

La enseñanza de conceptos básicos de Física Cuántica para un aprendizaje significativo del Modelo Atómico Actual

Teaching basic concepts of Quantum Physics for meaningful learning Current Atomic Model

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Sonia Beatriz González¹, Directora: Consuelo Escudero^{2,3}

¹*Departamento de Física y de Química. Facultad de Filosofía Humanidades y Artes, Universidad Nacional de San Juan, Ignacio de la Roza 230 Oeste. Capital CP 5400, San Juan, Argentina.*

²*Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales, Avda. Ignacio de la Roza 590 Oeste. Rivadavia San Juan.*

³*Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de San Juan. Avda. Libertador Gral. San Martín 1290 Oeste. Capital CP 5400, San Juan, Argentina.*

E-mail: soniabeatriz.gonzalez@gmail.com

Tesis defendida en la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires el 16 de octubre de 2015.

Resumen

En este trabajo de investigación se realiza una exploración acerca de las acciones que realizan estudiantes de escuela media para intentar comprender los rasgos más generales del ‘Modelo Atómico Actual’. La búsqueda se hace empleando como fuentes de indicios los trabajos escritos desarrollados en diferentes instancias del proceso de enseñanza y aprendizaje y los registros obtenidos a partir de las clases, donde las interacciones orales dan cuenta, aunque en forma parcial, del tipo de pensamiento conceptual que circula en el aula. Además se toman en cuenta para el estudio todas aquellas acciones que acompañan al texto oral: los diálogos entre pares, las respuestas extemporáneas, los gestos, los silencios, es decir, lo que forma parte del acto comunicativo. Desde lo investigativo es factible construir balizas en el campo del aprendizaje y de la enseñanza, siempre que el marco teórico sea pertinente, y continuar contribuyendo con los fundamentos de la investigación en educación en ciencias, área en expansión intrínsecamente interdisciplinaria. Desde la didáctica parece posible abordar con bastante fidelidad los conceptos de fotón, de probabilidad y de estado, en el marco de uno de los modelos más productivos de las ciencias tal como es el modelo atómico actual

Palabras clave: Modelización; Construcción de esquemas; Comunicación; Aprendizaje de temas complejos.

Abstract

This research paper explores high school students’ working pattern in an attempt to understand the most general features of the “Modern Atomic Model”. As sources of evidence, this research uses written work developed at different stages of the teaching and learning process and class records, since the oral interactions, although only partially, account for the type of conceptual thinking circulating in the classroom. Furthermore, all actions which come along with the oral text are also considered: dialogue among peers, untimely answers, gestures, silences —that is, all the constituent elements of the communicative act. From the research point of view, the placement of beacons which enlightens the learning and teaching field —as long as the theoretical framework is relevant— is clearly feasible, as well as the further contribution to the foundations of scientific investigation, which is a growing, intrinsically interdisciplinary area. From the didactic perspective, it seems to us that the concepts of photon, probability and state can be approached quite reliably within the framework of one of the most productive scientific models, such as the Modern Atomic Model

Keywords: Modeling; Thinking construction; Communication; Learning of complex subjects.

I. INTRODUCCIÓN

La enseñanza en la escuela secundaria de conceptos básicos de Física Cuántica se presenta como una de las temáticas de mayor complejidad a ser abordada por los diversos colectivos implicados: desde profesores, junto con especialistas del área de las ciencias naturales y profesionales cuyo desempeño toca las fronteras de la Física actual, hasta diseñadores curriculares, psicólogos y psicopedagogos interesados en el aprendizaje de este tipo de contenidos, particularmente distanciados de la percepción sensorial.

En este trabajo se presenta la posibilidad de emplear como una de las vías de acceso a la conceptualización de la Física Cuántica, la enseñanza de algunas nociones básicas que se precisan para otorgar significado al modelo atómico actual.

Las razones por las que no ha sido posible hasta el día de hoy sistematizar la enseñanza de la Física Cuántica en la escuela secundaria tienen mucho que ver con la necesidad de conciliar un conjunto de contenidos provenientes de diferentes campos, algunos ya instalados en los diseños (energía, modelo), otros no (estado, fotón, dualidad onda-partícula) y con el desarrollo de capacidades más vinculadas a la posibilidad de mirar el mundo desde un lugar diferente con respecto a la que posibilitan los sentidos.

Las múltiples ramificaciones de los principios de la Física Cuántica que se han generado a partir de los desarrollos matemáticos, tecnológicos, y de otras ciencias, se han extendido de tal manera que hoy se puede decir que esta disciplina científica ya forma parte del cotidiano vivir de gran parte de la humanidad: el papel de la superposición de estados en fenómenos vinculados a la fotosíntesis de ciertas especies vegetales marinas; también en la orientación espacial de grupos de aves migratorias y ciertas especies de batracios; el rol en los desarrollos tecnológicos más avanzados, entre otros.

Es por ello que, en forma previsible, se han multiplicado en cantidad y calidad los modos de justificar la inserción de estos contenidos, que forman parte de la Física Moderna, en los diseños curriculares de escuela secundaria.

Esta situación en la que se ha consolidado con fundamentos categóricos la necesidad de incorporar contenidos de ciencia contemporánea, nos permite dirigir la mirada desde otro lugar, con una visión que no solo registre el libreto conceptual que se desarrolla en el aula, sino que sea capaz de reconocer la complejidad de las interacciones comunicativas que hay en ella para pensar posibles hipótesis acerca de las maneras en que se va construyendo el conocimiento. Sobre todo en este caso particular centrado en la enseñanza y el aprendizaje del modelo atómico actual, en el que se entraman conceptos y competencias puestas en juego a partir de diferentes parcelas de conocimiento.

Teniendo en cuenta estas consideraciones generales, se plantea que: el problema que orienta esta tesis es la búsqueda de marcas que se alojan en los procesos de resolución de situaciones-problema y que otorgan pistas acerca de los caminos que siguen los estudiantes para abordarlas cuando se inician en el estudio de un nuevo campo de conocimiento. Esto a partir de un enfoque del tema Modelo Atómico que contempla la introducción de algunos conceptos básicos de Física Cuántica, en un contexto escolar atravesado por los emergentes clásicos y también actuales de los adolescentes: rupturas generacionales, dispersión de intereses, crisis de comunicación, etcétera.

Para ello se plantea la siguiente hipótesis: el aprendizaje de temas alejados de la percepción sensorial por parte de los estudiantes de escuela secundaria es un proceso continuo, apoyado en el lenguaje y en una enseñanza que toma como referencia modelos consensuados por la comunidad científica, y cuya sustentabilidad se puede afianzar mediante un uso racional de las tecnologías de la información y de la comunicación.

II. PROPÓSITOS

Teniendo en cuenta los aportes provenientes de diversas fuentes de información, en esta tesis se plantea como propósito contribuir con la didáctica de la física.

En primer lugar a través del estudio de las acciones que ponen en juego los estudiantes para resolver situaciones propuestas en un tópico conceptual de elevado grado de abstracción tal como es el modelo atómico actual. Y, en segundo lugar, proponiendo un modelo de exploración de aulas en el que se relevan tanto los aspectos objetivos como subjetivos de la construcción de conocimientos complejos de la Física contemporánea. Para ello se plantean los siguientes objetivos específicos.

Explorar a través de las respuestas escritas de los estudiantes cuáles son los recursos que emplean para representar y describir conceptos de un campo conceptual complejo tal como es el modelo atómico actual.

Establecer vínculos entre las expresiones orales emitidas por los estudiantes durante las clases y los procesos de construcción de nociones de Física Cuántica.

Indagar acerca del uso que hacen de los recursos tecnológicos en relación al aprendizaje de contenidos escolares.

III. LINEAMIENTOS METODOLÓGICOS

En esta ocasión se plantean tres etapas: en la primera se realizaron observaciones de clases de Física y de Química en escuelas secundarias, a cargo de diferentes docentes que estaban dispuestos a colaborar con la investigación. El objetivo de las mismas era seleccionar un aula en la que hubiera señales visibles de comunicación docente-alumnos y de alumnos entre sí.

La segunda etapa de la investigación es el desarrollo de la propuesta didáctica.

En la tercera etapa se realiza el análisis del corpus, constituido por diversas actividades propuestas en: un diagnóstico, dos prácticos y una evaluación integradora. También forman parte del corpus los registros de clases. Con este fin, se delimitaron tres fases en el análisis:

I) Estudio general de las respuestas en los trabajos escritos. Se hizo un análisis preliminar de las respuestas de un diagnóstico, apelando a la propuesta metodológica de Abusamra y otros (2011), en el que se conjugan herramientas para un estudio sintáctico y semántico. En la sintaxis se buscan los dispositivos empleados por los estudiantes para articular los conceptos de manera canónica, mientras que la semántica brinda elementos para indagar en los significados que se intenta transmitir. II) Búsqueda de estrategias empleadas en situaciones problemáticas planteadas durante el desarrollo del tema. III) Análisis de dos fragmentos de clases, seleccionadas por la importancia de los contenidos abordados y empleando el “Modelo interpretativo de análisis de clases para la enseñanza de temas complejos”, que es una propuesta generada en el curso de este trabajo de indagación; lo que incluye el estudio de los conceptos marcadores empleando la definición de concepto formulada por Vergnaud en la Teoría de los campos conceptuales.

En esta investigación se aspira a poner a consideración de la comunidad científica la hipótesis de los conceptos marcadores dentro de un campo de conocimiento, cuya definición tiene antecedente en la ‘Epistemología del Sujeto Conocido’ (Vasilachis, 2007) y se va consolidando a medida que se avanza en el análisis; además de la importancia de abordar el estudio del aula desde una mirada que incorpore rasgos de la complejidad propios de la contemporaneidad, manifiestos a través de la comunicación y que se compendia en el “Modelo interpretativo de análisis de clases para la enseñanza de temas complejos”.

Se trabajó con una muestra intencional, un aula de una escuela estatal perteneciente a una zona suburbana, basada en criterios:

Los estudios cualitativos se caracterizan por abordar ámbitos acotados, en donde se privilegia más la validez o credibilidad del conocimiento obtenido que la posibilidad de generalizar características medibles de una muestra probabilística a todo el universo. Por tal motivo los estudios se dirigen a analizar un reducido número de unidades de análisis, un subconjunto elegido de forma intencional al que se denomina muestra intencional o basada en criterios. (Mendizábal, 2012: 87)

A. Preguntas de investigación

Este trabajo es de corte interdisciplinario dado que suma a la investigación en enseñanza de las ciencias aportes que provienen desde diferentes campos de conocimiento como son la sociología, la lingüística y la comunicación.

En general se pregunta sobre los procesos que activan los estudiantes para construir y vincular representaciones acerca de nociones básicas de Física Cuántica en relación a la elaboración de un modelo atómico con atributos derivados de desarrollos científicos actuales.

Además se intenta aproximar explicaciones sobre interrogantes como los siguientes:

¿Cuáles son las condiciones de factibilidad para incorporar contenidos relacionados con la ciencia actual en aulas que hoy, más que nunca, son el reflejo de una sociedad conmocionada por los cambios y las fracturas que la hacen cada día más heterogénea?

¿Con cuáles criterios se podrían discriminar los aspectos conceptuales esenciales y el tipo de obstáculos que se presentan en la enseñanza y el aprendizaje de los contenidos involucrados?

¿Cuáles podrían ser los rasgos orientadores que permitan elegir procesos de enseñanza que favorezcan un uso organizado y eficaz de los componentes didácticos?

Estos cuestionamientos son el resultado de diversas reformulaciones realizadas durante el proceso de análisis de los datos. De eso se trata la investigación cualitativa, de hacerse cargo de la emergencia de interrogantes y de procedimientos. Y esto sucede en parte porque la recolección de datos se realiza en las propias situaciones, no hay una estructura montada para observar, un laboratorio. Aquí la riqueza es intrínseca de un cuadro natural.

En ningún momento se pensó en proceder en forma paralela al cursado normal, a fin de sostener en la medida de lo posible, las características naturales y espontáneas de cualquier proceso de enseñanza y de aprendizaje.

B. La unidad de análisis

Planteamos como unidad de análisis la comunicación alumno-docente en contexto de enseñanza-aprendizaje de tópicos complejos, mediados fundamentalmente por el lenguaje.

Distribuida y ajustada en dos formatos:

Las producciones escritas: diagnóstico, trabajos prácticos y evaluación.

Los intercambios orales durante el desarrollo de las clases.

Si bien el concepto de comunicación implica un extenso campo, en este caso adoptamos un punto de vista restringido, sobre todo teniendo en cuenta que el objeto de valor, comprometido en forma esencial, es el proceso de aprendizaje del contenido 'modelo atómico actual'.

Para la recolección de datos se emplearon grabadores que se distribuyeron en el aula y notas de campo tomadas por el observador participante, que en este caso fue la investigadora.

IV. TRATAMIENTO DE LOS DATOS. UN MODELO INTERPRETATIVO

El modelo que se presenta fue delineado a partir de resultados de la propia investigación, y tiene las siguientes particularidades:

Es interpretativo en el sentido que pone en juego la inserción plena del investigador en el contexto dentro del cual se sitúa la investigación.

Es pragmático en el sentido de considerar a los estudiantes desde dos perspectivas:

- Como integrante de un grupo-clase que realiza actos o acciones subjetivas que lo mantienen como sujeto que participa en los procesos que se desarrollan en el aula.
- Como individuo inserto en una red en la que interactúa con medios de comunicación e información que funcionan como extensiones permanentes de sus capacidades.

Tiene en cuenta el carácter epistémico de los contenidos que se abordan.

Otorga a la Teoría de los campos conceptuales propuesta por Vergnaud un lugar esencial en el análisis de algunos conceptos a los que les hemos llamado conceptos marcadores.

Atiende las señales que dan el perfil particular al tipo de comunicación que circula en el aula.

Es fundamental extender la mirada a las diferentes acciones de los estudiantes, emergidas desde sus propias iniciativas, sugiriendo formatos, soportes, analogías, es decir, donde ponen en juego sus aprendizajes escolares y no escolares. Este es uno de los motores del modelo, que inclusive puede diferenciarlo de otros en los que se acentúa en forma preponderante el papel del docente o del currículum.

V. CONCEPTOS MARCADORES

Si bien los conceptos que forman parte de un campo conceptual son el resultado de elecciones guiadas por criterios, no todos poseen el mismo nivel de importancia dentro de dicho campo. Inclusive hay algunos prácticamente insustituibles, sobre todo porque constituyen piezas clave dentro de la estructura del tema. Por ejemplo, en mecánica no se puede dejar de ubicar en lugares importantes: velocidad, sistema de referencia, etc. Sus características generales son:

- La densidad de su contenido epistemológico;
- El carácter vertebrador que posee;
- El lugar estratégico que ocupa en relación a otros conceptos.

Pero además hay otros atributos, que tienen que ver con:

- La cantidad y variedad de significados que puede asumir, o;
- La posibilidad de conectarse con conocimientos previos, o;
- El potencial de constituirse en telón de fondo de múltiples escenarios, o son portadores de significado entre campos conceptuales adyacentes pero diferentes.

A estos conceptos que verifican una o más características de los dos agrupamientos descriptos, los llamaremos: conceptos marcadores.

Recordando el contenido específico de la propuesta didáctica que se empleó como recurso de indagación, un posible campo conceptual para trabajar el modelo atómico actual, podría estar formado por: núcleo, protones, neutrones, electrones, niveles de energía, ecuación de onda, fotón, números cuánticos, spin, exclusión, energía, estado, modelo, siempre de acuerdo a criterios que contemplen el ámbito en que se trabaje.

En este caso, y sumando los resultados del análisis de la fase I de la tercera etapa de la investigación, encontramos que algunos conceptos se ajustan en forma muy aproximada a las propiedades descriptas: fotón, energía y estado. Razón por la cual se realizó el análisis de los mismos a la luz de la noción de concepto presentada en la Teoría de los campos conceptuales.

VI. MARCO TEÓRICO

Los ejes del marco teórico de esta investigación están constituidos por las referencias históricas y conceptuales sobre modelo atómico (Asimov, 1999:84; Eisberg y Resnick, 2000; Klein, 2003) y los lineamientos básicos de la Teoría de los Campos Conceptuales.

En esta última son fundamentales las nociones de: Esquema. Campo conceptual. Concepto. Situación. También el lenguaje tiene un papel preponderante en esta teoría. (Vergnaud 1983, 1993, 2007, 2012). Otro aspecto en el que este autor fija su atención es en las razones que hacen que una situación sea considerada compleja. Diferencia tres grandes factores de complejidad cognitiva:

1) La estructura de los problemas. Es tan grande la variedad de situaciones problemáticas que se puede plantear que se impone la puesta en marcha de algunos criterios que contemplen la posibilidad de extender los esquemas que ya poseen los alumnos.

Las dificultades específicas que los estudiantes podrían encontrar para resolver problemas escolares fundamentales derivarían en la necesidad de trascender los sentidos, posibilitando la pregunta, la duda, la reflexión comenzando a transitar los caminos del entendimiento y cultura científica. (Escudero, 2005:304)

- 2) Los valores numéricos.
- 3) Las áreas de experiencia.

Un tercer eje es la comunicación, analizada a la luz de teóricos actuales de este campo de conocimiento, de carácter multidisciplinar: Piscitelli (2011), Luhmann (en Dallera 2012), Grillo (2011), Siri (2011).

VII. PROPUESTA DIDÁCTICA

A. Breve descripción

Se elaboró teniendo en cuenta dos ejes: Teórico-conceptual y Psicológico-didáctico-comunicacional. En el siguiente cuadro se presenta una síntesis de la propuesta, en el que se consignan los contenidos y actividades en forma general.

TABLA I. Síntesis de la propuesta.

N° de clase	Contenido	Actividades
1	Revisión de conceptos de la Teoría ondulatoria. Tipos de ondas. Parámetros. Breve referencia a ondas estacionarias. Repaso de magnitudes y unidades	Revisión de aspectos teóricos. Estudio con mapa conceptual.
2	Ondas mecánicas y electromagnéticas. Resolución de ejercicios.	Visionado de video. Ejercitación y problemas.
3	Modelos y representaciones. Diferenciación. Referencias a modelos configurados en diferentes áreas del conocimiento.	Cuestionarios. Diagnóstico.
4	Introducción a nociones básicas de Teoría cuántica: cuanto, constante de Planck, magnitudes continuas y magnitudes discretas, estado cuántico, números cuánticos. Revisión de: materia, energía, Teoría atómico molecular.	Lectura y análisis de mapa conceptual. Revisión de conceptos básicos.
5	Noción de estado. Cuantos. Niveles de energía. Espectros de líneas.	Trabajo grupal teórico práctico.
6	Noción de entrelazamiento. Representación de orbitales atómicos.	Lectura y ejercitación.
7	Los modelos en Física. Nociones acerca de: Principio de incertidumbre de Heisenberg, ecuación de Schrödinger, números cuánticos, Principio de exclusión de Pauli. Rasgos generales del modelo atómico actual.	Realización de un práctico integrador.

B. Reflexiones acerca de la evaluación de la propuesta.

Si tomamos en cuenta que se trabajó intensamente durante escasas catorce horas distribuidas en siete módulos, algunos de ellos con interrupciones prolongadas entre uno y otro, consideramos que se alcanzó un buen grado de comprensión en un número considerable de estudiantes, aproximadamente un 25 %, en palabras de Ausubel, serían estudiantes que completaron (o casi completaron) el proceso de asimilación. Mientras que se dejó en muy buenas condiciones de seguir avanzando en este tipo de temas a otro grupo más numeroso, aproximadamente un 55 %, es decir, el producto de la asimilación quedó disponible para nuevas modificaciones. Con el grupo restante es necesario reforzar algunos conceptos fundamentales, promover el desarrollo de capacidades vinculadas con algoritmos y con resolución de situaciones antes de continuar con algún tipo de profundización.

VIII. ANÁLISIS

El análisis se realizó en tres fases. En la primera se realizó un estudio general de las respuestas de dos actividades propuestas en un práctico de carácter diagnóstico. En la segunda se enfocó el estudio en un nuevo subgrupo de situaciones explorando en el tipo de estrategias que emplean los estudiantes para integrar conceptos específicos de la física y de la química en los incipientes esquemas que han construido con respecto a los modelos atómicos. Fue en esta instancia que se revelaron los llamados “conceptos marcadores”. En la tercera se presenta el análisis de dos fragmentos de clases y de los conceptos marcadores.

Se pudo apreciar que en líneas generales el lenguaje de los adolescentes es limitado frente a los contenidos, pero no se pueden englobar sus acciones dentro de una sola categoría. Además las diferencias esenciales no vienen dadas por la cuantificación de las palabras sino más bien por la calidad con que realizan las articulaciones para otorgar un significado al texto. El tipo de comunicación que ponen en juego asienta mayormente en los hábitos sociales y no tanto en las prescripciones y orientaciones institucionales.

En la fase 2 se revelaron tres cuestiones muy interesantes:

- El uso intensivo de dos conceptos “fotón” y “energía”.
- La descripción de situaciones que remiten implícitamente a la noción de “estado”.
- Las marcas de la existencia de un “referente empírico” que recoge todo aquello que hace referencia al “equilibrio”. Fundamentalmente puesto en acción cuando explican la dinámica del átomo.

A raíz de estos resultados fue que elegimos como conceptos marcadores: energía, fotón y estado.

Finalmente, en la tercera fase, en los fragmentos de clase analizados, tomados de dos clases centrales de la secuencia, se puede apreciar a través de las intervenciones y acciones de alumnos y docente, el juego interactivo en el que se van entramando los hilos del aprendizaje. A primera vista asoma la tentación de suponer que en ese clima de aparente desorden no hay posibilidad de construcción de conocimientos. Sin embargo, las evaluaciones cuali y cuantitativas dan cuenta de algunos de los cambios que han experimentado los estudiantes desde el punto de vista de los contenidos.

Por otro lado, y ya en una cuestión muy específica, se nota que el concepto de energía que expresan los estudiantes a través de las respuestas muestra claramente sus esfuerzos por establecer lazos con objetos que les resulten más familiares, que aún sin mayores precisiones les permiten por lo menos mencionar ejemplos que den indicio de que sí poseen una idea aproximada de lo que es este constructo. De manera que nos encontramos con una noción de energía muy desdibujada, distribuida en otros conceptos: movimiento, cargas eléctricas, objeto que sirve para que algo funcione.

IX. CONCLUSIONES

En la hipótesis planteábamos la idea de un aprendizaje continuo y secuencial, construido con los aportes de una enseñanza asistida por una variedad de recursos con los que no se contaba hasta hace pocos años. Sin embargo los análisis realizados sobre los trabajos que desarrollaron los estudiantes a lo largo de toda la secuencia señalan la presencia de indicios a favor de un aprendizaje discontinuo, con una dependencia menor de lo esperado con respecto al proceso de instrucción, fuertemente dependiente de los esquemas propios, y en el que la construcción del conocimiento se asimila más con una trayectoria de trazos cuyos espacios en blanco no se completan fácilmente. Y donde probablemente tengan un papel importante aquellos conceptos que el mismo estudiante elige como vehículos de sentido entre esas pequeñas islas de conocimiento, a los que les hemos denominado ‘conceptos marcadores’.

Esto nos lleva a justificar en parte las dificultades que se perciben en este nivel cuando se plantea como propósito de la enseñanza una visión integradora de los conocimientos. Es importante también que

continuemos trabajando en los modos de favorecer la generación de inferencias, que es otra de las alternativas de las que dispone el pensamiento para establecer relaciones.

El estudio acerca de las respuestas en los trabajos escritos de los estudiantes conduce a pensar que los intentos por aprender a conceptualizar objetos de los cuales no poseen referencias previas vinculadas a la enseñanza escolar parecen evidenciarse a través de conexiones que realizan en forma muy precaria con:

1. Modestas nociones de física clásica o;
2. Con información específica o general facilitada por la divulgación o por percepciones de la vida cotidiana.

Lo que nos lleva a afirmar que es importante conducir parte de las acciones didácticas a efectuar discriminaciones muy puntuales acerca de los atributos de los objetos nuevos, ya sea porque no fueron presentados con anterioridad o porque se exponen dentro de un modelo físico diferente. La búsqueda de vínculos entre las expresiones orales de los estudiantes durante el desarrollo de las clases fue un desafío, ya que su discurso, escaso y frecuentemente descontextualizado, hizo que las marcas que encontráramos fueran pocas y fragmentadas. Sin embargo, esa misma actitud fue la que nos condujo a explorar de manera más sistemática otras acciones además del habla: gestos, actitudes, silencios.

Los gestos son escritura en el aire (Vigotsky, 2009: 162)

Tomando como referente inicial la evaluación del trabajo realizado y el contexto en que se desarrolló, es posible vislumbrar como favorable la inserción gradual de conceptos de física cuántica empleando como vías de instrucción los diferentes temas insertos en el diseño curricular del área.

Teniendo claro el grado de profundidad que se puede pensar como expectativa desde las diversas experiencias realizadas, nos parece posible abordar con bastante fidelidad y en una primera aproximación, los conceptos de fotón, de probabilidad y de estado; en un segundo avance, el significado de las constantes en Física y la noción de incertidumbre, en el marco de uno de los modelos más productivos de las ciencias tal como es el modelo atómico actual.

La construcción del modelo atómico actual, como de cualquier otro modelo, exige una reconstrucción interna, donde sea posible revitalizar la interacción entre una diversidad de esquemas en los que no deberían faltar aquellos más ligados al álgebra. De lo contrario corremos el riesgo de favorecer la consolidación de una imagen muy reducida, poco representativa de la complejidad del mismo.

REFERENCIAS

Abusamra, V., Casajús, A., Ferreres, A., Raiter, A., De Beni, R. y Cornoldi, C. (2011). *Leer para comprender*. Buenos Aires: Paidós.

Asimov, I. (1999). *Breve historia de la química*. España: Alianza Editorial.

Dallera, O. (2012). *La Sociedad como Sistema de Comunicación. La teoría sociológica de Niklas Luhmann en 30 lecciones*. Buenos Aires: Ed. Biblos.

Eisberg, R. y Resnick, R. (2000). *Física Cuántica. Átomos, moléculas, sólidos, núcleos y partículas*. México: Limusa.

Escudero, C. (2005) Inferencias y modelos mentales: un estudio de resolución de problemas acerca de los primeros contenidos de Física abordados en el aula por estudiantes de nivel medio. Tesis doctoral. Universidad de Burgos-Universidad Federal de Rio Grande do Sul.

Grillo, M. (2011). La prensa Gráfica. En Barcia, P. (Coord.) *No seamos ingenuos. Manual para la lectura inteligente de los medios*. Buenos Aires: Santillana.

Klein, E. (2003). *La Física cuántica*. México: Siglo XXI editores.

Mendizábal, N. (2012) Los componentes del diseño flexible en la investigación cualitativa. En Vasilachis, I. *Estrategias de investigación cualitativa*. Buenos Aires: Gedisa.

Piscitelli, A. (2009). *Nativos digitales. Dieta cognitiva, inteligencia colectiva y arquitecturas de la participación*. Buenos Aires: Santillana.

González, S.

Siri, L. y Vázquez V. G. (comp.) (2011). *Casos concretos. Comunicación, información y cultura en el siglo XXI*. Buenos Aires: La Crujía.

Vasilachis de Gialdino, I. (2007). El aporte de la Epistemología del Sujeto Conocido al estudio cualitativo de las situaciones de pobreza, de la identidad y de las representaciones sociales. *Forum Qualitative Sozialforschung/Forum: Qualitative Social Research*, 8(3) Art. 6, <http://www.qualitative-research.net/index.php/fqs/article/view/290/637>

Vergnaud, G. (1983). Actividad y conocimiento operatorio. En: Coll, C. *Psicología genética y aprendizajes escolares*. Madrid: Siglo XXI.

Vergnaud, G. (1993). Teoria dos Campos Concetuais. In Nasser, L. (Ed.) *Anais do 1er. Seminário Internacional de Educação Matemática de Rio de Janeiro*. 1-26

Vergnaud, G. (2007). ¿En qué sentido la Teoría de los campos conceptuales puede ayudarnos para facilitar aprendizaje significativo? *Investigações em Ensino de Ciências*, 12(2), 285-302.

Vergnaud, G. (2012). Forme opératoire et forme prédictive de la connaissance. *Investigações em Ensino de Ciências*, 17(2), 287-304.

Vigotsky, L. (2009). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Buenos Aires: Crítica.