

La Pedagogía de la Investigación y del Cuestionamiento del Mundo y el *Inquiry*: un análisis desde la enseñanza de la Matemática y la Física¹

Otero, María Rita^{1,2}; Fanaro, María de los Ángeles^{1,2}; Llanos, Viviana Carolina¹

rotero@exa.unicen.edu.ar; mfanaro@exa.unicen.edu.ar; vcllanos@exa.unicen.edu.ar

¹ Núcleo de Investigación en Educación en Ciencia y Tecnología
NIECYT-UNCPBA

² Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas. CONICET

Resumen

En este trabajo intentamos utilizar las nociones de Pedagogía de la Investigación y del Cuestionamiento del Mundo (PICM) y de Recorridos de Estudio e Investigación (REI) para analizar críticamente el enfoque genéricamente denominado *inquiry* y sus declinaciones. Realizamos una breve síntesis histórica para mostrar las sucesivas declinaciones del *inquiry* para adaptarlo a la "realidad" escolar. Adelantamos nuestra posición a favor de la solidez de la TAD como marco teórico y su potencia para reinterpretar los problemas que el *inquiry* pretende resolver, sin lograrlo, porque carece de una perspectiva didáctica y de fundamentos teóricos definidos.

Palabras Clave: Teoría Antropológica de lo Didáctico, Inquiry, Pedagogía de la Investigación y del cuestionamiento del mundo, REI

La pédagogie de l'enquête et l'*inquiry*: une analyse depuis l'enseignement des mathématiques et de la physique

Résumé

Dans ce travail nous utilisons les notions de pédagogie de l'enquête et du questionnement du monde et de parcours d'étude et recherche (PER) pour analyser d'une manière critique l'approche génériquement nommé *inquiry*. Nous faisons une petite synthèse historique, pour montrer les déclinaisons successives de l'*inquiry* pour l'adapter à la "réalité" scolaire. Nous avançons notre position en faveur de la solidité et de la TAD comme cadre théorique, ainsi que son pouvoir pour réinterpréter des phénomènes, et aborder les problèmes et les difficultés que l'*inquiry* essaie de résoudre, sans réussir, parce qu'il manque d'une perspective didactique explicite et des fondements théoriques définis.

Mots clés : Théorie Anthropologique du didactique, Inquiry, Pédagogie de l'enquête et du questionnement du monde, Parcours d'étude et recherche.

The pedagogy of research and questioning the world and the Inquiry: an analysis from mathematics and physics teaching

Abstract

In this paper we try to use the ideas of the pedagogy of the research and questioning the world and the Study and Research Paths (SRP) to analyze critically the approach called Inquiry. We have realized a brief historical synthesis showing the successive declines of the Inquiry approach when it has been adapted to the school "reality". We establish our position in favor of the Anthropological Theory of the Didactic (ATD) as a powerful theoretical frame to reinterpret the problems that the Inquiry tries to solve, without success, because it lacks a didactic perspective and defined theoretical foundations.

¹ Una versión preliminar de este trabajo fue aceptada para comunicación oral en el IV^o congreso internacional sur la TAD (Toulouse, 21-26 abril 2013) y se encuentra publicada en las pre actas del Congreso.

Key words: Anthropological Theory of the Didactic, Inquiry, Pedagogy of research and questioning the world, Study and Research Paths.

A pedagogia da investigação e do questionamento do mundo e ló Inquiry: uma análise a partir do ensino da Matemática e Física

Resumo

Neste trabalho nós tentamos utilizar as ideias da Pedagogia da Investigação e do questionamento do Mundo e dos Percursos de Estudo e Investigação (PEI), para analisar duma maneira crítica o enfoque nomeado inquiry e suas declinações. Nós fazemos uma breve síntese histórica, para mostrar as declinações sucessivas da pesquisa tentando adaptar o ensino por investigação a "realidade" da escola. Nós avançamos nossa posição favorável a teoria antropológica do didático, entanto referencial teórico adequado para reinterpretar os problemas que o ensino por investigação tenta resolver, sem sucesso, porque carece duma perspectiva didática e dos fundamentos teóricos definidos.

Palavras chave: Teoria Antropológica do Didático, Percursos de estudo e investigação, Inquiry, Pedagogia da Investigação e do questionamento do Mundo.

1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo utilizamos las nociones Pedagogía de la Investigación y del Cuestionamiento del Mundo (PICM) y de Recorrido de Estudio e Investigación (REI) para analizar críticamente el enfoque genéricamente denominado *inquiry* y sus declinaciones (*inquiry based science education (IBSE)* o *inquiry based science teaching (IBST)*, *inquiry based science learning (IBSL)*, *démarche d'investigation* y *démarche d'investigation scientifique*).

Pretendemos considerar algunas filiaciones y rupturas de estos enfoques, herederos de ideas nacidas hace más o menos 50 años, con la pedagogía de la investigación y del cuestionamiento del mundo y los REI. Como describiremos en una apretada síntesis histórica, estos precursores han sufrido sucesivas declinaciones para adaptarlos a la "realidad" escolar. El análisis se apoya también en nuestras investigaciones, en las cuales hemos puesto en aula 19 implementaciones de REI en Matemática, y 10 en Física.

La Pedagogía de de la Investigación y del cuestionamiento del mundo propuesta por Chevallard en el marco de la TAD, se materializa en los Recorridos de Estudio e Investigación. Suele cuestionarse, aludiendo a la dilatada precedencia temporal del enfoque genéricamente conocido como *Inquiry* ¿Cuál es la novedad y originalidad de los REI?

Defenderemos aquí, que no se trataría en principio de posiciones antagónicas, aunque sí, de diferente filiación. Ambas surgieron como posibles respuestas a las crecientes dificultades para enseñar ciencias y matemática en todo el mundo. Sin embargo, la filosofía subyacente, los objetivos, los diagnósticos y las posturas teóricas asumidas serían diferentes. Adelantamos nuestra posición a favor de la solidez de la TAD como marco teórico, así como su utilidad para reinterpretar fenómenos, y abordar los problemas y dificultades que el *Inquiry* intenta resolver, sin asumir una perspectiva didáctica explícita y sin una fundamentación teórica definida.

Las investigaciones realizadas en Matemática por nuestro equipo, se dirigen a introducir localmente y de manera

controlada, experimental, en algunas escuelas argentinas la pedagogía de la investigación a partir de los REI. Los resultados obtenidos al cabo de las implementaciones (Gazzola, Llanos, Otero, 2013; Llanos, Otero, 2012, 2013; Parra, Otero, Fanaro, 2013; Sureda, Otero, Donvito, 2013; Otero, Llanos, Gazzola, 2012) evidencian las restricciones, de distinto nivel (humanidad, civilización, sociedad, institución, pedagogía, didáctica, etc.) que afectan la ecología de este nuevo paradigma. Sin embargo, ha sido posible desarrollar en clases corrientes de la escuela secundaria los distintos REI hasta ahora propuestos, que tienen mayoritariamente el carácter y las limitaciones de los REI finalizados.

En relación con la enseñanza de la Física, nuestros trabajos se enfocan al estudio de aspectos fundamentales de Mecánica Cuántica (Fanaro, Otero, Arlego, 2009, 2012 a y b) en la escuela secundaria y de la Teoría Especial de la Relatividad (TER) (Otero, Arlego, Prodanoff, 2012). Sin embargo aunque el IBSE está muy difundido en la investigación en enseñanza de las Ciencias, no consideramos que nuestros trabajos están inspirados en este enfoque, que insiste más en difundir la ciencia, sus características, su relevancia social, etc., que en el conocimiento en sí .

2. INQUIRY Y SUS ANTECEDENTES

En USA alrededor de 1960 surgen trabajos que sintetizan una serie de enfoques filosóficos y pedagógicos de la enseñanza y fundamentan el *Inquiry-based learning (IBL)* o *Inquiry-based science (IBS)* (Schwab, 1962). El IBL es un método de enseñanza basado en el *discovery learning*, originado en el *open learning*, cuyo precursor es John Dewey. Se trata de un aprendizaje abierto, sin una meta determinada, donde los estudiantes tienen que construir por sí mismos el resultado del problema o experimento. El profesor los guía al aprendizaje deseado, pero sin hacer explícito el resultado del problema.

Para responder al fracaso de la enseñanza tradicional, basada en memorizar hechos según las instrucciones del

profesor, Bruner (1961) propone el aprendizaje por descubrimiento, largamente distanciado de las formas ortodoxas de repetición y reproducción del conocimiento.

Más tardíamente, se produce una reflexión a nivel internacional sobre el papel de las actividades experimentales en la enseñanza de las ciencias. En los años 1990 surgen “nuevos” currículos -principalmente anglosajones-, cuyos objetivos principales son el desarrollo de una cultura científica y la difusión de una imagen más rica y diversificada de los procesos científicos. Para otorgar más autonomía a los alumnos, se propusieron *tareas más abiertas y actividades de más alto nivel cognitivo*. Estas ideas se difundieron hacia los currículos para la Enseñanza de las Ciencias (Harlen & Allende, J. 2009) como reflejan los programas de la American Association for the Advancement of Science² (AAAS, 1989), el National Research Council³ (NRC, 1996), National Center for Education Statistics⁴ (NCES, 1999), National Middle School Association⁵ (NMSA, 2002), National Science Teachers Association⁶ (NSTA, 2003), entre otros.

En Europa se proponen reformas a partir del programa Eurydice⁷ (2006) y mundialmente se realizan cambios en los planes de estudio y se formulan estrategias para resolver las dificultades al enseñar ciencias por investigación. Los proyectos *inquiry based science teaching* (IBST), *inquiry based education*, *inquiry learning*, *pedagogy inquiry*, etc., proponen enseñar mediante actividades a las que definen como “*de un mayor nivel cognoscitivo y de una mayor autonomía por parte de los estudiantes*”, generadas principalmente a partir de *tareas más abiertas*. Pero la distinción entre tareas abiertas y guiadas no es suficiente para definir la enseñanza por investigación. Entonces, para evaluar estos programas fue preciso clarificar el concepto mismo de *inquiry*, más allá de las diferentes expresiones

utilizadas, puesto que las ideas acerca de en qué consiste la investigación en el aula, no son uniformes.

Para Howes, Lim et Campos (2008), la investigación en clase es “*hacer como hacen los científicos*” mientras contrariamente, para Park Rogers y Abell (2008) la investigación científica no debe confundirse con aprendizaje por investigación, ni con la enseñanza por investigación. Este punto de vista es compartido por otros autores (Gengarelly y Abrams, 2009, citados por Gueudet y al., 2009; Jorde, 2009) mientras que, algunos autores no parecen advertir las enormes diferencias entre la práctica científica y las prácticas de los profesores y los alumnos en clase (Hofstein y Lunetta, 2004).

Un detallado trabajo de síntesis realizado por Minner, Jurist Levy et Century (2009) resumió los resultados de 138 investigaciones sobre la enseñanza por investigación, realizadas principalmente en USA, entre 1984 y 2002. Se buscó aclarar y especificar qué es IBST y también describir el impacto de este tipo de enseñanza en el aprendizaje conceptual de los estudiantes del nivel K12 (educación primaria y secundaria en USA, Canadá, Filipinas y Australia).

Más de la mitad de los 138 estudios se manifiestan a favor de la enseñanza basada en investigación, siempre que se enfaticen el pensamiento activo de los estudiantes y se les permita llegar a conclusiones a partir de datos. También se señala que tales resultados, no son alcanzables con las políticas educativas corrientes, que fomentan un currículum sobrecargado de conceptos científicos y exigen su evaluación en distintas etapas durante la experiencia educativa de los estudiantes. Así, la evaluación recurre a la memorización de los hechos de la ciencia, de sus conceptos y teorías y obliga a los profesores a reducir su enseñanza a la información factual y a la verificación en el laboratorio, en lugar de ofrecer oportunidades para dejar la responsabilidad y la toma de decisiones en manos de sus estudiantes.

Minner et. al. (2009) reconocen que la evidencia sobre los efectos del IBST no es abrumadoramente positiva, aunque, destacan las bondades de una enseñanza basada en el ciclo de investigación: pregunta, diseño experimental, datos, conclusión o comunicación. Si a esto se agrega el estímulo al pensamiento activo de los estudiantes y a su responsabilidad para aprender, según ellos, se mejoraría el aprendizaje de conceptos científicos.

Minner et. al. (2009, p. 5) definen la investigación en clase por tres aspectos: “1) *la presencia de los contenidos científicos*, 2) *el compromiso del estudiante con los contenidos científicos*, y 3) *la responsabilidad, el pensamiento activo y la motivación del estudiante con al menos un componente del ciclo de investigación.*”

Según Park Rogers y Abell (2008) en el aprendizaje por investigación científica los alumnos deben:

“Involucrarse en cuestiones orientadas científicamente, dando prioridad a la evidencia, permitiéndoles desarrollar y evaluar las explicaciones que conducen a preguntas orientadas científicamente; formular explicaciones y pruebas dirigidas a preguntas

² La *American Association for the Advancement of Science* (AAAS) es un organismo internacional para el avance de la ciencia en el mundo. Publica el diario la Ciencia, boletines de noticias científicas, libros e informes. <http://www.aaas.org/aboutaaas/>.

³ El programa *National Research Council* (NRC) promueve la adquisición y difusión del conocimiento en asuntos relacionados con la ciencia, la ingeniería, la tecnología y la salud. <http://nationalacademies.org/nrc/>.

⁴ El *National Center for Education Statistics* (NCES) recoge y analiza datos relacionados con la educación en todo el mundo, para servir a la investigación y la educación. <http://nces.ed.gov/>.

⁵ La *National Middle School Association* (NMSA), desde 2011 *Association for Middle Level Education* (AMLE) conecta maestros, administradores, formadores de docentes, padres y miembros de la comunidad que trabajan con estudiantes en edad escolar entre 10-15 años. Propone mejorar la calidad educativa en todo el mundo (son 58 los países asociados).

⁶ La *National Science Teachers Association* (NSTA), fundada en USA en 1944, promueve la excelencia y la innovación en la enseñanza de la ciencia y el aprendizaje para todos. La NSTA incluye profesores de ciencias, científicos, representantes de las empresas y la industria, y otras personas involucradas y comprometidas con la educación científica.

⁷ *Eurydice* es una red institucional creada por la Comisión Europea en 1980 para impulsar la cooperación en el ámbito educativo, que apoya y facilita la cooperación en el ámbito del aprendizaje permanente, informando sobre los sistemas educativos y políticas en 34 países y estudiando problemas comunes a los sistemas educativos europeos.

orientadas científicamente; evaluar sus explicaciones a la luz de explicaciones alternativas, reflejando en particular comprensión científica; comunicación y justificación de las explicaciones propuestas" (p. 592).

Estas características, permiten distinguir entre el "partial inquiry" o versión débil, que no asume todos los aspectos, y el "full inquiry".

Para el equipo "Mind the Gap⁸: Learning, teaching, research and policy in inquiry-based science education (IBSE)" la investigación es el corazón del método científico: "es lo que los científicos hacen cuando intentan entender el mundo natural formulando preguntas sobre sistemas de objetos, recogiendo datos, haciendo predicciones, probando y eliminando ideas" (Jorde, 2009, p. 1). Sin embargo, la ciencia escolar debe ser distinguida de la práctica científica: "lo que el científico hace no es lo mismo que la ciencia escolar" (Jorde, 2009, p. 2).

El IBST tendría las cuatro características siguientes:

1. "actividades de aprendizaje basadas en auténticos problemas, donde no hay una respuesta correcta";
2. una cierta cantidad de procedimientos experimentales, experimentos y actividades del tipo "hands on activities", incluida la búsqueda de información;
3. secuencias de aprendizaje autorregulado donde se enfatiza la autonomía de los estudiantes ;
4. argumentación discursiva y comunicación con los pares ("talking science"). (Jorde, 2009, p. 4)

En Francia, las actividades de aprendizaje aparecen a finales de los años 1990. Según Kahn (2000) estas actividades, anti positivistas y anti empiristas se oponen a la vieja idea de una progresión de lo simple a lo complejo. Inspirado en las ideas de Bachelard, este modelo prioriza la problematización y las representaciones de los alumnos (Orange y Plé, 2000). Pero las actividades de aprendizaje no viven mucho tiempo, porque los cambios institucionales transforman la escuela primaria en "propedéutica de la enseñanza secundaria".

En 1996 surge en Francia "Las manos en la masa" propuesto por Charpak (premio Nobel de Física) quien se basó en la experiencia de Lederman en Chicago (Charpak, la Lena y Quéré, 2005). Frente a la decadencia de la enseñanza de las ciencias en la escuela (sólo una minoría de profesores del primario integran las ciencias en sus prácticas), este proyecto intentó transformar la escuela primaria. Charpak obtuvo apoyo institucional de la Academia de Ciencias y del Ministerio de Educación de Francia y el proyecto se generalizó con el auxilio del INRP⁹, después de un período de experimentación.

⁸ Mind the Gap (2008 y 2010) es un proyecto dirigido a usar los principios del IBST para aumentar la cantidad de jóvenes en carreras de ciencia y tecnología. Involucra a Noruega, Dinamarca, Alemania, Hungría, Reino Unido, España y Francia e incluye "paquetes de trabajo" para las prácticas de IBST en los distintos contextos. Actualmente el proyecto se denomina S-team.

⁹ INRP Institut National de la Recherche Pédagogique.

Las orientaciones dadas a los profesores sobre cómo organizar la enseñanza de las ciencias, ilustran el ideario pedagógico del programa:

1. Los niños **observan** un objeto o un fenómeno del mundo real, próximo y sensible, y experimentan en él;
2. En el curso de sus investigaciones, **los niños argumentan y razonan**, ponen en común y discuten sus ideas y sus resultados, construyen sus conocimientos, una actividad puramente manual no basta;
3. Las actividades propuestas a los alumnos por el profesor **son organizadas en secuencias** con vistas a una progresión de los aprendizajes. Dependen de programas y dejan una parte amplia a la autonomía de los alumnos;
4. Una cantidad mínima de dos horas a la semana se dedica al mismo tema durante varias semanas. Una continuidad de las actividades y de los métodos pedagógicos se asegura sobre toda la escolaridad;
5. Los niños tienen cada uno un cuaderno de experiencias con sus palabras;
6. El objetivo superior es **una apropiación progresiva, por los alumnos, de conceptos científicos y de técnicas operatorias**, siendo acompañado por una consolidación de la expresión escrita y oral;
7. Las familias y/o el barrio son requeridos para el trabajo realizado en clase;
8. Localmente, socios científicos (universidades, grandes escuelas) acompañan el trabajo de la clase poniendo sus competencias a disposición;
9. Localmente, el IUFM¹⁰ ponen su experiencia pedagógica y didáctica al servicio del profesor;
10. El profesor puede obtener de la página internet los módulos que hay que poner en ejecución, ideas de actividades, respuestas a sus cuestiones. Puede también participar en un trabajo cooperativo dialogando con colegas, formadores y científicos.

Un trabajo de la Inspección general (Sarmant, 1999) destaca los efectos positivos sobre el comportamiento social y moral de los alumnos, sobre el mejoramiento del espíritu lógico y de las capacidades de expresión y sobre la adquisición de conocimientos científicos. Pero, el informe subraya la aparición de ciertas desviaciones tales como un énfasis excesivo en lo "metodológico", o en lo "tecnológico" o en el "relativismo" que no considera al saber de referencia.

"La main à la pâte" podría considerarse como la versión francesa del programa *Inquiry-Based Science Education* (IBSE) dirigido a promover el interés de los estudiantes por la ciencia. En el año 2000 se propone generalizar el IBSE a toda la escuela primaria. Ese mismo año, las *classes préparatoires aux grandes écoles*¹¹ (CPGE) introducen los *travaux d'initiative personnelle encadrés* (TIPE), se trata de un trabajo personal donde los alumnos plantean las

¹⁰ IUFM Institut Universitaire de Formation de Maitres.

¹¹ Las *classes préparatoires aux grandes écoles* (CPGE), son parte de la post-secundaria francesa. Se componen de dos años muy intensos que actúan como un curso preparatorio con el objetivo principal de capacitar a los estudiantes de pregrado para la inscripción en los centros de enseñanza superior.

cuestiones que les interesa estudiar y proponen nuevos problemas a investigar; *como lo hacen los científicos*. Los TIPE evolucionan hacia los *travaux personnels encadrés* (TPE), donde se realiza una producción personal y autónoma, por grupos o individualmente, pero cada proyecto articula más de una disciplina. Los temas a estudiar son elegidos por los profesores y el trabajo culmina en una realización concreta que será objeto de una comunicación oral. Las preguntas solo “sirven” de hilo conductor a la actividad del alumno y la “bidisciplinariedad” es también impuesta de antemano.

El proyecto «Real Science» desarrollado por el National Endowment for Science, Technology and the Arts en UK (NESTA, 2005) considera que el aprendizaje por investigación científica es una forma educativa científica, donde los alumnos: formulan preguntas e hipótesis, las someten a prueba y las revisan, se basan en experimentos y observaciones, y presentan sus conclusiones a otros. Esta práctica debe permitir a los alumnos comprender los métodos, los resultados y los usos de la ciencia aunque las actividades **no sean las mismas que las de los científicos**. La idea general, es que esta forma de enseñanza **desarrolla una comprensión de las prácticas científicas y de los conocimientos científicos**. Finalmente, esto debería animar a los alumnos a proseguir estudios científicos.

3. INVESTIGACIONES SOBRE LA ENSEÑANZA POR INVESTIGACIÓN

Muchas investigaciones educativas analizaron los distintos programas y las modificaciones introducidas en las prácticas de enseñanza en todos los niveles. Sobre la *main à la pâte* (Desbeaux-Salviat, 2002; Jasmin, Queré, 2002; Léna, 2007; Pol, 2005); en la línea del *inquiry* o *demarche d'investigación* (Abd-El-Khalick et al., 2004; Anderman & Sinatra, 2012; Boilevin, Morge, Delsérieys, 2010; Brickman, et. al., 2009; Calmettes & Boilevin, 2010; Gueudet, 2010; Hammoud, Le Maréchal & Trouche, 2010; Hauray, 1993; Hosson, Mathé, Méheut, 2010; Minner, Levy & Century, 2009; Monod, et. al., 2010).

Todas pretenden analizar y proponer acciones para crear una “cultura de investigación” e insertar elementos de la investigación científica en las instituciones educativas. Sobre los *travaux personnels encadrés* (TPE) las investigaciones de Blondel et al. (2004), Brochet & Chatillon (1999), Corinne (2004); Rumelhard (2003), Schneeberger, P. (2003), Schneeberger et al. (2004); Venturi, et al. (2005) han analizado las características de la introducción y la práctica experimental de los TPE en el aula.

También hay investigaciones que introducen y analizan las características del *inquiry* en Matemática, y las modificaciones que se introducen a partir de los programas que lo llevan adelante en diferentes niveles y contextos (Aldon, 2010, Aldon & Durand-Guerrier, 2009, Días & Durand-Gierrier, 2005, Schoenfeld, Herrmann & Douglas (1982)).

Otras investigaciones como las de Artigue & Robinet (1982), Bettinelli (2006), Boule (2003), Colsaët (2004, 2005), Días (2004, 2005), Kuntz (2004) proponen introducir una enseñanza por investigación en las clases de matemática en la escuela primaria, mientras que las investigaciones de Goos (2004); Goos et. al. (2003), Jaworski (2004, 2006), Jarrett (1997), Kuntz (2005) presentan resultados de las investigaciones sobre propuestas de aula que involucran problemas abiertos, o problemas de investigación; que requieren de respuestas colaborativas en el aula de la escuela secundaria.

Desde los años 60 hasta la actualidad se ha intentado introducir la investigación en el aula, prescribiendo modificaciones en las actividades de enseñanza y aprendizaje. Inicialmente, se dio importancia a los problemas abiertos versus cerrados. Luego, desde los 90, se enfatizaron aspectos ligados con los procedimientos científicos y con la formación de “*estudiantes investigadores*”. Se enfatizan aspectos psicológicos y epistemológicos a la hora de destacar la importancia de introducir la investigación en las clases de ciencias. Se señalan mejoras en: la comprensión de los conceptos científicos y de la naturaleza de la ciencia, en la disposición a responder preguntas y en las actitudes hacia las ciencias (Gengarely et Abrams, 2009). Para el equipo “Mind the Gap” la investigación en clase no es tal, si no mejora la comprensión y la práctica de la ciencia.

Por su parte, el informe Eurydice (2006) recomienda el desarrollo de un razonamiento científico mediante la investigación:

El desarrollo de un raciocinio científico reposa en una enseñanza y aprendizajes que subrayan la importancia del desarrollo de una comprensión holística de las actividades y al reflejar procedimientos científicos, un enfoque de aproximación a los científicos profesionales. La investigación sugiere que las ciencias, en el nivel secundario, presentan a veces una visión más “estereotipada”, como actividades prácticas (donde las actividades son concebidas para desembocar en conclusiones dictadas o evidentes). La enseñanza primaria parece abierta a las actividades de investigación. (p. 78).

Sintetizando, concluimos que el *inquiry* originó el desarrollo de *nuevos planes de estudio* orientados hacia lo que inapropiadamente se ha dado en llamar “*alfabetización científica*”; hacia la a la introducción de elementos del “*método científico*” en la educación elemental, a “*formar pequeños científicos*”, a proponer una enseñanza basada en preguntas que se responden utilizando “*el método hipotético-deductivo*” tal como se evidencia en el aquí mencionado, ciclo de investigación científica. A nuestro juicio, las definiciones y las recomendaciones que hemos documentado, tienen una orientación más o menos positivista y sesgada de lo que es hacer ciencia. Sobre eso, se generaron reformas y recomendaciones a los docentes (que según el país son más o menos restrictivas) para *instalar* y difundir una enseñanza basada en los procedimientos científicos de las ciencias experimentales, a partir de preguntas y problemas más o menos abiertos.

Destacamos el énfasis que en las definiciones y en las recomendaciones de los diferentes proyectos mencionados se otorga a la importancia de aprender *sobre* la ciencia y sus métodos, como si estos fueran evidentes, o universales. Como era de esperar, esto produjo resultados poco deseables, como la difusión de una visión estereotipada de la ciencia y la trivialización de “*el método científico*”. Por otro lado, la ausencia de una concepción sistémica y antropológica ha vuelto cargar las tintas sobre la “*mala preparación de los profesores para llevar adelante los cambios*”, lo cual, se ha usado como argumento para explicar las *desviaciones* y declinaciones de la enseñanza por investigación a lo largo del tiempo.

4. RESULTADOS Y DIFICULTADES DE LA ENSEÑANZA POR INVESTIGACIÓN

Los nuevos curriculum, que introducen la investigación científica en clase, demandan modificaciones importantes de las prácticas docentes. Por su parte, las investigaciones se han ocupado de mostrar que: los profesores experimentan serias dificultades para realizar las modificaciones requeridas, *debido a la carencia de una formación apropiada*.

Crawford (2007) ha destacado que las creencias sobre lo que es la ciencia y sobre su enseñanza tienen la mayor influencia entre los diversos factores que inciden en el desarrollo de los docentes. Luft (2001) estudia el impacto de un programa de enseñanza por investigación científica sobre las concepciones y las prácticas de profesores principiantes y con experiencia, comprobando que los principiantes modifican sus concepciones más que sus prácticas, mientras que el fenómeno se invierte para los profesores experimentados.

Para Windschitl, Thompson y Braaten (2008) los profesores debutantes no logran abandonar una “visión mítica del método científico” que reproducen en clase con sus propios alumnos.

Gyllenpalm et. al. (2010) consideran que desarrollo de una cultura científica requiere una comprensión de la investigación científica y de la naturaleza de la ciencia. Esto supone que los estudiantes de profesorado practiquen la enseñanza por investigación y reflexionen sobre el proceso. Según ellos, los profesores están más preocupados por los aspectos pedagógicos de la investigación y la comprensión de los productos de la ciencia, que por los procesos de la investigación científica, no siendo esta última considerada como un conocimiento conceptual.

Tang, Coffey, Elby y Levin (2010) señalan las tensiones que surgen en clase cuando los profesores otorgan excesiva importancia a las etapas del método científico en detrimento de las investigaciones producidas por los propios alumnos. La relevancia de la formación científica los profesores es mencionada en el informe Eurydice 2006:

Los lazos entre los conocimientos y las competencias científicas de los profesores, las

maneras como ellos enseñan ciencias, así como las consecuencias para los alumnos, son establecidas en muchos estudios. Ha sido demostrado que el nivel de conocimientos de los alumnos está ligado a las competencias de sus profesores en las disciplinas relacionadas. Esto ilumina la importancia de la formación de los profesores y más específicamente de su formación en los procesos científicos” (p. 78).

Para Blanchard, Southerland y Granger (2009) uno de los mayores obstáculos del IBSE es que pocos profesores tienen experiencia en la investigación científica y poseen ideas muy ingenuas sobre ésta. El equipo « Mind the Gap » ha estudiado el desarrollo de los profesores de secundaria inferior en siete países europeos, con relación a la enseñanza de ciencias basada en investigación (Lipowski & Seidel, 2009). En particular, consideran prometedor al dispositivo SINUS¹² (Ostermeier et al., 2009) desarrollado en Alemania, aunque necesitaría de adaptaciones a los diferentes sistemas educativos, si tuviera que servir de modelo.

A nuestro juicio, se ha sobredimensionado el papel de las “*creencias de los docentes sobre la ciencia*”, aunque esto es coherente con la definición que se adopta de *inquiry*. Por otro lado, si bien la formación de los profesores es un punto central, el problema no puede reducirse a sus creencias. Hay todo un conjunto de niveles de codeterminación que empieza en la civilización occidental y termina muy lejos en el nivel del aula, y del profesor, que no puede ignorarse a la hora de comprender el problema de porqué no se logra introducir la enseñanza por investigación en la escuela. También hay que enfocar el problema desde un punto de vista macro y micro didáctico, para pensar el complejo problema de la formación de los profesores.

5. LA TAD Y LA PEDAGOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN Y DEL CUESTIONAMIENTO DEL MUNDO.

Para la TAD, la actividad matemática es una, entre el conjunto de actividades humanas, es decir, es un producto de la cultura y de la necesidad humana de resolver y responder cuestiones vitales. Cuando la matemática se presenta como un conjunto de obras ya hechas, terminadas y cerradas, incuestionables, a las que a lo sumo se puede visitar, se produce un fenómeno que se denomina monumentalización del saber, asociado al denominado paradigma monumentalista o de visita a las obras. Relacionado con este paradigma tradicional, aplicacionista y monumentalista, se existe el fenómeno denominado: pérdida de sentido de las cuestiones matemáticas que se estudian o se proponen explícita o implícitamente en una institución. Estos fenómenos son parte de la cultura escolar dominante desde hace más de 150 años, particularmente, son fácilmente reconocibles en la escuela secundaria, que es el objeto de nuestro interés.

¹² SINUS (Increasing the Efficiency of Mathematics and Science Instruction) es un programa de formación de profesores desarrollado en Alemania y ampliamente testeado.

Si bien la TAD proporciona un conjunto de instrumentos teóricos para analizar la actividad matemática escolar y para modificarla en el sentido de una pedagogía completamente diferente, llamada Pedagogía de la Investigación y del Cuestionamiento del mundo, que permite enfrentar el fenómeno de la monumentalización, se trata de un trabajo y de un proceso de largo aliento, para el cual, aún no se dispone en las instituciones escolares de la infraestructura necesaria. Sin embargo, esto no inhibe las investigaciones que intentan analizar la ecología del nuevo paradigma en la escuela secundaria, ni los intentos seguramente parciales e incompletos, de al menos llevar a cabo algunos gestos de la Pedagogía de la investigación y del cuestionamiento del mundo.

Los REI son un dispositivo didáctico que organiza el saber en una sucesión de pares de preguntas Q y respuestas R . Las preguntas proveen las razones de ser del estudio y recuperan el sentido, perdido en el olvido de las preguntas que originaron el saber. En un REI un conjunto de estudiantes X con ayuda de uno o más profesores Y , estudian una cuestión generatriz Q^* en búsqueda de una respuesta R^* . Dependiendo de la generatividad de Q^* y de sus preguntas derivadas, los REI permiten estudiar distintas organizaciones, matemáticas o no, como parte del proceso de construcción de una respuesta válida a Q^* . La relevancia otorgada a las preguntas, es clave para superar el paradigma clásico de “visitar los saberes”, e intenta introducir al grupo de clase, en el nuevo paradigma de “interrogar al mundo”. Según Chevallard (2013), éste último descansa en cinco actitudes interrelacionadas: la actitud de problematización, la de ser herbartiano, pro cognitivo, exotérico y enciclopedista libre.

5.1. Las cinco características de la PICM

Herbartiana es la actitud receptiva hacia preguntas que aún no han sido respondidas, especialmente las que involucran matemática (Chevallard, 2012a, 2012c, 2013).

Por ejemplo, consideremos a un ciudadano que tenga que realizar una inversión y quiera conocer el valor actual de la misma. Supongamos que este ciudadano ingresa a la enciclopedia Wikipedia y encuentra lo siguiente:

La fórmula que nos permite calcular el Valor Actual Neto es:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

V_t representa los flujos de caja en cada periodo t .
 I_0 es el valor del desembolso inicial de la inversión.
 n es el número de periodos considerado.

El tipo de interés es k . Si el proyecto no tiene riesgo, se tomará como referencia el tipo de la renta fija, de tal manera que con el VAN se estimará si la inversión es mejor que invertir en algo seguro, sin riesgo específico. En otros casos, se utilizará el costo de oportunidad.

Cuando el VAN toma un valor igual a 0, k pasa a llamarse TIR (tasa interna de retorno). La TIR es la

rentabilidad que nos está proporcionando el proyecto.

Quien adopte una actitud herbartiana, se formulará un conjunto de preguntas, a las que decidirá enfrentar, es decir explorar. Por ejemplo, ¿Qué significa que el VAN sea cero, o mayor o menor que cero? ¿Cómo se calcula k cuando el $VAN = 0$? ¿Y si k es variable, o constante, cómo se calcula esa suma de n términos? ¿Cómo se calcula el VAN si voy a comprar un auto 0 km a pagar en 70 cuotas iguales de \$1500 cada una?

“Este tipo de ciudadano considera que el mundo se enfrenta en el interrogatorio, por tanto, afrontará las preguntas y siempre que sea posible, luchará a brazo partido con ellas” (Chevallard, 2012a).

Por el contrario, el ciudadano *pre-Herbartiano* “*desconsidera todas estas preguntas porque por lo general, retrocede frente a algo aparentemente matemático*”.

Procognitiva es la actitud de conocer siempre hacia adelante, es decir, buscando la respuesta a la pregunta con y a la vez más allá de aquello que sabemos de antemano. Así, frente al conocido problema de la Edad del Capitán, los *procognitivos* se lanzarían a la aventura de reformularlo, habida cuenta de su sin sentido, para que adquiera sentido, en lugar de tratar de obtener una respuesta que sí o sí utilice los “datos” del problema, y sea necesariamente absurda. Sin embargo, el problema y la respuesta habitual al mismo, señalan una creencia típicamente escolar, que establece que los problemas siempre tienen solución y que la solución está dentro de ellos o es conocida de antemano. Esta actitud, contraria a la *procognitiva*, podría encuadrarse en lo que Chevallard llama la actitud *retrocognitiva*, que consiste en remitirse preferentemente y casi exclusivamente a lo que ya se conoce, cuando se enfrenta una pregunta que involucra a la matemática (es posible identificar esta actitud en otros ámbitos del saber).

Según Chevallard (2012a):

La retro cognición en este sentido, está gobernada por el cuasi postulado según el cual, una vez que la escuela y el colegio terminaron, si Usted no sabe por adelantado la respuesta a la pregunta que afronta, entonces sería mejor renunciar a toda pretensión de llegar a una respuesta sensible.

Así, el paradigma escolar clásico que produce la monumentalización, también promueve la *retro cognición*, porque solo se pregunta a los estudiantes lo que ya se les enseñó, más aún, se considera ilegítimo que un profesor pregunte lo que no enseñó, un signo de que está violando las reglas del contrato.

Contrariamente entonces, la PICM promueve la actitud *procognitiva*. Se trata de conocer hacia adelante, de avanzar en lugar de mirar atrás, pero también, de estudiar a toda edad y en cualquier momento. Un ciudadano *procognitivo* debe estar preparado para estudiar y aprender, desde el principio, campos de conocimiento nuevos para él. Debe volverse una persona bien informada y lista para estudiar

obras desconocidas, simplemente porque alguna pregunta demanda su estudio.

Exotérica es la actitud de quien acepta que el conocimiento siempre es a conquistar o controlar. Esta noción es asumida en el sentido atribuido por Pitágoras, en cuya escuela existían dos tipos de estudiantes: esotéricos, los que ya saben; y exotéricos, los que tienen que aprender. Chevallard (2012b) afirma:

Muy generalmente, el ciudadano debe situarse, de hecho, como un exotérico, y no lamentarse de no ser un esotérico. “Voy a estudiar tal cuestión; necesito para esto de ciertos conocimientos e ignoro su naturaleza, pero lo que ignoro lo voy a estudiar, a conquistar o a reconquistar a partir de ahora. En verdad, cada ciudadano, incluido el supuesto especialista, debe pensarse constantemente como un exotérico. La figura del esotérico es un engaño, epistemológica y didácticamente.

Enciclopedista ordinario se trata de un ciudadano que posee una formación relativamente universal, alguien que sabe “poco” de muchos asuntos, pero que está en condiciones de aprender y de buscar, lo contrario sería, saber “mucho de poco”, con lo cual sería un especialista. Es una actitud curiosa, en un mundo que preconiza la especialización creciente, sin embargo, un especialista en diabetes infantil, puede ser un enciclopedista ordinario en música, matemática, física o ecología. Se trata entonces de estar abierto a nuevos conocimientos, sin por ello requerir saberlo todo, o saber mucho para aventurarse en lo nuevo.

6. LA PEDAGOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN Y CUESTIONAMIENTO DEL MUNDO COMO SUPERADORA DEL INQUIRY.

Los estudios sobre las debilidades y fortalezas de las propuestas del *inquiry* mencionados en secciones previas, destacan que la participación activa de los alumnos, mejora su interés por las actividades científicas escolares y por la ciencia en general. Esto es coherente con los objetivos del enfoque y con sus fundamentos.

Ni los desarrolladores, ni los evaluadores de los resultados obtenidos por los proyectos basados en *inquiry* destacan explícitamente o problematizan aspectos didácticos y transpositivos, aunque se preocupan por el bajo “*conocimiento conceptual que logran los alumnos*”. Esto no debería sorprender, pues ni en las recomendaciones, ni en las evaluaciones, el conocimiento científico per se, aparece como una variable a considerar, es decir está implícito. No se advierte como necesario el proceso de construcción de una referencia, o de un *Modelo Praxeológico de Referencia* (MPR) (Chevallard, 2012b). No existe entonces, un análisis de lo didáctico, en el sentido propuesto por la TAD. Esto constituye una diferencia de porte con el paradigma de la PICM propuesto por la TAD, atravesada por los aspectos

transpositivos y por una generalización de la idea de transposición entre comunidades, disciplinas, instituciones, etc. Por tal razón, la ausencia o la naturalización de lo didáctico, propia del *inquiry* produce una diferencia importante a favor de la TAD, en términos de potencia explicativa, de heurística positiva y de posibilidades de tomar distancia de los problemas que los proyectos reportan.

Otra contribución de la TAD, es la noción de REI y el conjunto de instrumentos teóricos de los que se dispone para su concepción y su gestión (análisis praxeológico, niveles de codeterminación, funciones didácticas, dialécticas). Los REI son un correlato *natural* de la PICM, pedagogía que sienta las bases de por qué y para qué, es necesaria la investigación y de cuál es su fundamento. Esta necesidad pedagógica no está explicitada ni delineada en el *inquiry*, aún luego de 50 años de sus inicios.

Los fundamentos de la PICM no residen en la “*alfabetización científica*”, a la que tampoco se contraponen, ni propugnan la formación de *pequeños o grandes investigadores en el aula*, porque el planteo va mucho más allá del relativamente breve período de tiempo en que los ciudadanos asisten a la escuela, comparado con la duración de la vida. Tampoco se trata de decir a los jóvenes qué debe interesarles, afiliándolos a la *causa de la ciencia*, o de realizar planteos apologéticos acerca de su *incierto destino*, como parecería ser el desvelo de los proyectos de IBST. Menos aún, se trata de enfatizar el *papel del método científico*, esto no es necesario, pues va de suyo en la consideración de las praxeologías de referencia y en el análisis transpositivo, propios de la TAD.

Por el contrario, la propuesta de la TAD da lugar a un cuestionamiento más radical, que interpela a las segmentaciones del saber, consideradas *artificiales*, a la *tiranía de las disciplinas* (Chevallard, 2012a), al *esoterismo* que reserva el conocimiento solo para unos pocos, misteriosamente bendecidos en el reparto de la inteligencia.

Los fundamentos están en la formación de ciudadanos genuinamente republicanos y democráticos, que se problematizan y ejecutan libremente el ejercicio de preguntar y de enfrentar cualquier pregunta, hacia adelante, aunque nunca la hayan escuchado, referido o concebido antes, y sin buscar indefectiblemente alguien que si lo haya hecho y diga, qué responder. Se trata de individuos que no esperan, encontrar la respuesta, en algún sitio, o en alguna persona, al contrario, encontrarán las obras de la cultura y quizás a partir de ellas, un posible respuesta. Este es el ejercicio de interrogar a la cultura, y a las obras que ella ha propuesto para elucidar con qué medios es o no posible construir una respuesta, con qué profundidad, y con qué validez. Se trata de discutir la aceptabilidad de la respuesta y en caso afirmativo, de realizar su difusión.

Sin embargo, por ahora, según nuestra experiencia particular, en matemática y física en la escuela secundaria argentina, sólo hemos podido desarrollar REI finalizados. Si bien esto no resuelve el problema de la *monumentalización*, ellos resultaron ecológicamente viables en la escuela secundaria y permitieron hacer vivir algunos elementos de la PICM. Pero en nuestras implementaciones, el medio no está completamente “abierto” y su constitución está bastante

delimitada *a priori*-. La organización del medio ha sido más una responsabilidad del profesor que de los alumnos y en referencia a la *cronogénesis*, el tiempo escolar de estudio no permite un encuentro con variadas OM, a menos, que un REI pueda comenzar en un año y continuar en los siguientes, lo cual ha sido posible ocasionalmente en matemática, pero no en física.

También reconocemos limitaciones en el nivel de la *topogénesis*, puesto que las cuestiones son regularmente formuladas por el profesor. Aunque los alumnos aceptan la dialéctica de las preguntas y las respuestas, pueden asumir una actitud pro cognitiva, enfrentar y hasta proponer preguntas, difícilmente ingresan en una actitud herbartiana. Desde un punto de vista meso genético, encontramos grandes dificultades para ejecutar la dialéctica medio-media, con la intervención de elementos externos, que no sean propuestos solo por el profesor.

Podría decirse entonces, que en los REI finalizados se produce un *encuentro arreglado* con ciertas Organizaciones Matemáticas locales (OML) a partir del estudio de una situación o de un conjunto de ellas. También es cierto que el encuentro es arreglado, en mayor medida para el profesor que para los estudiantes-. Aún así, hemos logrado incidir en el contrato didáctico tradicional de la secundaria para comenzar a introducir algunos gestos de la PICM. Esto es una ganancia importante con relación a la situación imperante en la escuela secundaria y en la recuperación del sentido.

Para nosotros, la TAD tiene también mucho que aportar a la enseñanza de la física. El análisis transpositivo y la construcción de una referencia son esenciales en la generación de situaciones de estudio e investigación en física, y evidentemente, el enfoque antropológico supera esta carencia cuando se lo compara con los proyectos de Inquiry. La reconstrucción de la organización praxeológica de referencia en Mecánica Cuántica (Fanaro, Arlego y

Otero, 2012 a, Fanaro, Otero y Arlego, 2012b) nos ha permitido justificar la adopción de una formulación alternativa a la canónica como la de Feymann y analizar las ventajas, peculiaridades y dificultades de su difusión y enseñanza en la secundaria.

Mientras que en el caso de los REI de matemática ya implementados, el grupo de estudio, y fundamentalmente los estudiantes tienen un relativo protagonismo en la generación del medio, en el caso de las propuestas que hemos diseñado en mecánica cuántica, el medio resulta más controlado por el profesor. Es decir, hemos tenido que controlar la apertura de la pregunta generatriz en MC, por las derivaciones conceptuales que esto puede generar. En consecuencia, los dispositivos producen encuentros decididamente “arreglados” con el saber, en un medio controlado por el profesor. Por lo tanto, al menos en esta parte de la física, muy poco estudiada en la secundaria, aunque mayoritariamente prescripta por todos los programas de estudio en la actualidad, la PICM parecería “vivir” estrictamente hablando, más a partir de dispositivos tipo AEI que de los REI.

Finalmente, en nuestras implementaciones en la escuela secundaria hemos podido constatar la utilidad de los constructos y principios de la TAD para la enseñanza y el aprendizaje de la Matemática y para la realización de investigaciones codisplinares en matemática y física o en matemática y economía.

Con relación a la Didáctica de la Física, aún con las adaptaciones que habría que realizar y analizar, consideramos que la TAD ofrece un marco de referencia que aporta elementos más concretos y viables que los que ofrecen las distintas y en apariencias prometedoras, variantes del inquiry. A continuación, presentamos una tabla que resume esta comparación ciertamente parcial e incompleta que hemos intentado realizar en este trabajo:

	Inquiry	TAD, PICM
Objetivo	“ <i>Alfabetización científica</i> ” Aprender sobre la ciencia Promover el interés de los jóvenes por la ciencia Enfrentar el desinterés por carreras científicas y tecnológicas	La educación como un proceso para toda la vida Creación de un nuevo <i>ethos</i> cognitivo
Didáctica	Pluridisciplinar (Steiner, 1985)	Fundamental
Epistemología	Empirista-Positivista, “El método”	La matemática es para los seres humanos una solución, no un problema
Alumno	Participación activa de los estudiantes en la generación de conocimientos. Estudiantes involucrados en procesos de modelización, experimentación, argumentación, desarrollo de proyectos.	Problematizado, Pro cognitivo , Exotérico , Herbartiano, Enciclopedista ordinario
Aprendizaje	Aprendizaje conceptual pobre. Aprendizaje sobre la ciencia	Praxeologías Estudio de Organizaciones Praxeológicas

Enseñanza	Resolución de problemas abiertos, Aprendizaje por descubrimiento guiado	PICM REI
Dispositivos	Ciclo de Investigación (P, E, D, C o A) Secuencias de investigación y de experimentación	REI, ¿AEI?
Profesor	Conoce la ciencia y sus procedimientos, Conocimiento pedagógico del contenido Habilidades discursivas Formación en investigación científica	Gestiona los REI Dialécticas Topo génesis, Cronogénesis, Meso génesis
Preguntas	Preguntas científicas	Preguntas generatrices
Conocimiento	Es transparente	OPR, OMR, OMPE, OMEE
Proyectos	Main the Gap, S-Team , Eurydice La main à la Pate, TPE Advancing Physics, Inquiry Synthesis Project.	
Generalidad	Todas las disciplinas científicas Nivel primario y secundario	Multidisciplinar Todas las instituciones
Dificultades	Los profesores y su desconocimiento de la ciencia	Niveles de codeterminación. Gestión de los REI. La Formación de los profesores como problema macro y micro didáctico.

Bibliografía

Abd-El-Khalick, F., Boujaoude, S., Duschl, R., Lederman, N. G., Mamlok-Naaman, R., & Hofstein, A. et al. (2004). Inquiry in science education: International perspectives. *Science Education*, 88(3), 397-419.

Aldon, G. (2010). Expérimenter des problèmes de recherche innovants en mathématiques à l'école. *Actes des journées scientifiques DIES 2010*. pp. 19-56. Lyon. Disponibles en: www.inrp.fr/editions/dies.

Aldon, G. & Durand-Guerrier, V. (2009). A resource to spread math research problems in the classroom. Disponible en: <http://ife.ens-lyon.fr/publications/edition-electronique/cerme6/wg7-19-aldon.pdf>

Anderman, E. M.; Sinatra, G. M.(2012). The challenges of teaching and learning about science in the twenty-first Century: exploring the habiliteis and constraints of adolescent learners. *Studies in Science Education*, 48 (1), pp. 89-117.

American Association for the Advancement of Science (AAAS) (1993). Benchmarks for science literacy. New York: Oxford University Press. Capítulos disponibles en: <http://www.project2061.org/publications/bsl/online/index.php?chapter=>.

Artigue, M. & Robinet, J. (1982). Conceptions du cercle chez les enfants de l'école élémentaire. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 3 (1), pp. 5-64.

Benzaquen, P. M.; Gorrochategui, M.; Oviedo, L. M. M. (2008). El juego de marcos en el análisis de un problema. Trabajo publicado en *Actas del II REPEM*. Santa Rosa, La Pampa. Disponible en <http://online2.exactas.unlpam.edu.ar/repem/cdrepem08/memorias/poster/P06.pdf>

Bettinelli, B. (2006). Actions géométriques avec un ensemble de gabarits. *REPERES – IREM*, 43. pp. 5-27.

Blondel, F. M.; Goffard, M.; Goffard, S. & Schwob, M. (2004). Pratiques documentaires d'élèves en travaux personnels encadrés. *Aster*, n° 39, pp. 123-153.

Boilevin, J. M., Morge L., & Delsérieys, A. (2010). Inquiry-based physics education in French middle school. Colloque GIREP-ICPE-MPTL 2010 International Conference Teaching and Learning Physics Today : Challenges ? Benefits ? 22. - 27. August 2010, Université de Reims Champagne Ardenne, Reims, France. Disponible en: http://www.univ-reims.fr/site/evenement/girep-icpe-mptl-2010-reims-internationalconference/gallery_files/site/1/90/4401/22908/29321/29323.pdf.

Bolon, J. (1992). L'Enseignement des desimaux a l'école élémentaire. *Grand* 52, pp. 49-79. Disponible en: http://www-irem.ujf-grenoble.fr/revues/revue_n/fic/52/52n6.pdf.

Boule, F. (2003). *Mathématiques, École primaire*. Ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement supérieur et de la Recherche. Direction de l'enseignement scolaire. Disponible en:

<http://www2.cndp.fr/archivage/valid/68718/68718-10580-14939.pdf>

Brickman, P.; Gormally, C.; Armstrong, N.; Hallar, B. (2009). Effects of Inquiry-based Learning on Students' Science Literacy and Confidence. *International Journal for the Scholarship of Teaching and Learning*, 3 (2).

Brochet, J. M., & Chatillon, J. C. (1999). Les Travaux Personnels Encadrés (TPE) pourraient ressembler aux Activités Complémentaires de Formation (ACF) pratiquées au Lycée pilote Innovant depuis douze ans. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n° 818, pp. 1601-1618. Disponible en: <http://bose.cnam.fr/>

Bruner, J. S. (1961). El acto de descubrimiento. *Harvard Educational Review*, 31 (1), pp. 21-32.

Calmettes, B.; Boilevin, J. M. (2010). Les démarches d'investigation dans les disciplines scientifiques et technologiques. *Actes du congrès de l'Actualité de la recherche en éducation et en formation (AREF)*, Université de Genève, septembre 2010. Disponible en: <https://plone2.unige.ch/aref2010/symposiums-longs/coordinateurs-en-c/les-demarches-d2019investigation-dans-les-disciplines-scientifiques-et-technologiques>. Último acceso 06-07-2012.

Chevallard, Y. (1999). El análisis de las prácticas docentes en la teoría antropológica de lo didáctico. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 19 (2), pp. 221-266.

Chevallard, Y. (2004). Vers une didactique de la codisciplinarité. Notes sur une nouvelle épistémologie scolaire. Disponible en <http://yves.chevallard.free.fr/>

Chevallard, Y. (2007). Les mathématiques à l'école : pour une révolution épistémologique et didactique. *Bulletin de l'APMEP*, 471, 439-461. Disponible en: http://yves.chevallard.free.fr/spip/spip/article.php3?id_article=110

Chevallard, Y. (2009). La notion de PER: problèmes et avancées. Disponible en: <http://yves.chevallard.free.fr/>

Chevallard, Y. (2012a). Teaching mathematics in tomorrow's society: A case for an oncoming counterparadigm. Texte préparatoire à la *regular lecture qui sera donnée dans le cadre du congrès ICME-12* (Séoul, 8-15 juillet 2012). Disponible en: http://www.icme12.org/upload/submission/1985_F.pdf.

Chevallard, Y. (2012b). Théorie Anthropologique du Didactique & Ingénierie Didactique du Développement. *Journal du séminaire TAD/IDD*. Disponible en: <http://www.aix-mrs.iufm.fr/formations/filieres/mat/data/fdf/2011-2012/journal-tad-idd-2011-2012-7.pdf>

Colsaët, F. (2002). Les maths et la formation des élèves? *Cahiers Pédagogiques*, 405. Disponible en http://www.cahiers-pedagogiques.com/article.php3?id_article=491.

Colsaët, F. (2004). Enseigner les maths aujourd'hui. *Cahiers Pédagogiques*, n° 427. Disponible en

http://www.cahiers-pedagogiques.com/numero.php3?id_article=1131.

Corinne, F. (2004). Travaux personnels encadrés ou l'effet causal de l'interdisciplinarité. *ASTER, Recherches en didactique des sciences expérimentales*, 39, pp. 61-90. Disponible en <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/8570>

Desbeaux-Salviat, B. (2002). Le réseau de formateurs du site Internet La main à la pâte: une dynamique à vocation éducative. Disponible en: <http://www.inrp.fr/Access/Biennale/6biennale/Contrib/affiche.php?&mode=long&NUM=76>

De Vleeschouwer, M. (2012). Enseignement à l'Université, perspective institutionnelle et contrat didactique. Le cas de la dualité en algèbre linéaire. Thèse de doctorat de l'université de Namur, Belgique.

Dias, T. (2004). Les mathématiques à l'école élémentaire, une science expérimentale? *Cahiers Pédagogiques*, 427. <http://educmath.inrp.fr/Educmath/etudes/experimentation-math/dias.pdf>

Dias, T. (2005). La dimension expérimentale en mathématique: mythe ou réalité? Disponible en: <http://www.inrp.fr/ardist2005/ressources/contributions/21.pdf>, fecha de consulta 08-08-12.

Dias, T.; Durand-Guerrier, V. (2005). Expérimenter pour apprendre en mathématiques. *Repères-Instituts de Recherche sur l'Enseignement des Mathématiques (IREM)*, 60, pp. 61-78.

Eurydice. (2006). *L'enseignement des sciences dans les établissements scolaires en Europe. États des lieux des politiques et de la recherche*. Bruxelles: Commission Européenne. Direction Générale de l'Éducation et de la Culture. Disponible en: http://eacea.ec.europa.eu/education/eurydice/thematic_studies_archives_en.php.

Fanaro, M; Otero, M. R y Arlego, M. (2009) Teaching Quantum Mechanics foundations at Secondary School: A Proposal Conceptual Structure, *Investigações em Ensino de Ciências*, 14 (1) pp. 37-64.

Fanaro, M; Arlego, M. y Otero, M. R. (2012 a) A Didactic Proposed for Teaching the Concepts of Electrons and Light in Secondary School Using Feynman's Path Sum Method. *European J of Physics Education* Vol. 3:2 pp.1-11, Ankara, Turquía. Disponible en <http://ejpe.erciyes.edu.tr/index.php/EJPE>.

Fanaro, M; Otero, M. R y Arlego, M. (2012b) *Teaching Basic Quantum Mechanics in Secondary School Using Concepts of Feynman's Path Integrals Method*. The Physics Teacher. American Association of Physics Teachers, Volumen 50:3 pp. 156-160. ISSN. 0031-921X. Disponible en <http://tpt.aapt.org/resource/1/phteah/v50/i3>.

Gazzola, M. P.; Llanos, V. C.; Otero, M. R. (2013). Research and Study Paths in the Teaching of

Mathematics at Secondary school relative to the Rational Functions. *Journal of Arts & Humanities*, 2 (3), 109-115.

Gengarelly, L.M., & Abrams, E.D. (2009). Closing the gap: inquiry in research and in the secondary science classroom. *Journal of Science Education and Technology*, 18 (1), pp. 74-84.

Gimenez Abad, M. J.; Serrano Rey, A. (2007). Propuesta de una ingeniería didáctica: curso de Matemática-0. Trabajo publicado en XV Jornadas de ASEPUMA y III Encuentro Internacional, pp. 1-13. Disponible en <http://www.uv.es/asepuma/XV/comunica/617.pdf>.

Goos, M. (2004). Learning Mathematics in a Classroom Community of Inquiry. *Journal for Research in Mathematics Education*, 35 (4), pp. 258-291.

Goos, M.; Galbraith, P.; Renshaw, P.; Geiger, V. (2003). Perspectives on technology mediated learning in secondary school mathematics classrooms. *The Journal of Mathematical Behavior*, 22 (1), pp. 73-89.

Gueudet, G. (2010). Travail collectif des professeurs et démarches d'investigation dans l'enseignement des sciences. *Actes des journées scientifiques DIES 2010*. pp. 30-37. Lyon. Disponibles en: www.inrp.fr/editions/dies.

Gueudet, G., Bueno-Ravel, L., Ferrière, H., Forest, D., Kuster, Y., Laubé, S., & Sensévy, G. (2009). Technologies, resources, and inquiry-based science teaching. A literature review. In *Mind the Gap FP7 project 217725*, (Deliverable 5.1). Retrieved June, 18, 2010, from Mind the Gap Web site: <http://www.uv.uio.no/english/research/projects/mindingthe-gap/Deliverables/index.html>.

Hammoud, R.; Le Maréchal, J. F.; Truche, L. (2010). Démarches d'investigation: conceptions et usages de ressources, impact du travail collectif des professeurs. *Actes des journées scientifiques DIES 2010*. pp. 67-76. Lyon. Disponibles en: www.inrp.fr/editions/dies.

Harlen, W. (1993). *Education for Teaching Science and Mathematics in the Primary School*. Published in 1993 by the United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. Printed by UNESCO: France.

Harlen, W. & Allende, J. (2009) *Report of the Working Group on Teacher Professional Development in Pre-Secondary IBSE*. Fundacion para Biomedicis Avanzados do la Facultad de Medicina, University of Santiago, Chile.

Hauray, D. L. (1993). Teaching Science through Inquiry. ERIC/CSMEE. Digest. *Clearinghouse for Science Mathematics and Environmental*. Disponible en [http://www.uhu.es/gaia-inm/invest_escolar/httpdocs/biblioteca_pdf/14_HAURY\[1\].1993%20TEACHING%20SCIENCE%20THROUGH%20INQUIRY.pdf](http://www.uhu.es/gaia-inm/invest_escolar/httpdocs/biblioteca_pdf/14_HAURY[1].1993%20TEACHING%20SCIENCE%20THROUGH%20INQUIRY.pdf).

Hofstein, A., & Lunetta, V.N. (2004). The laboratory in science education: foundations for the twentyfirst century. *Science Education*, 88 (1), pp. 28-54.

Hosson, C.; Mathé, S.; Méheut, M. (2010). La « démarche d'investigation » dans les collèges français. Démarche d'investigation et formation. *Actes des journées scientifiques DIES 2010*. pp. 19-28. Lyon. Disponibles en: www.inrp.fr/editions/dies.

Howes, E.V., Lim, M., & Campos, J. (2008). Journeys into inquiry-based elementary science: literacy practices, questioning, and empirical study. *Science Education*, 93(2), pp. 189-217.

Jarrett, D. (1997). Inquiry Strategies for Science and Mathematics Learning. It's Just Good Teaching. *Science and Mathematics Education*. Disponible en: <http://leitcelcenter.unh.edu/geo-teach/pdf/ESST2008/NWREL--Inquiry%20strategies.pdf>.

Jasmin, D.; Queré, Y. (2002). Un enjeu qui dépasse nos frontières l'enseignement des sciences à l'école. *Des outils pour les sciences*, pp. 34-37. Disponible en: <http://www2.cndp.fr/archivage/valid/39071/39071-4917-4732.pdf>.

Jaworski, B. (2004). Grappling with complexity: Co-learning in inquiry communities in mathematics teaching development. Proceedings of the 28th PME Conference. Bergen, Norway: Bergen University College. Disponible en: http://www.emis.ams.org/proceedings/PME28/PL/PL003_Jaworski.pdf

Jaworski, B. (2006). Theory and practice in mathematics teaching development: Critical inquiry as a mode of learning in teaching. *Journal of Mathematics Teacher Education*, 9, 187-211.

Jorde, D. (2009). Inquiry-based science teaching- an overview of what we know and what we do. Paper presented at the ESERA conference, Istanbul, August 31-September 4. Disponible en: <http://www.esera2009.org/>. Último acceso 01-09-2012.

Kuntz, G. (2004). La main, l'outil et le cerveau. *Bulletin de l'APMEP*, n° 453, pp.548-558.

Kuntz, G. (2005). Résolution collaborative de problèmes ouverts. Un problème babylonien. *Bulletin de l'APMEP*, n° 456, p. 123-131. Disponible en: http://www.mission-laiq...pdf/math58/AM58_p63.pdf.

Léna, P. (2007). Avec La main à la pâte, rénover l'enseignement des sciences. *Rélictés Industrielles. Vulgariser: de l'information au merveilleux*, pp. 72-77.

Millar, R. (1996). Investigations des élèves en science : une approche fondée sur la connaissance. *Didaskalia*, 9, pp. 9-30.

Llanos, V. C.; Otero M. R. (2012). Las funciones polinómicas de segundo grado en el marco de un Recorrido de Estudio y de Investigación (REI): alcances y limitaciones. *Revista Iberoamericana de Educación Matemática UNIÓN* 31, 45-63.

Llanos, V. C.; Otero, M. R. (2013) The Research and Study Paths in the secondary school: the case of the polynomial functions of the second degree". *Journal Problems of Education in the 21st Century*, 52 (52), 60-71.

Minner, D. D.; Levy, A. J.; Century, J. (2009) Inquiry-Based Science Instruction – What Is It and Does It Matter? Results from a Research Synthesis Years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, 47 (4), pp. 474-496.

Monod, R.; Digard, I.; Florimond, A.; Fontanieu, V.; Péres, C.; Rossetto, A. M.; Morel-Deville, F. (2010). L'investigation en MI-SVT: un chemin vers l'autonomie des élèves? *Actes des journées scientifiques DIES 2010*. pp. 87-97. Lyon. Disponibles en: www.inrp.fr/editions/dies.

National Center for Education Statistics (NCES) (1999). *Trends in international mathematics and science study*. Disponible en: <http://nces.ed.gov/timss/results>.

National Middle School Association (NMSA) (2002). Performance-based standards for inicial middle level teacher preparation. Retrieved July 6, 2004, from <http://www.nmsa.org>.

National Research Council (NRC). (1996). *National Science Education Standards*. Washington, DC: The National Academies Press.

National Research Council (NRC). (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards*. Washington, DC: The National Academies Press.

National Science Teachers Association (NSTA) (2003). Standards for science teacher preparation. Disponible en: <http://www.nsta.org>.

Otero M. R.; Llanos, V. C.; Gazzola, M. P. (2012). La pedagogía de la investigación en la escuela secundaria y la implementación de Recorridos de Estudio e Investigación en matemática. *Revista Ciencia Escolar: enseñanza y modelización*, 1 (2), pp. 31-42. Disponible en: <http://www.revistacienciaescolar.cl/revista.html>

Parra V., Otero M. R., Fanaro M. A. (2013) Recorridos de Estudio e Investigación co-disciplinares a la Microeconomía. *Revista Números*. 82, 17-35. Recuperado el 03 de junio de 2013, de: http://www.sinewton.org/numeros/numeros/82/Articulos_02.pdf

Park Rogers, M.A., & Abell, S.K. (2008). The design, enactment, and experience of inquiry-based instruction in undergraduate science education: a case study. *Science Education*, 92 (4), pp. 591-607.

Pol, D. (2005). La main à la pâte : pratiquer les sciences à l'école maternelle et élémentaire. *Skholê, hors-série*, 2, pp. 47-53.

Robert, A. (2002). Utilisation des cadres et jeux de cadres dans l'enseignement. *Actes de la journée en hommage à Régine Douady*. Editeur : IREM de Paris7, Paris, ISBN : 2-86612-224-0.

Rumelhard G. (2003). *TPE et interdisciplinarité*. Rapport INRP en réponse à l'appel à association INRP. Structuration des connaissances dans les nouveaux dispositifs d'enseignement. C. Larcher et A. Crindal (coord.). Disponible en: <http://ife.ens-lyon.fr/editions/editions-electroniques/scnde03.pdf>.

Schneeberger, P. (2003). *Les TPE et la structuration des connaissances*. Rapport INRP en réponse à l'appel à association INRP. Structuration des connaissances dans les nouveaux dispositifs d'enseignement. C. Larcher et A. Crindal (coord.). Disponible en: <http://ife.ens-lyon.fr/editions/editions-electroniques/scnde03.pdf>.

Schneeberger, P.; Cotten, A.; Goix, H.; Goix, M.; Rodriguez, R.; Vidal, M. (2004). Types de travaux personnels encadrés, postures d'enseignants et structuration. *ASTER, Recherches en didactique des sciences expérimentales*, 39, pp. 39-60. Disponible en <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/8570>.

Schoenfeld, A. H.; Herrmann, D. J. (1982). Problem perception and knowledge structure in expert and novice mathematical problem solvers. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 8 (5), pp. 484-494.

Schwab, J. J. (1962). La enseñanza de la ciencia como indagación. En J. J. Schwab & P. F. Brandwein. *La enseñanza de la ciencia*, Cambridge, MA: Harvard University Press.

Steiner, H.G. (1985). Theory of mathematics education (TME): an introduction. *For the Learning of Mathematics*, Vol 5. n. 2, pp. 11-17.

Sureda, P., Otero, M. R.; Donvito A. (2013). *Implémentation d'un PER dans deux institutions différentes. Une étude des difficultés*. Aceptado para comunicación mural y publicación completa en Actas en el 4e Congrès international sur la Théorie Anthropologique du Didactique (TAD), 21-26 avr. 2013 Toulouse, France.

Venturini, P.; Calmettes, B.; Amade-Escot, C.; Terrisse, A. (2004). Travaux personnels encadrés à dominante physique en 1^{re}: Etude de cas et analyse didactique. *ASTER, Recherches en didactique des sciences expérimentales*, 39, pp. 11-37. Disponible en: <http://documents.irevues.inist.fr/handle/2042/8570>