatoria se reformularían ahora, a la luz de nuevas fuentes generadoras de interacción.

Una recomendación que se deriva de este trabajo tiene que ver con la formación y actualización de los profesores.

Según lo que se ha comentado en otro lugar, parece necesario incorporar el tratamiento de las interacciones en Física, desde los comienzos de la formación Polimodal con miras a incluirlo como un contenido estructurador del currículo de la Física escolar. En muchas ocasiones los docentes no han tenido oportunidad de reflexionar acerca de este carácter estructurador. Asimismo los docentes que formaron parte de la población entrevistada pusieron en evidencia dificultades para abordar un tratamiento más moderno de la

interacción que hiciera uso de la noción de campo. Luego, se vuelve imperioso sugerir la profundización en el estudio de los dominios conceptuales específicos como condición para el diseño de futuras propuestas didácticas en esta dirección. Los docentes deberían tener la posibilidad de incorporar en sus propuestas los aportes históricos y epistemológicos que enmarcan a los contenidos que están intentando desarrollar. Este tratamiento suele ser un recurso de importancia cuando se necesita provocar un cambio ontológico, como el que en este trabajo se ha descrito al introducir la noción de campo.

Los resultados y derivaciones que aquí se han comentado son subsidiarios de la propuesta didáctica implementada. La misma se ha orientado a lograr unos ciertos objetivos de aprendizaje y de desarrollo predeterminados. En este sentido el diseño de la mencionada propuesta, se constituye en una contribución a las teorías de diseño educativo.⁷¹ El diseño, implementación y evaluación de situaciones de aprendizaje sigue siendo un aspecto poco trabajado en la investigación en enseñanza de las ciencias. Profundizar en esta dirección puede constituirse en un aporte hacia la conformación de una didáctica de la Física.

Por último, se reitera que en esta investigación se ha intentado implementar una propuesta didáctica a partir de un referencial teórico poco trabajado aún en la enseñanza de la Física. Aún cuando los resultados obtenidos son prometedores, pueden encontrarse otras explicaciones alternativas y se hace necesario desarrollar otros estudios a fin de ampliar la confiabilidad de los resultados aquí presentados.

⁷¹ *"Una teoría de diseño educativo es una teoría que ofrece una guía explícita sobre la mejor forma de ayudar a que la gente aprenda y se desarrolle". (Reigeluth, 1999, p. 15)*

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGUILERA, E. O. Profesores y libros de texto: su selección y utilización en clases de Ciencias Naturales. *Tesis de Licenciatura en Enseñanza de las Ciencias*. Universidad Nacional de General San Martín. 2002.
- ALONSO, M. - FINN, E. *Física*. Addison Wesley Iberoamericana, S.A. U.S.A. 1995.
- ANDERSON, R. J. *The architecture of cognition*, en POZO, J. - GÓMEZ CRESPO, M. *Aprender y enseñar ciencia*. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico. Ediciones Morata. Madrid. 1998
- ANDRÉ, M. *Etnografía da prática escolar*. Papirus Editora. São Paulo. 1998.
- ARISTEGUI, R. - BAREDES, C. - DASSO, J. - DELMONTE, J. - FERNANDEZ, D. - SOBICO, C. - SILVA, A. *Física I*. Ediciones Santillana. Buenos Aires. 1999.
- ARISTEGUI, R. - BAREDES, C. - DASSO, J. - FERNANDEZ, D. - SOBICO, C. - SILVA, A. *Física II*. Ediciones Santillana. Buenos Aires. 2000.
- ATKINSON y HAMMERSLEY *Ethnography and participant observation*. 1994. en RODRÍGUEZ, G. - GIL, J. - GARCÍA E. Metodología de la Investigación cualitativa. Ediciones Algibe. Málaga. 1996.
- AUSUBEL, D. - NOVAK, J. y HANESIAN H. *Psicología educativa*. Trillas. México. 1978. Versión en español 1983.
- BAR,V. - ZINN, B. - RUBIN, E. Children's ideas about actions at a distance. *International Journal of Science Education*. 19 (10). 1137-1158.
- BARDIN, L. *Análisis de contenido*. Akal. Madrid. 1986.
- BARNES, D. *From communication to curriculum*.1976, en CAZDEN, C. *El discurso en el aula*. Paidós. Barcelona. 1991.
- BAKER-SENNETT, J. – MATUSOV, E. – ROGOFF, B. Sociocultural processes of planning in children's playcrafting en *Context and cognition*, Hemel Hempstead: Harvester-Wheatsheaf. 1992.
- BAQUERO, R. *Vigotsky y el aprendizaje escolar*. Aique. Buenos Aires. 1996.
- BARAIS, A. - VERGNAUD, G. *Students conceptions in physics and mathematics: biases and hepls*. Annick Weil in Caverni, J. P., Fabre, J.M. and González M. (Eds.) *Cognitive biases*. North Holland: Elsevier Science Publishers. 69-84. 1990.
- BARQUÍN, J. *La evolución del pensamiento del profesor*. 1991, en Porlán Ariza, R.; Rivero García, A; Martín del Pozo, R. Conocimiento profesional y epistemología de los profesores II. *Enseñanza de las ciencias* Vol. 16(2);271-288. 1998.
- BENLLOCH, M. *Desarrollo cognitivo y teorías implícitas en el aprendizaje de las Ciencias*. Madrid. Visor. 1997.
- BENLLOCH, M. y POZO; J. I. *What changes in conceptual change?. From ideas Theories*. In G. Welford; J. Osborne; P. Sott. (Eds) *Research in science education in Europe. Current issues and themes*. London. Falmer Press. 1996.
- BERICAT, E. *La integración de los métodos cuantitativo y cualitativo en la investigación social*. Ariel Sociología. Barcelona. 1998.
- BERKSON, W. *Las teorías de los campos de fuerza*. Alianza Editorial. Madrid. Primera edición. 1974. Otras ediciones en castellano 1981-1985
- BERNARDEZ, E. *El papel del léxico en la organización textual*. Universidad Complutense de Madrid. Madrid.1995

BOHRNSTEDT, G. W. *Evaluación de la confiabilidad y validez en la medición de actitudes*. 1976, en Hernández Sampieri et. al.: *Metodología de la investigación* McGraw-Hill, Colombia. 1997

BOLTON, N. *Concept formation*. Pergamon Press Oxford. 1977

BRUNER, J. - GOODNOW, J y AUSTIN A *study of thinking* en BENLLOCH, M. *Desarrollo cognitivo y teorías implícitas en el aprendizaje de las Ciencias*. Visor. Madrid. 1997.

BROUSSEAU, G. *Fundamentos y métodos de la Didáctica de la Matemática*. Trabajos de Matemática. Edición Especial. FaMAF. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina. 1993

CACHAPUZ, A. *Improving Primary Science Teaching in Portugal*. 1992, en PAIXAO, M.; CACHAPUZ, A. (1999). *La enseñanza de las ciencias y la formación de profesores de enseñanza primaria para la reforma curricular: de la teoría a la práctica*. *Enseñanza de las ciencias* 17 (1), p. 69-77.

CAZDEN, C. *El discurso en el aula*. Paidós. Barcelona. 1991.

CHEVALLARD, Y. *La transposición didáctica. Del saber sabio al saber enseñado*. Aique. Buenos Aires. 1997

CREUS, E; MASSA, M. - CORTES, A. *Mecánica*. UNR Editora. Santa Fe. 1988

DENZIN, N. - LINCOLN, Y. *Handbook of qualitative researchs*. Sage publications EE.UU. 1994.

DE VEGA, M. *Introducción a la Psicología cognitiva*. Alianza Editorial. Madrid. 1984

DEY, I. *Qualitative data analysis* Ed. Rotledge. 1993.

DÍAZ E. - HELER, M. *Hacia una visión crítica de la ciencia*. Biblos, Bs. As. 1992.

DOMINGUEZ, M. - MOREIRA, M. A. *Significados atribuidos a los conceptos de Campo eléctrico y potencial eléctrico por estudiantes de Física general*. *Revista de Ensino de Física*. 10. 67-81. 1988.

DRIVER, R. - GUESNE, E. Y TIBERGHEIEN A. (Eds.) *Children's ideas in science*. Milton Keynes: Open University Press. (Trad. Castellano de P. Manzano: *Ideas científicas en la infancia y adolescencia*. Morata. Madrid. 1990

DUSCHL, R. *Renovar la enseñanza de las ciencias*. Narcea. Madrid. 1997.

EDWARDS, D. – MERCER, N. *Common Knowledge*. The development of Understanding in the classroom. Routledge. London. 1987.

EDWARDS, D. – MERCER, N. *Discourse, power and the creation of shared knowledge: how do pupils discover what they are meant to?.* *Proceedings of the first Annual Conference on Activity Theory*. Berlín. 1988.

EDWARDS, D. *Discourse and the development of understanding in the classroom* In *Computers and Learning*, Sage. Londres. 1990.

EDWARDS, D ; POTTER, J. *Discursive Psychology*. 1992. Sage. Londres en *Enseñanza aprendizaje y discurso en el aula*. 1996, en RICKSON, F. *Qualitative methods in research on teaching*. 1989, en VALLES, M. *Técnicas cualitativas de investigación social*. Síntesis sociología. Madrid, 1999.

ERLANDSON, D. - HARRIS, E. - SKIPPER, B. ALLEN, S. 1993, en VALLES, M. *Técnicas cualitativas de investigación social*. Síntesis sociología. Madrid, 1999.

FEYNMAN, LEIGHTON. *Física*. Volumen I. Addison Wesley Iberoamericana. E.U.A. 1971

FEYNMAN, R. - LEIGHTON, R. - SANDS, M. *Física*. Volumen II: Electromagnetismo y materia. Addison Wesley Iberoamericana. E.U.A. 1972.

FISHER, E. *The teacher's rol* 1993, en *Enseñanza aprendizaje y discurso en el aula*. COLL Y EDWARDS. *Infancia y aprendizaje*. Madrid. 1996

FODOR, J. *Conceptos*. Gedisa Editorial. Barcelona. 1999.

FRANCHI, A. (1999). *Considerações sobre a teoria dos campos conceituais*. In Alcântara Machado, S.D. et al. *Educação Matemática: uma introdução*. São Paulo. EDUC. 155-195. 1999.

FURIÓ, C.; GUIASOLA, J. Deficiencias epistemológicas en la enseñanza habitual de los conceptos de campo y potencial eléctricos. *Enseñanza de las Ciencias* 15(2), 259-271. 1997.

FURIÓ, C.; GUIASOLA, J. ¿Puede ayudar la historia de la ciencia a entender por qué los estudiantes no comprenden los conceptos de carga y potencial Eléctrico?. *Revista Española de Física* 7(3), 46-50. 1993.

FURIÓ, C.; GUIASOLA, J. Dificultades de aprendizaje de los conceptos de carga y campo eléctrico en estudiantes de bachillerato y de universidad. *Enseñanza de las Ciencias* 16(1), 131-146. 1998.

GALLAGHER, J.J. (1993). *Six view of teaching science*, en Porlán Ariza, R.; Rivero García, A; Martín del Pozo, R. (1998). Conocimiento profesional y epistemología de los profesores II. *Enseñanza de las ciencias* Vol. 16 (2), p.271-288.

GARCIA, R. *El conocimiento en construcción*. Gedisa Editorial. Barcelona. 2000

GARCÍA SUÁREZ, A. *Modos de significar*. Una introducción temática a la filosofía del lenguaje. Tecnos. Madrid. 1997

GEERTZ, C. *La interpretación de las culturas*. Gedisa. Barcelona. 1973.

GEERTZ, C. Local knowledge: further essays in interpretative anthropology. 1983, en VALLES, M. *Técnicas cualitativas de investigación social*. Síntesis sociología. Madrid, 1999.

GIL, D. ¿Qué hemos de saber y saber hacer los profesores de ciencias?. *Enseñanza de las Ciencias*. 1(1).26-33 1993.

GIL FLORES, J. *Análisis de datos cualitativos*. PPU. - Barcelona. 1994.

GLASER, B. - STRAUSS, A. *The Discovery of Grounded Theory*. Aldine. Chicago. 1967

GORDON, D. The image of science, Technological Consciousness and Hidden Curriculum. *Curriculum Inquiry*. 14(4). 367-400

GRECA, I - MOREIRA, M. The kinds of mental representations, models, propositions and images, used by college physics students regarding the concept of field. *International Journal of Science Education*, 19(6). 711-724.

GRECA, I - MOREIRA, M. Texto de apoyo número 1. Conceptos. *Programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias*. Universidad de Burgos, España, UFRGS, Brasil. 2001.

GUMPERZ, J. *Conversational inference and classroom learning* 1981, en RODRÍGUEZ, G. - GIL, J. - GARCÍA E. Metodología de la investigación cualitativa. Ediciones Algibe. Málaga. 1996.

HALBWACHS, F. La Física del Profesor: entre la Física del Físico y la Física del Alumno. *Revista de Enseñanza de la Física* 1(2). 1985.

HALLIDAY, M. – MARTIN, J. *Writting science: Literacy and Discursive Power*, University of Pittsburgh Press, Pittsburgh. 1993.

HAMILTON, D. *Traditions, preferences, and postures in applied qualitative Research*. 1994. En VALLES, M. *Técnicas cualitativas de investigación social*. Síntesis sociología. Madrid, 1999.

HERNÁNDEZ SAMPIERI, R., FERNÁNDEZ COLLADO, C. y LUCIO, P. *Metodología de la investigación*. McGraw Hill. México. 1991

HEWITT, P. *Física conceptual*. Addison Wesley Iberoamericana. E.U.A. 1995.

HOLLAND, J. - HOYOAK, K. - NISBETT, R. - THAGARD, P. *Induction: Process of inference. Learning and discovery*. The MIT Press. Cambridge. 1986.

HULL, C. *Quantitative aspects of the evolution of concepts*. 1920, en BENLLOCH, M. *Desarrollo cognitivo y teorías implícitas en el aprendizaje de las Ciencias*. Visor. Barcelona. 1997.

HUME, P. *A treatise of human nature*. 1739. En LAWSON, A. E. Uso de los ciclos de aprendizaje para la enseñanza de destrezas de razonamiento científico y de sistemas conceptuales. *Enseñanza de las Ciencias* 12(2), 165-187. 1994.

ISLAS, S. - PESA, M. ¿Qué ideas tienen los profesores de Física de nivel medio respecto al modelado?. *Revista Ciência & Educação* 8(1), 13-26. 2002.

JACKENDOFF, R. *La conciencia y la mente computacional*. Visor. Madrid. 1998

JIMENEZ VALLADARES - LOPEZ GARZON. Los medios de representación gráfica en la modelización de ciencias físicas. El caso del vector fuerza. *Alambique, Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Nº 8. p. 107-114. 1996.

JOHNSON-LAIRD, P. *El ordenador y la mente*. Paidós. Barcelona. 1988

JOHNSON-LAIRD, P. Mental models en MOREIRA, M. A. Texto de apoyo número 8: Modelos mentales. *Programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias*. Universidad de Burgos, España, UFRGS, Porto Alegre. Brasil. 1999

KANT, M. *Crítica de la razón práctica*. Editorial Losada. Buenos Aires. 1973.

KARMILOFF-SMITH, A. *Auto Organización y cambio cognitivo*. 1992, en M. Benlloch: *Desarrollo cognitivo y teorías implícitas en el aprendizaje de las ciencias*. Visor, Madrid. 1997.

KIRK, J. - MILLER, M. *Reliability and validity in qualitative research*. 1986, en VALLES, M. *Técnicas cualitativas de investigación social*. Síntesis sociología. Madrid, 1999.

KLIMOVSKY, G. *Las desventuras del conocimiento científico*. AZ Editora. Buenos Aires. 1995

KÖNING, R. (Comp.) *Tratado de sociología empírica*. Tecnos. Madrid. 1973.

KOULADIS Y OGBORN en PORLÁN ARIZA, R.; RIVERO GARCÍA, A; MARTÍN DEL POZO, R. Conocimiento profesional y epistemología de los profesores II. *Enseñanza de las ciencias* .16 (2), 271-288. 1998.

LANDAU, L. Y LIFSHITZ, E. *Teoría clásica de campos*. Reverté. Barcelona, 1980.

LAURENCE, S. y MARGOLIS, E. *Concepts*. Cambridge, MA: MIT Press. 1999

LANGFORD, P. *El desarrollo del pensamiento conceptual en la escuela primaria*. Paidós. Barcelona. 1987.

LAWSON, A. E. Uso de los ciclos de aprendizaje para la enseñanza de destrezas de razonamiento científico y de sistemas conceptuales. *Enseñanza de las Ciencias* 12(2), 165-187. 1994.

LEDERMAN, N. Student's and teacher's conceptions of the nature. *Journal of research in science teaching* 29 (4), 331-359. 1992.

LEMEIGNAN, G. AND WEIL-BARAIS, A.. A developmental approach to cognitive change in mechanics. *International Journal of Science Education*, 16(1): 99-120. 1994.

LEMKE, J. *Aprender a hablar ciencia*. Paidós. Barcelona. 1997.

LINCOLN, Y. - GUBA, E. *Naturalistic Inquiry*. 1985. En VALLES, M. *Técnicas cualitativas de investigación social*. Síntesis sociología. Madrid, 1999.

LOCKE; J. *Essay on the Human Understanding* 1690. En LAWSON, A. E. Uso de los ciclos de aprendizaje para la enseñanza de destrezas de razonamiento científico y de sistemas conceptuales. *Enseñanza de las Ciencias* 12(2), 165-187. 1994.

LOTMAN, Y. Text within a text. *Sovietic Psychology*, 26(3). 1989 en WERTSCH, J. *Voces de la mente*. Visor. Madrid. 1991.

LÜDKE, M. – ANDRÉ, M. *Pesquisa em Educação: Abordagens qualitativas*. E.P.U. São Paulo. Brasil. 1986.

LUTZ, F. *Ethnography-The holistic approach to understanding schooling*. 1981, en RODRÍGUEZ, G. - GIL, J. - GARCÍA E. *Metodología de la investigación cualitativa*. Ediciones Algibe. Málaga. 1996.

MARCELO, C. *La investigación sobre la formación del profesorado*. *Metodología de la investigación y análisis de datos*. Sincel. Buenos Aires. 1992.

MARCUS, G. - FISHER, M. *Anthropology as cultural critique: an experimental moment in the human sciences*. 1986, en VALLES, M. *Técnicas cualitativas de investigación social*. Síntesis sociología. Madrid, 1999.

MARTIN, J. - SOLBES, J. la enseñanza del concepto de campo en secundaria y Bachillerato. *Actas de la XXVII Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Física*. 7. 47-69. 1999.

MARTIN, J. - SOLBES, J. Diseño y evaluación de una propuesta para la Enseñanza del concepto de campo en Física. *Enseñanza de las Ciencias* 19(3), 393-403. 2001.

MARTIN QUERO, J. La introducción del concepto de campo en Física. *Tesis Doctoral*. Universidad de Valencia. 1999.

MAYER, R. *Thinking problem solving cognition*. Freeman. Nueva York. 1983

MILES, M. - HUBERMAN, A. *Qualitative data anlysis: an expanded sourcebook*. 1994. En VALLES, M. *Técnicas cualitativas de investigación social*. Síntesis sociología. Madrid, 1999.

MILLER. The magical number seven, plus or or minus two. *Psychological Review* en Johnson-Laird, P. *El ordenador y la mente*. Paidós. Barcelona. 1988.

MINISTERIO DE CULTURA Y EDUCACIÓN DE LA NACIÓN. *Contenidos Básicos Comunes para la Educación polimodal. Ciencias Naturales*. Buenos Aires. Consejo Federal de Cultura y Educación. 1997.

MOREIRA, M. A. Um mapa conceitual para interações fundamentais. *Enseñanza de las Ciencias*, 8(2), 133-139. 1989.

MOREIRA, M.A. & REDONDO, A.C. Construtivismo: significados, concepções errôneas e uma proposta. Trabalho apresentado na VIII REF, Rosário, Argentina. 1993.

MOREIRA, M. A. A teoria dos campos conceituais de Vergnaud, o ensino de Ciências e a pesquisa nesta área. *Investigações em Ensino de Ciências* 7 (1). Site: <http://www.if.ufrgs.br/ienci>.2002.

MOREIRA, M.A. Conferencia dictada en el III Encuentro Internacional sobre Aprendizaje Significativo, Lisboa (Peniche), 11 a 15 de septiembre de 2000. Publicada en las Actas del III Encuentro Internacional sobre Aprendizaje Significativo, p. 33-45. Traducción de Ileana Greca. 2000.

- MORTIMER, E. *Evolução do atomismo em sala de aula: mudança de perfis Conceituais*. Faculdade de Educação da USP; São Paulo; Tese (Doutorado).1994.
- NORMAND, A. *Some observations on mental models*, en MOREIRA, M. A. Texto de apoyo número 8: Modelos mentales. *Programa Internacional de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias*. Universidad de Burgos, España,UFRGS, Porto Alegre. Brasil. 1999
- NORTHROP, F. S. *The logic of the sciences and the Humanities* en LAWSON, A. E. Uso de los ciclos de aprendizaje para la enseñanza de destrezas de razonamiento científico y de sistemas conceptuales. *Enseñanza de las Ciencias* 12(2), 165-187. 1994.
- NOVAK, J. D. *Teoría y práctica de la educación*. Alianza Editorial. Madrid. 1982.
- NOVAK, J. - GOWIN, D. *Aprendiendo a aprender*. Ediciones Martínez Roca. Barcelona. 1998.
- OLSON, D. *Sobre estrategias conceptuales* en BRUNER, J. *Investigaciones sobre el desarrollo cognitivo*. Pablo del Río Editores. Madrid. 1980.
- OSTERMAN, F. Textos de apoyo al profesor de Física número 12: *Partículas elementales e interacciones elementales*. Grupo de Ensino Instituto de Física. UFRGS. Porto Alegre. Brasil. 2001
- OSTERMAN, F. Um pôster para ensinar Física de Partículas na escola. *Física na escola*, 2(1), 13-18. 2001.
- OTA, M. I. *Os modelos de inração da Física e dos estudantes*. Tesis de Doctorado en Educación. São Paulo. 1997.
- PACCA, J. y VILLANI, A. La competencia dialógica del profesor de ciencias en Brasil. *Enseñanza de las ciencias*. 18 (1), 95-104. 2000
- PEREZ GÓMEZ, A. - GIMENO, J. *El pensamiento pedagógico de los profesores: Un estudio empírico sobre la incidencia de la actitud pedagógica y de la Experiencia profesional en el pensamiento de los profesores*. 1992, en PORLÁN ARIZA, R.; RIVERO GARCÍA, A; MARTÍN DEL POZO, R. Conocimiento profesional y epistemología de los profesores II. *Enseñanza de las ciencias* 16 (2) 271-288. 1998.
- PERRENOUD, P. - PAQUAY, L. - ALTET, M. y CHARLIER, E. *Formando profesores profissionais*. Artmed. Brasil. 1998.
- POPE, M. y GILBERT, J. *La experiencia personal y la construcción del conocimiento en ciencias* en PORLAN, R., GARCÍA E: y CAÑAL; P. *Construcctivismo y enseñanza de las ciencias*. Díada. Sevilla. 1988.
- PORLAN ARIZA, R. Pasado, presente y futuro de la didáctica de las ciencias. *Enseñanza de las ciencias* 16 (1), 175-185. 1998.
- PORLÁN ARIZA, R.; RIVERO GARCÍA, A; MARTÍN DEL POZO, R. Conocimiento profesional y epistemología de los profesores II. *Enseñanza de las ciencias* 16 (2), 271-288. 1998.
- PORLÁN, R. - MARTÍN, R. El saber práctico de los profesores especialistas. Aportaciones desde las didácticas específicas. *Investigación en la escuela*. 24, 49-60. 1994.
- POSNER, F. J. - STRIKE, K. A. - HEWSON, P. W y GERTZOG, W. A. Accomodation of a scietific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*. 66 (2), 211-227. 1982

- POZO, J. - GÓMEZ CRESPO, M. *Aprender y enseñar ciencia*. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico. Ediciones Morata. Madrid. 1998
- PUTNAM, H. *Las mil caras del realismo*. Paidós I.C.E./U.A.B. España. 1994.
- REIGELUTH, C. *Diseño de la instrucción. Teorías y modelos*. Aula XXI. Santillana. Madrid, 1999.
- RELA, A. - SZTRAJMAN, J. *Física I*. Mecánica, ondas y calor. Aique. Buenos Aires. 1998.
- RELA, A. - SZTRAJMAN, J. *Física II*. Óptica, electricidad y magnetismo. Aique. Buenos Aires. 1999.
- RESNICK, R. - HALLIDAY, D. *Física. Parte I*. C.E.C.S.A. México. 1992.
- RESNICK, R. - HALLIDAY, D. *Física. Parte II*. C.E.C.S.A. México. 1976.
- RIVIERE, A. *La psicología de Vigotsky*. Visor. Madrid. 1988.
- RODRÍGUEZ GÓMEZ, G. - GIL FLORES, J. - GARCÍA JIMÉNEZ, E. *Metodología de la investigación cualitativa*. Ed. Aljibe, Málaga. 1999.
- RUBINSTEIN, J. - TIGNANELLI, H. *Física I. La energía en los fenómenos físicos*. Estrada. Buenos Aires. 1999.
- ROSCH, E. Natural categories. *Cognitive Psychology* 4, 328-350. 1975.
- SAMAJA, J. *Epistemología y metodología*. EUDEBA. Buenos Aires, 1993.
- SCHWAB, J. The Practical 3: Translation into Curriculum. *School Review*, 81(4), 501-522. 1973.
- SEARS, F. *Fundamentos de Física*. Ed. Aguilar. Madrid. 1978.
- SEARS, F. - Zemansky, M. *Física general*. Ed. Aguilar. Madrid. 1979.
- SMITH, R. *The problem of criteria for judging interpretive inquiry*. 1984, en VALLES, M. *Técnicas cualitativas de investigación social*. Síntesis sociología. Madrid, 1999.
- SIMON, H. *Las Ciencias de lo Artificial*. Ed. ATE. Barcelona. 1979.
- SOLBES, J. - MARTIN, J. Análisis de la introducción del concepto de campo. *Revista Española de Física*. 5 (3). 34-39. 1991.
- SPRADLEY, J. *The ethnographic interview*. Holt, Rinehart & Winston. Nueva York. 1979.
- SPRADLEY, J. *Participant observation*. Holt, Rinehart & Winston. Nueva York. 1980.
- STERNBERG, A. *A triadic theory of human intelligence* 198, en PERRENOUD, P. -PAQUAY, L. - ALTET, M. y CHARLIER, E. *Formando profesores profissionais*. Artmed. Brasil. 1998.
- STAKE, R. The art of case study research. 1995. En VALLES, M. *Técnicas cualitativas de investigación social*. Síntesis sociología. Madrid, 1999.
- STIPCICH, S. - MASSA, M. Un estudio etnográfico: el discurso del profesor de Física. *Revista Investigaciones en Enseñanza de las Ciencias*. UFRGS, Brasil. http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/v7_n2_a2.htm .2002.
- STIPCICH, S. - MOREIRA, M. El tratamiento del concepto de interacción en textos de Polimodal y Universitarios. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*. 1(1). 2001
- STIPCICH, S. - MOREIRA, M. Las opiniones de los Profesores de Física sobre la interacción en la enseñanza de la Física. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*. 2(2), 1-15. 2002,a
- STIPCICH, S. - MOREIRA, M. Un test para indagar ideas sobre la noción de interacción. Aceptado para su publicación en las *Memorias del VI Simposio de Investigadores en Educación en Física*. 2002 b

- STUBBS, M. *Análisis del discurso*. Alianza Editorial. Madrid. 1983.
- TARDIF, M. *Pour un enseignement stratégique: l'aport de la psychologie cognitive*. 1992, en PERRENOUD, P. - PAQUAY, L. - ALTET, M. y CHARLIER, E. *Formando professores profissionais*. Artmed. Brasil. 1998.
- TARDIF, M. *Eléments pour une théorie de la pratique éducative: actions et savoirs en éducation* 1993, en PERRENOUD, P. - PAQUAY, L. - ALTET, M. y CHARLIER, E. *Formando professores profissionais*. Artmed. Brasil. 1998.
- TAYLOR, S. - BOGDAN, R. *Introducción a los métodos cualitativos de Investigación. La búsqueda de significados*. Paidós. Buenos Aires. 1986.
- THAGARD, P. *Mente*. Introdução a Ciência cognitiva. Artmed. Porto Alegre. 1998
- TIPLER, P. *Física*. (Tomo 1). Ed. Reverté. España. 2001.
- TIPLER, P. *Física*. (Tomo 2). Ed. Reverté. España. 1993.
- TOCHON, F. *L'enseignement stratégique* 1991, en PERRENOUD, P. - PAQUAY, L. - ALTET, M. y CHARLIER, E. *Formando professores profissionais*. Artmed. Brasil. 1998.
- TOLEDO, B. *Teorías de partículas elementales e interacciones*. Memorias del V Congreso Latinoamericano de Historia de las Ciencias y la Tecnología. Río de Janeiro. Brasil. Julio de 1998.
- TOULMIN, S. *La comprensión humana*. El uso colectivo y la evolución de los conceptos. Alianza Editorial. Madrid. 1972
- VALLES, M. *Técnicas cualitativas de investigación social*. Síntesis sociología. Madrid, 1999.
- VERGNAUD, G. *A classification of cognitive tasks and operations of thought involved in addition and subtraction problems*. 1982. In Carpenter, T. Moser, J. & Romberg, T. *Addition and subtraction. A cognitive perspective*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum. p. 39-59. 1982.
- VERGNAUD, G. Quelques problèmes théoriques de la didactique a propos d'un exemple: les structures additives. *Atelier International d'Eté: Recherche en Didactique de la Physique*. La Londe les Maures, França, 26 de junho a 13 de julho. 1983 a.
- VERGNAUD, G. *Multiplicative structures*. In Lesh, R. and Landau, M. (Eds.) *Acquisition of Mathematics Concepts and Processes*. New York: Academic Press Inc. p. 127-174. 1983b.
- VERGNAUD, G. *Problem solving and concept development in the learning of mathematics*. E.A.R.L.I. Second Meeting. Tübingen. 1987.
- VERGNAUD, G. *Multiplicative structures*. In Hiebert, H. and Behr, M. (Eds.). *Research Agenda in Mathematics Education. Number Concepts and Operations in the Middle Grades*. Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum. p. 141-161. 1988.
- VERGNAUD, G. *Teoria dos campos conceituais*. In Nasser, L. (Ed.) *Anais do 1º Seminário Internacional de Educação Matemática do Rio de Janeiro*. p. 1-26. 1993.
- VERGNAUD, G. *Multiplicative conceptual field: what and why?*. In Guershon, H. and Confrey, J. (Eds.) *The development of multiplicative reasoning in the learning of mathematics*. Albany, N.Y.: State University of New York Press. p. 41-59. 1994.
- VERGNAUD, G. Education: the best part of Piaget's heritage. *Swiss Journal of Psychology*, 55(2/3), p 112-118. 1996 a.

- VERGNAUD, G. A trama dos campos conceituais na construção dos conhecimentos. *Revista do GEMPA*, Porto Alegre, Nº 4: 9-19. 1996 b.
- VERGNAUD, G. Algunas ideas fundamentales de Piaget en torno a la didáctica. *Perspectivas*. 26(10). p. 195-207.1996c.
- VERGNAUD, G. The nature of mathematical concepts. In Nunes, T. & Bryant, P. (Eds.) *Learning and teaching mathematics, an international perspective*. Hove (East Sussex), Psychology Press Ltd. 1997.
- VERGNAUD, G. A comprehensive theory of representation for mathematics education. *Journal of Mathematical Behavior*. 17 (2). 167-181. 1998.
- VERGNAUD, G. et al. *Epistemology and psychology of mathematics education*. In Nesher, P. & Kilpatrick, J. (Eds.) *Mathematics and cognition: A research synthesis by International Group for the Psychology of Mathematics Education*. Cambridge: Cambridge University Press. 1990.
- VERGNAUD, G. La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10 (23), p. 133-170. 1990.
- VILLANI, A y PACCA, J. Construtivismo, conhecimento científico e habilidade didática no ensino de ciências. *Revista da Faculdade de Educação da USP*, vol. 23 (1-2), p. 196-214. 1997.
- VIGOTSKY, L. *Pensamiento y Lenguaje. La Pléyade*. Buenos Aires. 1977.
- VOSNIADOU, S. Capturing and modelling the process of conceptual change. *Learning and instruction*, 4(1), p 45-69. 1994.
- WERTSCH, J. *Vigotsky y la formación social de la mente*. Paidós, Barcelona, 1988.
- WERTSCH, J. *Voces de la mente*. Visor. Madrid. 1991.
- WITTGENSTEIN, L. *Philosophical investigation* 195, en BENLLOCH, M. *Desarrollo cognitivo y teorías implícitas en el aprendizaje de las Ciencias*. Visor. Madrid 1997.