

Teoremas-en-acción y conceptos-en-acción en clases de física introductoria en secundaria

Consuelo Escudero¹, Marco A. Moreira² y M^a Concesa Caballero³

¹Departamento de Física, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan, San Juan, Argentina. E-mail: cescude@unsj.edu.ar. ²Instituto de Física, UFRGS, Porto Alegre, Brasil. ³Departamento de Didácticas específicas, Universidad de Burgos, España.

Resumen: En este trabajo se analizan en términos de conocimiento-en-acción (teoremas y conceptos-en-acción) algunas dificultades de los estudiantes al resolver problemas y situaciones, y se desarrolla una metodología para su indagación. Se investiga la resolución de problemas en una forma compatible con la teoría de los campos conceptuales (TCC) de Vergnaud (1983, 1990, 1994, 1998; Moreira, 2002) y se utiliza principalmente el análisis conversacional (Gumperz, 1971; Goffman, 1970) como marco metodológico que permite un estudio privilegiado de los procesos comunicativos involucrados en el aula. El corpus seleccionado para el análisis está fundamentalmente formado por discursos conversacionales en clases de física introductoria en secundaria así como por intercambios correspondientes a la unidad enunciado-solución de problemas, todos relacionados con la descripción del movimiento de objetos en traslación. Se presentan algunos de los invariantes operatorios hallados y se los acompaña con una discusión acerca de su significado en términos del campo conceptual involucrado.

Palabras clave: teoremas-en-acción, conceptos-en-acción, análisis conversacional, aulas de Física, situaciones problemáticas, resolución de problemas.

Abstract: In this paper some difficulties presented by high school students in solving physics problems and situations are analysed in terms of knowledge-in-action (theorems and concepts-in-action), and a research methodology for such a purpose is described. Problem solving was investigated in a way compatible with Vergnaud's conceptual fields theory (Vergnaud, 1983,1990,1994, 1998; Moreira, 2002). Methodologically, the study was conducted mainly in the framework of conversational analysis (Gumperz, 1971; Goffman, 1970). The corpus selected for analysis was formed by conversational discourses in introductory physics classes at high school level as well as by the exchanges corresponding to the statement-solution unit in problems solving, regarding the description of objects in translational motion. Some operational invariants found in the study are reported together with a discussion on its meanings in terms of the conceptual field involved.

Keywords: theorems-in-action, concepts-in-action, conversational analysis, physics classes, problematic situations, problem solving.

Introducción

A pesar de los esfuerzos personales de los docentes, la enseñanza de la física continúa siendo el dictado de contenidos conceptuales y la resolución de ejercicios de aplicación, como si no hubiera una relación dialéctica entre la adquisición conceptual y el desempeño en la resolución de problemas.

Los procesos comunicativos involucrados en el aprendizaje se están privilegiando cada vez más en las investigaciones en Enseñanza de las Ciencias. Este nuevo abordaje se caracteriza por una visión del mundo que contempla al hombre como ser integrado e integrante del contexto en el cual vive y trabaja. Los presupuestos epistemológicos de una perspectiva sociocultural vienen a contribuir en la tentativa de entender la construcción de conocimiento no como una actividad exclusivamente individual, sino inserta en un conjunto de valores sociales y culturales.

Este trabajo forma parte de un estudio más amplio (Escudero y Moreira, 2002a; 2002b; 2003) cuyo objetivo es tratar la resolución de problemas en Física desde el punto de vista de la Psicología del desarrollo cognitivo buscando contribuir a fundamentar la construcción de su nuevo papel en la enseñanza y el aprendizaje de la Física.

La compleja y variada capacidad para resolver problemas –la mayoría de las veces desarrollada lentamente– es una construcción en la que intervienen todas las acciones escolares que se realizan desde que el niño comienza su educación formal.

En este trabajo pretendemos estudiar la resolución de problemas en una forma compatible con la propuesta de la teoría de los campos conceptuales de Vergnaud (1990). Se analizan algunas dificultades de los alumnos al resolver problemas en términos de qué conceptos y teoremas-en-acción están usando los estudiantes y se desarrolla una metodología para su estudio de cara a posibilitar la identificación a partir de una “inmersión en el aula”. La razón de esta búsqueda, se fundamenta en que tales *conocimientos-en-acción* –por mucho tiempo implícitos– pueden funcionar como obstáculos o como precursores en la adquisición de conceptos científicos. Lo que lleva a la necesidad de su identificación, y por tanto, de su investigación y documentación.

La tarea principal relacionada con nuestro trabajo fue la de estudiar el proceso de construcción del saber en un contenido específico de la Física Clásica, la Mecánica, en el nivel de complejidad de enseñanza formal de nivel medio a partir de situaciones de resolución de problemas y tareas en el aula. Nuestro referencial teórico en este estudio es la teoría de los campos conceptuales enfocada a continuación.

Fundamentación teórica

La teoría de los campos conceptuales de Gérard Vergnaud es una teoría psicológica de los conceptos (Vergnaud, 1990:147), una teoría cognitivista del proceso de conceptualización de lo real, como él dice (op. cit.:133). Se trata de una teoría pragmática en el sentido que presupone que la adquisición de conocimientos es moldeada por situaciones, problemas y acciones del sujeto en esas circunstancias (Vergnaud, 1994:42). Es decir,

que por medio de su resolución es que un concepto adquiere sentido para el alumno. Además es una teoría de la complejidad cognitiva, que contempla el desarrollo de situaciones progresivamente dominadas, de los conceptos y teoremas necesarios para operar eficientemente en esas situaciones y de las palabras y símbolos que pueden eficazmente representar esos conceptos y operaciones para el individuo, dependiendo de su nivel cognitivo (43).

El objetivo de esa teoría es el de ofrecer un referencial que permita comprender las continuidades y rupturas entre conocimientos –en los estudiantes– desde el punto de vista de su contenido conceptual, entendiéndose como conocimiento tanto el saber hacer como el saber expresar (1990:135).

En 1982, Vergnaud se refería a *campo conceptual* como "...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. Por ejemplo, los conceptos de multiplicación, división, fracción, razón, proporción, función lineal, número racional, similaridad, espacio vectorial y análisis dimensional pertenecen todos a un gran campo conceptual como es el de las estructuras multiplicativas." (40)

A pesar del uso abundante del término "estructuras" la teoría de los campos conceptuales no es una psicología cognitiva centrada en las estructuras lógicas como la de Piaget. Su teoría es, sobre todo, una psicología de los conceptos (1990:147) y deriva de que no se puede evidenciar y analizar las dificultades halladas por los alumnos si no se tienen en cuenta la especificidad del contenido involucrado y si no se toma en serio el proceso de conceptualización de lo real en el que está "sumergido" el sujeto (1983:392).

Vergnaud considera que un concepto es un triplete de tres conjuntos (Vergnaud, 1983a:393; 1990:145; Franchi, 1999:173): $C = (S, I, L)$ donde

S: conjunto de situaciones que le dan sentido al concepto (el referente);

I: conjunto de invariantes operatorios asociados al concepto (el significado);

L: conjunto de representaciones lingüísticas y no lingüísticas que permiten representar simbólicamente el concepto, sus propiedades, las situaciones a las que él se aplica y los procedimientos que de él se nutren (el significante).

En otras palabras que:

"Estudiar el desarrollo y el funcionamiento de un concepto, durante el aprendizaje o en su utilización, es necesariamente considerar estos tres planos a la vez. No hay, en general, biyección entre significantes y significados, ni entre invariantes y situaciones. No podemos pues reducir el significado ni a los significantes ni a las situaciones" (Vergnaud, 1990:146).

Vergnaud asigna al término *situación* un significado limitado¹, el de tarea o problema a resolver, pero amplio y variado a la vez. Para él, son las situaciones las que le dan sentido a los conceptos y el sentido no está en las situaciones en sí. Un concepto se vuelve significativo para el sujeto a través de una variedad de situaciones y de diferentes aspectos de un mismo concepto que están envueltos en dichas situaciones. Al mismo tiempo, una situación no puede ser analizada a través de un único concepto, se necesitan varios de ellos. Esta es la razón por la que deben estudiarse los *campos conceptuales*, y no situaciones aisladas o conceptos aislados (1994:46).

El sentido es una relación *del* sujeto –de sus conocimientos– con las situaciones y con los significantes (Vergnaud, 1990:158). Más precisamente, al *sentido* lo constituyen no sólo los *esquemas* evocados en el sujeto por una situación o por un significante sino que surge de la relación *entre* lo que cada individuo es capaz de hacer y/o de expresar frente a ciertas situaciones en función de los esquemas de que dispone. Por ejemplo, el sentido de aceleración para un determinado sujeto es lo que es capaz de hacer y/o de expresar con los *esquemas* que tiene al lidiar con las situaciones que le proporcionan y que implican la idea de aceleración. Es también lo que es capaz de hacer y/o de expresar con los *esquemas* que tiene al operar con símbolos numéricos, algebraicos, gráficos y lingüísticos que representan la aceleración.

Vergnaud llama esquema a una *organización invariante del comportamiento para una determinada clase de situaciones* (1990:136; 1994:53; 1996c:201; 1998:168). No es el comportamiento el que es invariante sino la organización del comportamiento. Por tanto, un esquema es un universal que es eficiente para toda una gama de situaciones que puede generar diferentes secuencias de acción, de recolección de información y de control, dependiendo de las características de cada situación particular (1998:172).

Los componentes de los esquemas según Vergnaud (1990:136; 1994:46; 1996b:11) son:

a) *Anticipaciones del objetivo* a alcanzar, de los efectos a esperar y de las eventuales etapas intermedias.

b) *Reglas de acción* del tipo “si...entonces” que permiten generar la secuencia de acciones del sujeto; es decir, reglas de búsqueda de información y control de los resultados de la acción;

¹La idea de *situación* de Vergnaud puede aceptarse limitada en el sentido de que no se entiende como una *situación didáctica fundamental* al estilo de Brousseau. Vergnaud prefiere expresarse en plural, hablar de varias situaciones, la pluralidad transforma a la situación en menos fundamental y en alguna medida evita un aplicacionismo de los resultados de la investigación psicológica en el dominio de la enseñanza. Sin embargo, es cierto que en la historia de la ciencia se puede ver la existencia de ciertos problemas que los científicos se plantearon en cierto momento y que no fueron vistos por otros, resultando siempre inspiradora. Además para Vergnaud la idea de *situación* es lo suficientemente “indefinida” como para incluir bajo ella problemas, tareas, preguntas, tanto las tradicionalmente escolares como las que están fuera de ese ámbito a condición de que permitan llevar a los estudiantes a interrogarse sobre determinadas relaciones complejas y especialmente sobre la coherencia del sistema en estudio.

c) *Invariantes operatorias* (...) que dirigen el reconocimiento de los elementos pertinentes de la situación y la toma de información sobre la situación a tratar. Son los conocimientos contenidos en los esquemas.

d) Posibilidades de *inferencias* (o razonamientos) que permiten "calcular" –aquí y ahora– las reglas y anticipaciones a partir de las informaciones e invariantes operatorias de los que dispone el sujeto.

De éstos componentes, las invariantes² operatorias, cuyas categorías principales son los *teoremas* y *conceptos-en-acción*, constituyen la base conceptual implícita que permite obtener la información pertinente y, a partir de ella y de los objetivos a alcanzar, inferir las reglas de acción más adecuadas (1996c:201).

Resulta pertinente resaltar que la noción de esquema reviste un gran interés teórico y que dicho interés reside en el hecho de que establece el vínculo imprescindible entre la conducta y la representación –y consecuentemente, la conceptualización–. Para Franchi (1999:165) la ausencia de una conceptualización adecuada está en el origen de los errores sistemáticos cometidos por los alumnos. Pero son las *invariantes operatorias* las que articulan teoría y práctica, es decir, las que hacen la articulación esencial, ya que la percepción, la búsqueda y la selección de la información se basarían completamente en el sistema de *conceptos-en-acción* disponibles en el sujeto (objetos, atributos, relaciones, condiciones, circunstancias) y de *teoremas-en-acción* subyacentes a su conducta (ibidem).

Un teorema-en-acción es una proposición considerada como verdadera sobre lo real; un concepto-en-acción es una categoría de pensamiento considerada como pertinente (1996c:202; 1998:167).

Estos conocimientos, obviamente, no aparecen al modo de su formulación matemática o física, sino que son utilizados en la acción y en la resolución de problemas. Vergnaud los denomina así mostrando su similitud con las correspondientes categorías del pensamiento tal y como son definidas desde la lógica, pero acentuando aquí su carácter implícito: "*La invariante operatoria implica la construcción de objetos estables de pensamiento que permiten engendrar las reglas de acción del sujeto*" (Ricco, 1994).

El conocimiento intuitivo contenido en la conducta está formado por invariantes operatorias. Ellos son la parte "conceptual" de los esquemas, independientemente de ser implícitos o explícitos, conscientes o inconscientes. Si un esquema se aplica a una clase de situaciones, debe contener invariantes operatorias relevantes a toda la clase (Vergnaud, 1994:54).

Los conceptos-en-acción son componentes necesarios de los teoremas-en-acción, pero son distintos de ellos. Mientras las proposiciones pueden ser

²Como puede observarse, el sentido en el que Vergnaud utiliza el término "invariante" no es idéntico al de Piaget. Las invariantes objeto de las investigaciones de Piaget son propiedades cuantitativas que pueden concebirse como estables a partir de la construcción de estructuraciones lógicas generales. Las invariantes señaladas por Vergnaud, en cambio, aparecen fuertemente ligadas a los contenidos de enseñanza: "Vergnaud postula que en los contenidos escolares hay invariantes que hacen que un concepto sea una cosa y no otra" (1983).

verdaderas o falsas, los conceptos sólo pueden ser relevantes o irrelevantes. No hay proposiciones sin conceptos. Por tanto, hay una relación dialéctica entre conceptos-en-acción y teoremas-en-acción, los conceptos son componentes de los teoremas y los teoremas son proposiciones que dan a los conceptos su contenido. Sería un error confundirlos (Vergnaud, 1998: 174).

La teoría de Vergnaud hasta ahora se ha utilizado principalmente como referencial para la educación matemática. Nada más natural que las investigaciones que sustentan su teoría hayan focalizado el aprendizaje y la enseñanza de las estructuras aditivas y multiplicativas, principalmente. No obstante, como ya se dijo (Moreira 2002), esa teoría no se restringe a la Matemática. En la Física, por ejemplo, hay muchos campos conceptuales que no se pueden enseñar inmediatamente, ni como sistemas de conceptos ni como conceptos aislados. El estudio del aprendizaje de la Mecánica, de la Electricidad, de la Termodinámica –entre otros– requiere de estudios de dominio progresivo de los campos conceptuales. El campo de la Mecánica, por ejemplo, integra el campo conceptual de la Física Clásica.

Nuestro interés en esta investigación se centra en la cinemática del movimiento físico. Para investigar cómo los alumnos llegan a dominarlo tenemos, en primer lugar, que identificar los *conceptos-en-acción* (categorías de pensamiento pertinentes) y los *teoremas-en-acción* (proposiciones tenidas como válidas) que ellos usan para abordar situaciones relacionadas a dicho campo. Para después diseñar nuevas situaciones que permitan el desarrollo de nuevos conceptos-en-acción y teoremas-en-acción que progresivamente, lleven al desarrollo de nuevos conceptos y teoremas físicos adecuados al tratamiento de ese tipo de situaciones.

Obviamente, los teoremas y conceptos de los estudiantes no son los conceptos y los teoremas explícitos del saber físico, sino conocimiento implícito. Es decir, no son los mismos que esperamos que usaran en términos de la Física. Se trata de conocer lo que “tienen” o “consiguen poner en juego” para proponer situaciones que mejor articulen la evolución entre los conceptos y teoremas de que dispone con aquellos que queremos que construya.

Se trataría de un proceso que puede llevar mucho tiempo, años tal vez. Por eso, nuestra investigación se limita a una pequeña parte del ciclo de investigación del abordaje canónico del estudio de un campo conceptual: la identificación de teoremas-en-acción y conceptos-en-acción que los alumnos usan para abordar situaciones específicas relacionadas con la descripción del movimiento de objetos en traslación en física introductoria.

Propuesta didáctica

Toda vez que se proponga intervenir en el aula para provocar una reacción, hemos de buscar ciertas condiciones que favorezcan el aprendizaje. Ya sabemos que toda condición será insuficiente si no existe la posibilidad de generar un clima de trabajo que al menos contemple los requisitos mínimos.

Se ha utilizado fundamentalmente esta propuesta didáctica con el fin de lograr la consolidación de algunos contenidos procedimentales y de llevar a los alumnos a reflexionar sobre el conocimiento. Dicha propuesta fue descrita en detalle en otros trabajos (Escudero y Moreira 2002a, 2002b, 2003) y se la ha denominado "*Interacción Conceptualizadora*".

Interacción desde toda la significación que tiene el término en física –que hay dos partes (cuerpos) en juego, que se modifican entre sí aunque no de la misma forma, etc.– pero, ampliada ya que supone un origen social al conocimiento a través de la dimensión intrínsecamente interactiva del lenguaje oral y escrito, expresada en las relaciones de los participantes en la clase³.

Conceptualizadora en la creencia de que no se pueden evidenciar ni analizar las dificultades encontradas por los alumnos si no se tiene en cuenta la especificidad de los contenidos y el carácter procesual de la misma –en la medida en que el sujeto está implicado–. En otras palabras, se busca un acercamiento a la génesis de la conceptualización.

Este estudio se ha basado en tres meses de trabajo de campo –a razón de un módulo y medio por semana⁴– de la secuencia del programa de Física de cuarto año en un colegio del gran San Juan (Argentina). Las edades de los estudiantes oscilan entre 15 y 17 años.

Considerando el referencial teórico reseñado y la situación interaccional que presupone un aula, defendemos que para que se puedan generar ayudas para la práctica de la enseñanza de la física en el estudio e investigación de la resolución de problemas se debe adoptar la idea de interlocución o diálogo en los procesos comunicacionales del aula, lo que implica, centrarse en una situación de interacción social en función de un campo conceptual particular de la Física y del análisis de esos procesos.

Marco metodológico

En las investigaciones etnográficas interpretativas se utilizan como criterio básico de validez los significados locales de las acciones desde el punto de vista de los actores (Erickson, 1989: 196). Esta perspectiva se diferencia de las que parten de categorías o modelos predefinidos por el analista para estudiar cómo operan en la interacción. Se busca determinar, frente a cada contenido, las propiedades y relaciones que lo definen, para luego poder buscar la historia de su aprendizaje, en el uso y dominio progresivo que de ellas va logrando el estudiante al resolver problemas a través de cómo negocian sus versiones sobre el conocimiento científico: si las argumentan, complementan o comparten en la interacción discursiva.

Las habilidades lingüísticas de los niños y adolescentes, abren una ventana muy directa para conocer cuándo y hasta qué punto dominan un determinado campo conceptual. Los estudios tradicionales sobre el desarrollo se han llevado a cabo mayoritariamente con sujetos menores de

³Para que haya verdaderamente interacción, y no se esté solo en presencia de individuos que hablan, se deben reunir varias condiciones: los locutores deben aceptar un mínimo de normas comunes, empeñarse en el trueque, asegurar conjuntamente su gestión, produciendo señales que permitan mantenerla, sincronizando el uso de la palabra con la de sus gestos, etc. (Maingueneau 1996:60)

⁴ En la provincia de San Juan (Argentina) el módulo de clase tiene una duración que media entre 70 y 80 minutos. Por tratarse de una escuela de turno vespertino este tiempo es menor, 70 minutos.

15 años. Por tanto en este trabajo se han tomado algunos elementos de dichos estudios y se han ampliado con otras estrategias de indagación, como por ejemplo el análisis conversacional.

Desde una aproximación de carácter lingüístico, el estudio de la "conversación" se centra en los aspectos gramático-textuales del discurso conversacional. Pueden diferenciarse tres posiciones: Lingüística textual, Análisis del discurso (Escuela de Birmingham) y Análisis Pragmático del Discurso (Escuela francesa). Estos enfoques a pesar de las diferencias, presentan ciertas coincidencias remarcables, a saber:

a- Valorizan la conversación como un objeto privilegiado para abordar otros problemas: orden social, comportamiento lingüístico, intercomprensión humana, relación lenguaje-contexto sociocultural, estrategias discursivas, etc.

b- Muestran que la conversación cotidiana –aparentemente desordenada– funciona de acuerdo con ciertas normas que pueden ser descriptas.

c- Vuelven, desde un punto de vista metodológico, en cierto modo, a un empirismo que guarda semejanza con las teorías estructuralistas en la medida que se parte de materiales registrados, se realizan inventarios de unidades, se buscan las regularidades y se estudian las relaciones de los elementos de la secuencia por sus compatibilidades y se los categoriza según relaciones de contraste (Berenguer, 1997).

En sentido lato, una *conversación* puede referirse a todas las situaciones de interlocución, desde el intercambio espontáneo en familia a la conferencia empresarial. La mayoría de las veces es en esta acepción que se utiliza el término cuando se habla de análisis conversacional (Maingueneau, 1996).

La Sociolingüística considera la lengua "*com un element integrant de la realitat social i cultural dels pobles alhora que com un símptoma d'aquesta mateixa realitat*" (Casamiglia y Tuson 1991; citado en Berenguer 2001:16). Decide estudiar el comportamiento verbal en relación con los factores sociales y culturales de los hablantes intentando descubrir sus regularidades.

Según John Gumperz la competencia comunicativa es todo aquello que el hablante necesita saber para comunicarse con eficacia en contextos culturalmente significativos. Por lo tanto, saber hablar –y escribir⁵– supone no sólo conocer las reglas formales de la lengua (competencia lingüística) sino usarlas en forma adecuada a las intenciones del hablante y a las circunstancias en que tiene lugar la interacción. Estas normas adquiridas por las personas durante el proceso de socialización hacen que "el habla"⁶ como fenómeno social funcione también como un sistema gobernado por patrones y reglas. De este modo, los niveles estructurales de la lengua se

⁵Complemento y destaque del autor de este trabajo.

⁶El universo de análisis es la "comunidad de habla" (speech community) a la que Gumperz define como "any human aggregate characterized by regular and frequent interaction over a significant span of time and set off from others aggregates by differences in the frequency of interaction" (Gumperz, 1971: 151). Cada comunidad –incluida la científica– tiene su "repertorio verbal" noción que remite a "the totality of linguistic forms regularly employed in the course of socially significant interaction" (152).

integran al estudio de la actuación lingüística vinculándola a factores socio-culturales. (Berenguer 2001:17)

Gumperz señala que la estructura del repertorio verbal difiere de la gramática de la lengua por cuanto incluye las distintas formas alternativas aceptadas (registros o lenguas diferentes) que reflejan las diferencias contextuales y sociales en el habla. (...) En relación con esta noción, la interacción lingüística es concebida como el proceso de selección que un hablante, de acuerdo con su propósito comunicativo, realiza de ese conjunto de formas posibles. (ibidem)

Como unidad básica para el análisis de la interacción verbal postulan "el acontecimiento del habla o acto de habla" (speech event). *"The speech event is to the analysis of verbal interaction what the sentence is to grammar"* (Gumperz, 1988: 17) Esta es una categoría general y abstracta limitada por secuencias rutinarias de apertura y cierre reconocidas por los hablantes de una comunidad. (ibidem)

El método de documentación de datos consiste fundamentalmente en la observación participante; elaboración de registros de trabajo de campo; diarios; reconstrucciones, a partir de la memoria, de los elementos presentes en la situación; codificación sistemática del material. El proceso analítico, que abarca desde qué mirar y qué registrar hasta la contrastación y explicitación, es cualitativo en la medida que se ponen en relación componentes sobre todo lingüísticos para interpretar los procesos interactivos.

La pragmática estudia las relaciones entre los signos y sus usuarios o más precisamente, el empleo que hacen los hablantes del sistema. La pragmática lingüística se desarrolla con los filósofos analíticos (Austin y Searle) y sus trabajos sobre los actos de habla y con las hipótesis de Grice sobre el funcionamiento de los intercambios conversacionales. Para esta disciplina el lenguaje es una forma de acción (idea que se opone a la concepción informativa de la lengua⁷). De este modo, la actividad lingüística se inscribe en los espacios institucionales, ya que los actos de habla ponen en juego convenciones que regulan intencionadamente las relaciones y los roles de los hablantes en la actividad lingüística.

Centradas, asimismo en el discurso como objeto de estudio, aparecen en la década del 60 las teorías del Análisis del Discurso (AD).

Tanto el término discurso como el de AD remiten a la consideración de la lengua no ya en el sentido de sus propiedades formales sino al modo en que, puesta en funcionamiento en una instancia de enunciación, es productora de significación. El discurso es, por lo tanto, concebido como una unidad semántica organizada y cohesionada por una red de relaciones. Según Salvador (1990; citado en Berenguer 2001: 20) *"la superació del marc oracional ha representat gairabé un gir copernicà. I no tant pel que implica l`ampliació de l`extensió sintagmàtica de la unitat d`anàlisi com pel que comporta el canvi d`orientació: de l`artefacte estàtic al dinamisme evanescent del procés"*. Pues los discursos son procesos dinámicos que

⁷A diferencia de F. de Saussure que considera la enunciación como un suceso único e individual, los pragmáticos reconocen en los actos de habla esquemas generales enunciativos que revelan el sistema de la lengua.

tienen lugar en el tiempo y a través de los cuales, en la medida que suponen encuentros sociales, los hablantes intercambian significados que integran el sistema social.

Corpus

El corpus sobre el que se ha efectuado el análisis es relativamente heterogéneo en lo que se refiere a las situaciones de interacción (verbal y no) consideradas y aparentemente en cuanto a los contenidos conceptuales y procedimentales profundizados, revisados, introducidos, etc. Frente a esta heterogeneidad, el principio de homogeneidad está dado por el hecho de que el material lingüístico del corpus ha surgido de una intensa observación participante realizada a un grupo de alumnos de nivel medio con los que se ha interactuado en diversas circunstancias en un mismo campo conceptual y de una amplia experiencia y registro en cursos de física básica universitaria.

En ocasiones y siempre que ha sido posible se ha usado además en la investigación –como elemento de control– para establecer la *credibilidad* de un estudio cualitativo un conjunto de recursos técnicos (Erlandson y otros, 1993 apud Valles, 1999):

- triangulación de datos, métodos e investigadores;
- acopio de documentación escrita, visual propia del contexto;
- discusiones con colegas;
- cuadernos de campo y diarios de investigación.

Muestra

En esta investigación las decisiones muestrales se han ido tomando sin perseguir la representación estadística. Más que esta generalización, el objetivo del estudio se centra en la búsqueda de elementos que nos proporcionen criterios acerca de la posesión o el desarrollo de la conceptualización de ciertos campos conceptuales y en el desarrollo de conceptos con los que entender mejor la presencia y el significado de los conocimientos-en-acción en la resolución de problemas y tareas en el aula de física.

La *transferibilidad* se logra, sobre todo, a través de procedimientos de *muestreo cualitativo* (muestreo teórico, muestreo conceptualmente conducido, etc.) en contraposición a los procedimientos cuantitativos de *muestreo probabilístico*. Aquí se practica el muestreo secuencial conceptualmente-conducido; término acuñado por Miles y Huberman (1994; citado en Valles 1999), quienes sintetizan el mensaje contenido en la obra clásica de Glaser y Strauss (1967) así:

Las muestras en los estudios cualitativos no están generalmente preespecificadas, sino que pueden evolucionar una vez comenzado el trabajo de campo". Y añaden esta reflexión: "Las elecciones iniciales de informantes te guían a otros informantes similares o diferentes; el observar un tipo de suceso invita a la comparación con otro tipo; y el entendimiento de una relación clave en un contexto revela aspectos a

estudiar en otros. Esto es muestreo secuencial conceptualmente-conducido.

Se han tenido en cuenta para este trabajo básicamente dos tipos de datos⁸:

a. discursos conversacionales en sentido estricto.

b. intercambios también auténticos, pero en sentido lato, correspondientes a la unidad *enunciado-solución* de dos problemas de física introductoria en secundaria para cada estudiante de un curso de 4º año.

a. Los discursos conversacionales fueron registrados durante tres meses de clase durante el año 2000 en un curso de 4º año en un Colegio del gran San Juan. El discurso incluye tanto la comunicación oral como la escrita entre los participantes y se analiza principalmente para estudiar en él precisamente los procesos de construcción del conocimiento y las características del contexto de interacción discursiva que lo propician.

Se entiende por características del contexto de interacción discursiva a la estructura del discurso, a su contenido académico y a la relación de las tareas educativas con la forma de interacción social. Como referente teórico para estudiar las prácticas discursivas en el aula se toma lo que Austin (1981) llama actos de habla en referencia a las acciones que realiza una intervención, pero se considera el habla como acción situada en un contexto discursivo natural, a diferencia de Austin, quien sólo analiza situaciones inventadas. Por lo tanto en el análisis del discurso se estima tanto el contenido informativo de las intervenciones como la función o acción que llevan a cabo en el contexto del aula.

La conversación además de presentarse como una sucesión de turnos de habla, en su dimensión discursiva (semántico-pragmática), constituye una estructura jerárquica formada por unidades de diferente rango que se relacionan con ciertas reglas de organización. Por lo tanto, desde un punto de vista estructural, sólo consideraremos como unidades pertinentes el intercambio > la intervención > y el acto. (Berenguer, 2001: 75)

Para algunos investigadores (Berenguer 2001: 26) la descripción de un discurso oral impone como paso previo realizar su transcripción con el objeto de trabajar con un dato visual, estable y más dúctil para el análisis. Sin embargo, el código escrito no es fiel a las características de la oralidad. Especialmente la tarea de transcripción del discurso conversacional se enfrenta, primero, con dificultades de comprensión y problemas de discriminación auditiva, debido sobre todo a los solapamientos y a las propias limitaciones en la capacidad de percepción. Se producen fácilmente omisiones y se pierde información no sólo de carácter lingüístico y para lingüístico (pausa, ritmo, matices de voz) sino también gestual.

Además, según nuestros presupuestos y nuestras búsquedas, más orientadas hacia el contenido o la expresión, sólo tomamos del material lingüístico empírico aquello que nos parece relevante para nuestros propósitos. De modo que la transcripción, tal como lo expresa V. Salvador

⁸Nuestra selección tiene antecedentes en otros trabajos (Berenguer, 2001; Brandi et al, 2001) que utilizan el análisis conversacional en áreas tan variadas como el estudio del relato coloquial en catalán y español o el análisis del conocimiento escolar y la cultura institucional.

(1990; citado en Berenguer 2001:26), "*és una primera interpretació de les dades, realitzada des d'uns pressupòsits teòrics més o menys implícits – concretament el que filosofia de la ciència s'anomena teoria de baix nivell, corresponet, per exemple, al que representa el microscopi o altres instruments de medició en les ciències físico-químiques i biològiques-, una teoria que condiona o filtra la percepció de la realitat empírica, que en selecciona les dades pertinents i les articula de bell nou*".

Es decir, en las ciencias humanas y sociales de la misma forma que en las ciencias fácticas hay una interpretación y selección de los datos a cargo del investigador.

b. La elección de la segunda fuente de datos responde a la necesidad de enriquecer el *corpus de base* con otro tipo de textos con características similares al discurso conversacional para comprobar si, en líneas generales, en la resolución individual, se cumplen las mismas restricciones estructurales e interaccionales que en las conversaciones propias de la interacción comunicativa en el aula. Desde nuestro interés, la unidad enunciado-solución, constituye un objeto adecuado a estos fines, ya que, si bien en él no se dialoga como en la conversación diaria, presenta una estructura similar: una estructura de intercambios que están a cargo de distintos participantes, bajo un mismo contenido específico, están próximos en el espacio y en el tiempo y mantienen relaciones de "convivencia" y provistas de una finalidad instrumental –las intenciones están dirigidas a un "otro" –. El P (profesor) selecciona un enunciado para ese curso, para esos contenidos, etc. y el A (alumno) presenta la solución buscando aprobar, aprender, etc.

Nuestra selección también tiene fundamentos teóricos: creemos, apoyándonos en las posiciones de algunos autores como Coulthard (1985), Tannen (1989), Berenguer (1997), Berenguer (2001), Brandi et al. (2001), que el marco de trabajo que ofrecen el Análisis Conversacional, La Pragmática Lingüística y el Análisis del Discurso puede ser aplicado con resultados positivos en el estudio y la caracterización del lenguaje –en este caso algebraico, natural, gráfico– del discurso escrito en el aula, en particular en un contexto de evaluación individual. En nuestro caso, siendo conscientes de que las convenciones y restricciones (interaccionales, estructurales y secuenciales) que controlan los mecanismos de intercambio conversacional son objeto de "manipulación" o seducción por los autores tanto de la evaluación como de la solución del problema, los conceptos y principios propuestos para el análisis de conversaciones reales resultan pertinentes.

La incorporación de datos registrados en este tipo de interacciones se justifica por el hecho de que les interesaba a los autores corroborar la presencia del plano intermental ahora en el intramental, como así también su configuración estructural y su valor en encuentros de carácter evaluativo. Estas situaciones de evaluación se constituyen en fuente de numerosos ejemplos de *conocimientos-en-acción* y argumentos que los participantes utilizan.

La selección de los problemas se realizó en base al carácter representativo de la cultura escolar en ciencias, especialmente por el necesario uso del lenguaje natural, algebraico y/o gráfico en la resolución

de problemas de física en secundaria y porque pueden permitir el desarrollo de concepciones y operaciones básicas que reaseguren un aprendizaje de calidad.

Se ha analizado para este estudio principalmente la resolución escrita de 38 estudiantes en ocasión de una evaluación de dos situaciones problemáticas utilizadas en ella:

b1. de caída en un campo homogéneo, y

b2. de dos movimientos sucesivos de traslación en una trayectoria rectilínea.

Dicha evaluación ha constado de cinco ítems y ha abarcado los tópicos de movimientos: rectilíneo uniforme y uniformemente variado. Aunque en ocasiones se hacen referencias a situaciones similares vivenciadas por alumnos universitarios en su primer curso de física.

La evaluación concebida como fuente de información, guía y orientación nos permite tratarla como un intercambio en cada uno de los ítems planteados, es decir como unidad característica de la conversación ya que requiere de la presencia de dos protagonistas como mínimo y donde cada uno de ellos realice al menos una contribución lingüística. En tanto unidad constituida el intercambio está compuesto de intervenciones, y estructuralmente su existencia se basa en una relación de determinación entre sus constituyentes: el primero es condicionante (crea las obligaciones para el segundo), y el segundo es condicionado (debe satisfacer tales obligaciones) (Berenguer 2001). Consideremos la siguiente situación propuesta a los alumnos del presente estudio donde la respuesta de uno de ellos acompaña al enunciado:

(1)

a) ¿Podrá ser que un objeto que cae a razón de 8m/s, tarde 0,8 s en llegar al piso? Justifique su respuesta. Considere $g = 10\text{m/s}^2$.

b) ¿Habrá recorrido 3, 2 metros?

$$h = \frac{1}{2} g t^2 \quad \text{Yesica}$$

$$h = \frac{1}{2} \cdot 10 \text{ m/s}^2 \cdot 0,8^2 \text{ s}$$

$$h = \frac{1}{2} \cdot 10 \text{ m/s}^2 \cdot 0,64 \text{ s}^2 \quad /$$

$$h = \frac{1}{2} \cdot 6,4 \text{ m}$$

$$h = 3,2 \text{ m}$$

b- (Si recorrió 3,2 metros)

En (1) es evidente que las preguntas de P crean una obligación en A, en cada A, en lo individual, cuya respuesta depende de la intervención de P así como del compromiso de A, entre otros factores. En particular Jesica resuelve parcialmente el problema, sólo plantea correctamente la distancia recorrida para realizar la verificación y omite su concepción de movimiento, señalando de esta manera el lugar donde necesita apoyo específico. En este típico par adyacente: *pregunta-respuesta*, el encadenamiento entre las contribuciones es más restrictivo y obligatorio que en otras situaciones de

intercambio, más convencionales, otorgándole otro carácter. El lenguaje "acordado" en el que se expresa la solución es uno de ellos.

Con la inclusión de las situaciones y a partir de la idea piagetiana del conocimiento como adaptación progresiva en un interjuego dialéctico, la teoría de los campos conceptuales (TCC) hace aparecer con toda su fuerza el papel de las situaciones o problemas, tanto de naturaleza práctica como teórica. Así los conceptos se forman en respuesta a problemas que los requieren como medios o recursos de solución. Acordamos con Quaranta (1997) que el análisis de la tarea a la cual se enfrenta un estudiante es de capital importancia.

Análisis y discusión de resultados

Se han seleccionado episodios de las clases y/o de los enunciados de problemas y de sus respectivas soluciones para ilustrar la presencia de algunos conocimientos-en-acción relacionados con la descripción del movimiento de objetos. Se optó por acompañar la presentación de tres invariantes operatorias seleccionadas para este trabajo con una discusión acerca de su significado en términos del campo conceptual involucrado:

I) El primer sistema de referencia (SR) es el "observador" mismo junto con su entorno inmediato y su bagaje cultural.

II) Si un móvil tiene velocidad (o rapidez) en un determinado instante es porque lleva un tiempo moviéndose" o "El análisis de un movimiento comienza siempre desde el reposo.

III) Si la aceleración de un móvil es negativa, él va hacia atrás.

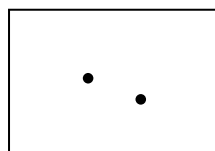
1) El primer sistema de referencia (SR) es el "observador" mismo junto con su entorno inmediato y su bagaje cultural"

A continuación se transcribe un episodio extraído de una de las clases registradas perteneciente al corpus base de datos que da cuenta de conocimiento puesto en acción.

(2)

La profesora dicta la actividad N° 1: "Confeccione un sistema de referencia con el que se puedan ubicar los dos puntos marcados en la hoja lisa."

[La profesora reparte una hoja lisa como la que se muestra en la que se han marcado dos puntos]



Luego de haber hecho la tarea en grupos y de haber copiado en el pizarrón algunos sistemas de referencia propuestos por los estudiantes, continúa el intercambio para toda la clase de la siguiente manera:

33- P: ¿Todos estos serán sistemas de referencia?⁹

34- A: Sí.

35- P: Cada uno podrá orientar mejor o peor, no importa... ¿Qué les parece? ¿Cómo será el sistema de referencia? Si cada grupo eligió uno. ¿Serán impuestos o podrán elegirlos?

36- A: Puede elegir.

37- P: En la vida diaria las personas elegimos distintos sistemas de referencia ... Si hablamos de cosas físicas ¿con qué elegimos el tamaño?

38- A: Metro.

39- P: ¿Con respecto a qué medimos los tamaños?

40- A₁: A la suposición.

41- A₂: A los puntos de vista.

42- P: Estamos hablando de objetos.

43- A: Por la distancia.

44- P: ¿Con respecto a qué?

45- A: Al lugar.

46- P: ¿Al lugar de qué?

47- A: Donde estamos nosotros.

48- P: Elegimos el sistema de referencia respecto a nosotros, siempre nos elegimos nosotros ... ¿Qué pasaría en física si cada uno elige un sistema de referencia?

49- A: Que nada sea exacto.

50- P: Claro, no habría manera de entenderse. Hay que elegir convencionalmente un sistema de referencia de acuerdo a ciertas pautas o normas ... Para hablar en el mismo idioma, debemos elegir un sistema de referencia ... Se acuerdan qué pregunté, ... si podían definir un sistema de referencia y quedó sin contestar ... ¿Ustedes se animarían a definir sistema de referencia?

Clase 4-08-00, 4° año

En el turno de habla N° 35 del intercambio (2) en que interaccionan P y As (alumnos), P aporta básicamente el acto de discurso de petición de transformar la interrogación¹⁰ en aserción. Algunos alumnos van tomando la palabra intentando transformar la interrogación en aserción, aportando

⁹Los números 33, 34 y siguientes en esta transcripción representan turnos de habla de los participantes en la clase con fecha 04-08-00 del 4° año en estudio. Dichos números señalan que la misma es de interés que comience a transcribirse una vez ya comenzada. De hecho, se dispone del material anterior y posterior al presentado.

¹⁰El aspecto interaccional del proceso discursivo que se ha desarrollado en las clases ha sido abordado ampliamente en otro trabajo (Escudero y Morera 2003) donde se ha privilegiado el tratamiento del espacio aúlico y el tipo de intercambio predominante en él: el interrogatorio. Este intercambio "se caracteriza porque expresa una carencia en el nivel del proceso de referencia del enunciado, y esto da al acto de habla la función de demanda de información. Es decir que a través de la pregunta, el hablante busca subsanar una carencia de información e indica al interlocutor que resuelva tal incertidumbre asignándole al enunciado un valor veritativo" (Brandi et al 2001: 71).

contenidos al acto por momentos muy alejados de la idea que P quiere trabajar en el aula. Los participantes del intercambio intentan “construir” una aserción común y “reconocer” el aporte de P. Finalmente P logra encauzar mínimamente la construcción. El turno 49 es prueba de ello.

En consecuencia, la aserción común construida por ambos hablantes en este caso es: *Si cada uno en física elige un sistema de referencia nada sería exacto y no podríamos entendernos.*

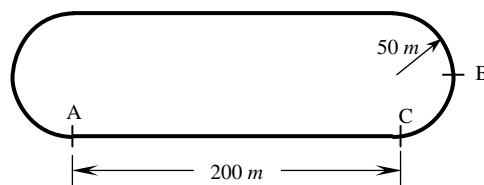
Notar que en el mismo turno el P retoma la pregunta inicial acerca de la definición de sistema de referencia. Indudablemente P no busca satisfacer un déficit en su información y la estrategia lingüística –con la inferencia indirecta en la base del repertorio (Gumperz 1988)– sirve a otros fines comunicativos, específicamente pedagógicos: el de controlar el nivel de la comprensión del interlocutor, es decir, la información o el conocimiento que posee A.

Como se puede observar en (2) afloran cantidad de representaciones de los estudiantes relacionadas con los modos de referir, de suponer, relacionados con lugares, vehículos en movimiento, etc. donde el “observador” permanece. Muy vinculado a esto aparece la elección implícita de SR en movimiento. Con cierta frecuencia los estudiantes tienden a elegir de todos los SR posibles aquellos que no son necesariamente inerciales.

Incluso tenemos registros de A que inician estudios universitarios en Física que al resolver problemas, por ejemplo, como el siguiente:

(3)

En $t = 0$, un automóvil parte del reposo en el punto “A”. Se mueve hacia la derecha y su aceleración es de $0,3 \text{ m/s}^2$ en la dirección del movimiento. Cuando el móvil llega al punto C su rapidez pasa a ser constante. Halle el valor del coeficiente de fricción necesario para recorrer la curva.



Implícitamente resuelven (3) interpretando “a la derecha” desde un SR solidario al automóvil “que toma la curva a la derecha”. En consecuencia, recorre el circuito en sentido horario, ocasionándole relativas dificultades para su resolución y que evidentemente tampoco estaban en la previsión del evaluador. No se trata sólo de una dificultad lingüística o de que los A buscan el costado complicado de los problemas, sino que la *situación* planteada saca a la luz conocimiento-en-acción. Interrogados los estudiantes sobre esta forma tan particular de interpretar “a la derecha”, una respuesta frecuente es: *“Pero si va en el auto, dobla a la derecha siguiendo la línea curva”*, en tono de demanda.

En términos del campo conceptual referido a la descripción básica de movimientos se evidencia aquí el siguiente teorema-en acción: “El sistema

de referencia preferido será el que tenga mayor conexión con nosotros (desde donde estemos, desde donde tengamos más experiencia)", el cual se relaciona con el sentido que Vergnaud le asigna al concepto de "situación" a través de dos ideas principales –la de variedad y la de la historia–, en este caso ciertamente la segunda: el rol de la *historia* que la gente tiene en la construcción de los conceptos.

Los conocimientos de los alumnos fueron elaborados (o "trabajados") por las situaciones que ellos enfrentaron y dominaron progresivamente, sobre todo las primeras situaciones susceptibles de dar sentido a los conceptos y procedimientos que se ha pretendido enseñarles (Vergnaud, 1990:150). Para este autor la historia –desde la primera situación que se enfrenta respecto de un tema– es decisiva para las construcciones futuras; y precisamente, el movimiento físico ha tenido que ver con nosotros desde el primer instante de vida.

Una de las consecuencias claras de dicha preferencia es la aparición y persistencia de una vieja "conocida" de los profesores de física. Se trata de la fuerza centrífuga, la que podemos interpretar desde la TCC como uno de los conceptos-en-acción puesto en juego por los estudiantes en la comprensión del movimiento.

Cuando un estudiante debe señalar las fuerzas que actúan sobre un cuerpo en movimiento sobre una trayectoria curvilínea muy frecuentemente propone la existencia de una fuerza que apunta hacia afuera de la trayectoria que describe. Este procedimiento se explica a partir de la puesta en escena de un teorema-en-acción que no se halla cuando otros alumnos no la adicionan. Este teorema se vincula a la aparición de fuerzas inerciales en sistemas de referencia no inerciales (acelerados). Es decir, que la fuerza inercial es –en cierto modo– equivalente a la fuerza centrífuga. La fuerza inercial es una de las invariancias constitutivas del principio de D`Alambert. A partir de la acción del estudiante –verbalizar su existencia, representarla en diagramas de cuerpo libre, simbolizarla a través de ecuaciones que la incluyen– se infiere que posee esta relación de invariancia, este teorema-en-acción: "*Si un cuerpo toma una curva de seguro actúa una fuerza que apunta hacia afuera de la trayectoria seguida*" y el concepto-en-acción asociado: "*fuerza centrífuga*".

La aparición reiterada de esta invariante en las descripciones, explicaciones y soluciones de los alumnos avala nuestra aserción. Ellos efectivamente la "sienten", la experimentan en numerosas ocasiones, por ejemplo cada vez que toman una curva. Dicho concepto-en-acción funciona porque es válido en algunas ocasiones, y les ha sido y es útil. Pero, su campo de aplicación está restringido.

II) Si un móvil tiene velocidad (o rapidez) en un determinado instante es porque lleva un tiempo moviéndose" o "El análisis de un movimiento comienza siempre desde el reposo

Para realizar el análisis de este segundo invariante se transcribe un episodio extraído de una de las clases registradas perteneciente al corpus base de datos.

(4)

Los 40 alumnos de esta clase están trabajando en la siguiente ejercitación: Un auto tiene una velocidad inicial de 40 km/h. ¿Puede ser que a los 10 minutos su velocidad sea de 60 km/h, con una aceleración de 120 km/h²? ¿Por qué?

a) Construya una tabla de valores tiempo–velocidad (final) tomando como datos los del ejercicio anterior, y represéntelos en un sistema de ejes cartesianos.

b) Represente en un sistema de ejes cartesianos los valores de aceleración en función del tiempo.

c) ¿Qué puede decir acerca de las gráficas obtenidas?

Un grupo de estudiantes comienza a resolver el tercer ejercicio y el intercambio con el P continúa de la siguiente manera:

6- A₅: Señora no entendemos el tercero.

7- P: Lo explicamos.

8- A: Señora.

9- P: Para hacer una tabla de valores hay que usar una ecuación matemática; la tabla es "t-v_f" ¿qué ecuación usarán? Para distintos tiempos habrá que calcular...

10- A: Señora (La llaman de todos lados)

11- A₁: 0 de tiempo.... 40 y así ... (La profesora deja este primer grupo y se acerca a otro)

12- A: Señora (La siguen llamando distintas voces).

13- P: ¿Cómo hago la cuenta?

14- A: Esto es la velocidad inicial.

15- P: 40? ... 120 ¿qué? ¿y este 10 qué es?

16- A: Minuto.

17- P: ¿Puedo tener...? (Dato no registrado)

18- A₁: No km/h.

19- A₂: 40 km/h –5 min.

20- P: Espere, de donde saca esto... que a los 5 minutos tiene una velocidad de 40 km/h. ¿El problema 2 dice eso?

21- A: (Lee el problema) No.

22- P: El auto tiene una velocidad inicial de 40km/h. ¿En qué tiempo le hemos ... (dato no registrado) ese valor?

23- A: 40 km/h.

24- P: En el tiempo cero. La velocidad inicial es siempre en el tiempo t = 0 a no ser que yo haga una aclaración.

25- A: Así es en el problema 3, una aceleración de 120.

26- P: Usted ha colocado dos cosas correctas

0	40
10	60

Acá en el intermedio sería cuestión de calcularlo, ya que puso 5 minutos calcule la velocidad en 5 minutos. De eso se trata la tabla.

Clase 16-10-00, 4° año

En el intercambio (4) –turno de habla N° 9– P aporta nuevamente el acto de petición de transformar la interrogación en aserción. Inmediatamente ofrece una “pista” inconclusa que uno de los estudiantes retoma transformando la interrogación –turno N° 11– reconociendo la consigna de P y aceptando su aporte. Luego, al acercarse a la demanda de otro de los grupos, P reinicia –turno 13– un nuevo intercambio interrogatorio en el que los participantes deben “construir” una aserción común y “reconocer” el aporte personal de su interlocutor. En el turno de habla N° 19 un estudiante explicita una aserción que otorga un giro imprevisto, en principio, a la clase.

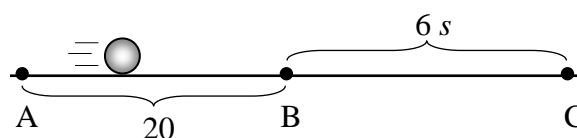
El A ha omitido información provista por el enunciado. Pero es más que eso, porque aún advertido de ello no logra relacionar velocidad inicial distinta de cero con tiempo inicial igual a cero. No construye una aserción común a pesar de la intervención específica de P a lo largo de los turnos sucesivos. Al parecer es tan fuerte y tan estable la invariante hallada que lleva a algunos estudiantes a “proponer” un tiempo –5 minutos– para la velocidad dada.

Notar que en la clase perviven al menos dos niveles o jerarquías de conceptualización respecto de la concepción de inicio¹¹ de un movimiento.

Por otra parte en una evaluación tomada un mes después en el mismo curso al resolver el siguiente problema, se encontró que el 46% de los alumnos consideraron al resolver el ítem c) que la esfera tiene velocidad inicial cero al describir el segundo movimiento parcial sucesivo de traslación. Se han analizado en profundidad dos soluciones de este problema, una se presenta a continuación del enunciado y la otra unos párrafos más adelante.

(5)

La esfera de la figura se desplaza desde A hasta B con movimiento rectilíneo uniforme a 5 m/s de velocidad. A los 20 metros de iniciado el recorrido, se le imprime una fuerza de 4 N , que la acelera, haciendo que a los 6s su velocidad sea de 8 m/s . Responda: a) ¿En qué tiempo recorrió el tramo \overline{AB} ? b) ¿Qué aceleración tiene entre B y C? c) ¿Qué distancia recorre en total?



¹¹ x_i y t_i son llamados posición y tiempo *iniciales*, pero son nada más que nombres y no significa que el movimiento comience verdaderamente en el instante t_i . En realidad, esos dos valores son una pareja cualquiera de posición y tiempo que se elige a gusto o porque sus valores son conocidos. Sólo importa que en el instante t_i el móvil se encuentre en x_i .

Néstor

$$\begin{aligned}
 \text{a -} \quad t &= d/v & \text{b -} \quad a &= \frac{v_f - v_i}{t} \\
 t &= 20 \text{ m} / 5 \text{ m/s} & a &= \frac{8 \text{ m/s} - 5 \text{ m/s}}{6 \text{ s}} \\
 t &= 4 \text{ s} & a &= 3 \text{ m/s} / 6 \text{ s} \\
 \text{Tiempo es } &4 \text{ s} & a &= 0,5 \text{ m/s}^2 \\
 \text{c -} \quad d &= v_i \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \\
 d &= 0 \text{ m} \cdot 6 \text{ s} + \frac{1}{2} \cdot 0,5 \text{ m/s}^2 \cdot 6 \text{ s}^2 \\
 d &= \frac{1}{2} \cdot 0,5 \text{ m/s}^2 \cdot 36 \text{ s}^2 \\
 d &= 0,25 \text{ m} \cdot 36 \\
 d &= 9 \text{ m} \\
 & \left. \begin{array}{l} \text{desde A hasta B es } = 20 \text{ m} \\ \text{desde B hasta C es } = 9 \text{ m} \end{array} \right\} d \text{ total es } 29 \text{ m} \\
 & \text{En total recorre } 29 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Algunos de ellos, además cada vez que han analizado el movimiento total o parcial de la esfera han impuesto que la velocidad inicial es igual a cero, sacando a la luz repetidamente conocimiento-en-acción. Uno de estos estudiantes presenta la siguiente solución:

(6) Jésica

$$\begin{aligned}
 \text{a)} \quad t &= d / v & \text{b)} \quad a &= \frac{v_f - v_i}{t} \\
 t &= 20 \text{ m} / 5 \text{ m/s} & a &= \frac{8 \text{ m/s}}{6 \text{ s}} \\
 \boxed{t = 4 \text{ s}} & & \boxed{a = 1,33 \text{ m/s}^2} & \\
 \text{c)} \quad d &= v_i \cdot t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2 \\
 d &= 0 \cdot 4 + \frac{1}{2} \cdot 1,33 \cdot (4)^2 \\
 d &= \frac{1}{2} \cdot 1,33 \cdot 8 \\
 \boxed{d = 5,32} & & &
 \end{aligned}$$

Como se decía, más del 46% de los estudiantes manifiesta explícitamente el invariante¹² atentando contra el concepto de *continuidad*

¹² Esta situación ha permitido explicitar invariantes operatorios después de haber trabajado - "relativamente" en el aula- algunos movimientos que partían (o no) desde el reposo.

del movimiento junto con el de *covarianza*¹³.

Naturalmente, este teorema funciona porque se tienen experiencias vivenciales y comunicacionales con autos u otros medios de transporte, etc. relacionadas por ejemplo, con carreras donde se parte desde el reposo en un lugar y a un tiempo que se toman como cero. Por tanto, su campo de aplicación es limitado.

III) Si la aceleración de un móvil es negativa, él va hacia atrás

Nuevamente a partir del interjuego dialéctico entre la idea piagetiana de conocimiento como adaptación progresiva y de las situaciones planteadas en el aula, se interpreta que el análisis de una tercera invariante desde el siguiente episodio hace aparecer con toda su fuerza el papel de las situaciones o problemas.

En esta clase se ha planteado intencionadamente una misma situación ya resuelta en clase, pero con los valores invertidos de velocidad inicial y final. El propósito de dicha inversión fue buscar el significado físico a través de los efectos de ese cambio mediante el cálculo relacional de la aceleración. La nueva situación no pretende la mera reversibilidad operacional.

(7)

La profesora hace la propuesta de resolver la siguiente situación: "La velocidad inicial de un cuerpo es de 12 m/s y la velocidad final al cabo de dos minutos es de 36 m/s ¿qué valor de aceleración posee?"

La clase en su conjunto la lleva a cabo, luego el intercambio continúa de la forma que sigue:

106- P: (...) Otro cálculo: "¿Puede suceder que los valores de velocidad se encuentren invertidos en relación al cálculo anterior? Resuélvalo". A ver chicas, ¿qué interpretan con la pregunta?

107 - A₁: Si

108 - A₂: Se pueden pasar.

109 - P: Inviertan los valores de velocidad, que la velocidad final sea 12 y la inicial 36 m/s.

110 - A₁: No, no puede ser.

111 - A₂: ¿Señora?

112 - A₃: Te va a dar negativo.

113 - P: Puede ser, lo único que va a pasar es que, ¿la aceleración sea negativa?.

114 - A₁: Señora, venga.

115 - A₂: ¿Cuánto es 12 menos 36?

116 - A₃: ¿Señora puede venir?

¹³Un análisis detallado de las categorías elaboradas para la descripción de ciertas representaciones en cinemática de nivel medio que genera un resolutor de problemas para esta situación pueden consultarse en otro trabajo (Escudero y Moreira 2002b).

117 - P: Morales, ¿lo resolvió?

118 - Morales: No.

119 - A₁: Escribí la fórmula.

120 - A₂: Señora, quiere que lo haga.

121 - P: Pase... No es lo mismo tener 20 pesos que deber 20 pesos. ¿Qué va sucediendo con ese auto?

122 - A: Va para atrás (dos alumnos).

123 - P: ¿Es lo mismo que disminuya la velocidad a que el auto vaya para atrás?

124 - A: No.

Clase 25-09-00, 4° año

El cálculo de la aceleración en general lo hacen –turno de habla N° 112–. Un estudiante en el turno 110 ya indica que no puede ser que se inviertan los valores de ese modo, mientras otros dos alumnos en el 122 señalan en voz alta que cuando la aceleración es negativa el auto se va a mover hacia atrás.

Aquí aparecen dos grandes dificultades que es conveniente mantener separadas para no mezclar, por un lado el significado de un número negativo –una problemática conocida en la educación matemática– y por otro la relación del signo negativo de la aceleración con el objeto moviéndose hacia atrás. Están poco más que reduciendo el sentido del movimiento al del signo de la magnitud aceleración. Es decir, que el significado físico aparece después, mucho después. Los estudiantes no lo logran solos¹⁴.

El teorema-en-acción: “Si la aceleración de un móvil es negativa, él va hacia atrás” puesto en juego aquí, trae aparejada la idea también de que cuando la aceleración es negativa, el movimiento es desacelerado. Es decir, que para identificar un movimiento como acelerado o desacelerado es suficiente con analizar el signo de la aceleración aisladamente. Esta definición más restringida la toman también algunos libros del nivel.

La presentación clásica de los movimientos variados –principalmente en secundaria– está basada exclusivamente en el análisis del signo de la aceleración. Esta concepción física, desarrollada sobre todo de cara a movimientos rectilíneos sin retroceso, no es aplicable de forma tan sencilla a móviles con inversión de la marcha, sobre todo por la exigencia que implica la “construcción” de expresiones algebraicas y/o gráficas que representen ese movimiento. Es más aún, tampoco es aplicable a situaciones sencillas de frenado¹⁵.

¹⁴Es importante hacer notar que esta situación problemática permitiría, por ejemplo, proveer oportunidades para trabajar la diferencia: movimiento – velocidad - aceleración.

¹⁵ Notar entonces que lo que importa para tener un movimiento desacelerado o acelerado no es el signo de la aceleración aisladamente sino el hecho de que la velocidad y la aceleración tengan signos opuestos o iguales, respectivamente. Un movimiento con aceleración positiva pero velocidad negativa es desacelerado.

Conclusiones

En la resolución de las situaciones ilustradas en este trabajo se han puesto en juego, implícitamente, propiedades y relaciones. Son las que Vergnaud ha denominado invariantes operatorias y las que constituyen el núcleo más sólido del concepto. Pueden corresponder a proposiciones o teoremas-en-acción, a conceptos-en-acción, etc. Se refieren a objetos, propiedades y relaciones que se mantienen a través de una serie de variaciones (situaciones).

Estudiar las estructuras de intercambio en el aula y en la resolución individual de problemas en situación de evaluación –o no– ha permitido llevar a los alumnos a explicitar lo que creemos que son algunas invariantes operatorias en un cierto campo conceptual –a través de la profundización en la comprensión de las situaciones y de las dificultades conceptuales encontradas por los estudiantes al resolver. Dichas invariantes estaban presentes, de alguna forma, en el conocimiento previo de los estudiantes. Por ello es que insistimos en que el análisis de la tarea a la cual se enfrenta un estudiante en su actividad escolar es de capital importancia.

La TCC en el ámbito de la investigación se ha mostrado adecuada como referencial para las investigaciones en el área de la Educación en Física y por tanto apropiada para fundamentar investigaciones sobre el aprendizaje de campos complejos como los de la Física.

La noción de campo conceptual nos ha permitido estudiar de manera más integrada el desarrollo simultáneo y coordinado de diferentes nociones y conceptos necesarios para la comprensión de un conjunto organizado de clases de problemas, de los procedimientos que permiten tratarlos y de los sistemas simbólicos que permiten representarlos junto a las conceptualizaciones aportadas por el análisis conversacional.

En el estudio descrito en este trabajo –decíamos– analizamos algunas dificultades de los alumnos al resolver problemas en términos de qué conceptos y teoremas-en-acción están usando los estudiantes. Dichas invariantes operatorias parecen estar presentes en los procedimientos usados por los alumnos y, según Greca y Moreira (2002), estarían también presentes en los modelos mentales construidos por los estudiantes al comprender el enunciado de los problemas.

Por tanto, poder detectar invariantes en las situaciones que ellos (los modelos físicos) se aplican es un proceso muy complejo –entre otras razones, y muy significativo¹⁶– porque el repertorio de esquemas que el estudiante posee, y que es la base para la construcción de modelos mentales iniciales, se derivan de su acción sobre el mundo desde el nacimiento, siendo muy rico. (Greca y Moreira, 2002).

Implicaciones

En cuanto a las implicaciones para la enseñanza, vale la pena insistir en que a pesar de que la teoría de Vergnaud no es una teoría didáctica, tiene importantes implicaciones en el área. La principal de ellas es el papel

¹⁶Destaque de los autores.

mediador del profesor. Básicamente consiste en ayudar a los alumnos a desarrollar su repertorio de esquemas. Al desarrollarlos, éstos se vuelven más hábiles para enfrentar situaciones cada vez más complejas. Pero, nuevos esquemas no se pueden desarrollar sin nuevas y adecuadas invariantes operatorias. El lenguaje y los símbolos juegan un importante papel (Vergnaud, 1998:186).

Se quiere destacar que en este estudio se elige mostrar el papel de mediación del docente focalizado fundamentalmente en lo que dice en cada intervención. Claro que lo que dice tiene que ver con lo que hace, pero el foco no está en la situación que el docente propone (que podría ser el caso) sino en que dada una situación –que por supuesto está pensada para ciertos logros– hace falta ofrecer pistas, decir cosas, colaborar para que la zona de desarrollo próximo de cada sujeto pueda poner a jugar (con eso) lo que mejor tenga a su alcance.

Es en esa perspectiva de complejidad, progresividad y continuidad/ruptura que se considera que deben ser encarados el aprendizaje y la enseñanza de ciertas áreas de la Física.

Acordamos con Vergnaud en que la psicología cognitiva es esencial tanto por las consecuencias didácticas que logra como por los constructos que aporta para la investigación en didáctica de las disciplinas. La utilización de situaciones fructíferas que incrementen y mejoren los datos y las interpretaciones en el área ayudarán al desarrollo y a la expansión de este campo de reciente formación.

Agradecimientos

Trabajo parcialmente financiado por CICITCA (UNSJ, Argentina).

Referencias bibliográficas

Austin, J. (1981). *Cómo hacer cosas con palabras*. Barcelona: Paidós Studio.

Berenguer, J.A. (1997). *La conversación, un discurso a varias voces*. Notas de curso de Posgrado, FFHA, UNSJ.

Berenguer, J.A. (2001). *Estrategias del discurso conversacional: algunos casos de relato coloquial en catalán y español*. Tomo I y II. San Juan (Argentina): Publicaciones de FFHA, UNSJ.

Brandi, S.; Berenguer, J.A. et al (2001). *Conocimiento escolar y cultura institucional*. San Juan (Argentina): Editorial Fundación Universidad Nacional de San Juan.

Bruner, J. (1990). *Actos de significado*. Madrid: Alianza Editorial, Psicología menor.

Coulthard, M. (1985). *An Introduction to Discourse Analysis*. New York, Longman.

Erickson, F. (1989). Métodos cualitativos de investigación sobre enseñanza. En M. Wittrock (Comp.), *La investigación de la enseñanza II* (pp. 195-302). Barcelona, Paidós/MEC.

Escudero, C. y M.A. Moreira (2002a). Representaciones mentales y la resolución de problemas en Física de nivel medio: un primer estudio. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*. Enviado a publicación.

Escudero, C. y M.A. Moreira (2002b) Resolución de problemas de cinemática en nivel medio: estudio de algunas representaciones. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 2 (3), 5-25.

Escudero, C. y M.A. Moreira (2003) *El espacio áulico: un modelo de análisis de la clase de ciencias*. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*. Enviado a publicación.

Franchi, A. (1999). Considerações sobre a teoria dos campos conceituais. En S.D. Alcântara Machado et al. *Educação Matemática: uma introdução* (pp. 155-195). São Paulo, EDUC.

Ferreiro, E. y M. Gómez Palacio (1982). *Nuevas perspectivas sobre los procesos de lectura y escritura*. Bs. As., Siglo XXI Editores.

Glaser, B.G. y A.L. Strauss (1967). *The Discovery of Ground theory*. Aldine, Chicago.

Giere, R. (1999). Didáctica de la ciencia basada en el agente. *Enseñanza de las Ciencias*. Nº Extra, 5-7.

Goffman, E. (1967). *Interaction Ritual: essays on face-to-face behavior*. New York, Anchor. [Edición en castellano: *Ritual de la interacción*, Bs. As.: Tiempo Contemporáneo, 1970].

Greca, I.M. y M.A. Moreira (2002). Além da detecção de modelos mentais dos estudantes. Uma proposta representacional integradora. *Investigações em Ensino de Ciências* 7 (1).

En <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>

Gumperz, J. (1971). *Language in social groups*. Stanford, University Press.

Gumperz, J. (1988). La sociolingüística interaccional en el estudio de la escolarización. En J. Cook-Gumperz (Ed.), *La construcción social de la alfabetización* (pp. 61-84). Barcelona, Paidós.

Johnson-Laird, P. (1983). *Mental Models*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

Maingueneau, D. (1996). *Les termes clés de l'analyse du discours*. Paris, Editions du Seuil.

Moreira, M. A. (2002). *A teoria dos campos conceituais de Vergnaud*. *Investigações em Ensino de Ciências*. 7 (1).

En <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>

Quaranta, M.E. (1997). Teoría de los campos conceptuales. *Novedades Educativas*, Bs. As., 76, 36-38.

Ricco, G. (1994). Teorías psicológicas del aprendizaje. *Temas de Psicopedagogía* 6, Buenos Aires, Fundación EPPEC, 6, 35-58.

Stubbs, M. (1983). Inicios y respuestas. En M. Stubbs (Ed.), *Análisis del discurso* (pp. 109-130). Madrid, Alianza.

Tannen, D. (1989). *Talking voices. Repetition, dialogue and imaginery in conversational discourse*. Cambridge, University Press.

Valles, M.S. (1999). *Técnicas cualitativas de investigación social*. Madrid, Editorial Síntesis.

Van Dijk, T. (1983). *La ciencia del texto. Un enfoque interdisciplinario*. Barcelona, Paidós Comunicación.

Vergnaud, G. (1983). Actividad y conocimiento operatorio. En C. Coll (Ed.), *Psicología genética y aprendizajes escolares* (pp. 91-104). Madrid, Siglo XXI.

Vergnaud, G. y C. Durand (1983). Estructuras aditivas y complejidad psicogenética. En C. Coll (Ed.), *Psicología genética y aprendizajes escolares* (pp. 105-128). Madrid, Siglo XXI.

Vergnaud, G. (1982). A classification of cognitive tasks and operations of thought involved in addition and subtraction problems. En T. Carpenter, J. Moser & T. Romberg (Eds.), *Addition and subtraction. A cognitive perspective* (pp. 39-59). Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum..

Vergnaud, G. (1983). 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.

Vergnaud, G. (1988). Multiplicative structures. En H. Hiebert and M. Behr (Eds.), *Research Agenda in Mathematics Education. Number Concepts and Operations in the Middle Grades* (pp. 141-161). Hillsdale, N.J., Lawrence Erlbaum.

Vergnaud, G. (1990). La théorie des champs conceptuels. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 10 (23): 133-170.

Vergnaud, G. (1993). Teoria dos campos conceituais. En L. Nasser (Ed.) *Anais do 1º Seminário Internacional de Educação Matemática do Rio de Janeiro*. (p. 1-26). Rio de Janeiro.

Vergnaud, G. (1994). Multiplicative conceptual field: what and why? En H. Guershon and J. Confrey (1994) (Eds.), *The development of multiplicative reasoning in the learning of mathematics* (pp. 41-59). Albany, N.Y.: State University of New York Press.

Vergnaud, G. (1996a). Education: the best part of Piaget's heritage. *Swiss Journal of Psychology*, 55(2/3), 112-118.

Vergnaud, G. (1996b). A trama dos campos conceituais na construção dos conhecimentos. *Revista de GEMPA*, 4, 9-19.

Vergnaud, G. (1996c). Algunas ideas fundamentales de Piaget en torno a la didáctica. *Perspectivas*, 26(10), 195-207.

Vergnaud, G. (1998). A comprehensive theory of representation for mathematics education. *Journal of Mathematical Behavior*, 17(2), 167-181.

Vygotsky, L. S. (1977). *Pensamiento y lenguaje*. Bs. As.: La Pléyade.