

Visiones y actitudes hacia las Ciencias naturales: consecuencias para la enseñanza

Diego Petrucci¹

diegope@gmail.com

¹Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de La Plata.

Resumen

Este artículo se inició como una conferencia dictada en el 1^{er} Encuentro Nacional de Estudiantes de Ciencias de la Tierra en la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la UNLP en 2015, y luego evolucionó hasta su forma actual. En él se discuten las visiones de ciencia y de científico de los estudiantes y su relación con las actitudes hacia las Ciencias, en particular las que fomenta la ciencia escolar. Se plantea entonces la necesidad de tener en cuenta estas cuestiones al pensar la enseñanza de las Ciencias. Se presenta una propuesta de qué debería saber un estudiante para alcanzar una adecuada comprensión acerca de la naturaleza de las ciencias. Para avanzar en este sentido, se argumenta contra la tradicional concepción de existencia de “el” método científico y se propone una perspectiva sobre la metodología científica más cercana a la actividad científica, que consta de herramientas útiles para el aprendizaje de Ciencias naturales. También se discuten las características del conocimiento científico. Finalmente se presentan las consideraciones didácticas que se desprenden de los argumentos expuestos, identificando aquellos aspectos que se pueden abordar desde la enseñanza y la comunicación pública de la ciencia para favorecer en los jóvenes la decisión de estudiar carreras científicas.

Palabras clave: Naturaleza de las Ciencias naturales, Imagen de científico, Metodología científica, Conocimiento científico, Teorías científicas.

Visions and attitudes towards natural science: implications for teaching

Abstract

This article began as a lecture at the 1st National Meeting of Students of Earth Sciences at the Faculty of Astronomy and Geophysics at UNLP in 2015, and then evolved into its present form. In it the views about science and scientists among students and their possible relation to attitudes towards science, particularly those which school science promotes, are discussed. The need to consider these issues arises when thinking about the teaching of science. A proposal aimed towards what a student should know to achieve an adequate understanding of the nature of science is presented. To move in this direction, arguments against the traditional conception of existence of “the” scientific method are introduced and a perspective on scientific methodology closer to actual scientific activity, including useful tools for learning Natural Sciences, is proposed. The characteristics of scientific knowledge are also discussed. Finally didactic considerations arising from the exposed arguments, identifying those aspects that can be approached from teaching and public communication of science which may encourage young people to study scientific careers are presented.

Keywords: Nature of science, Image of scientist, Scientific methodology, Scientific knowledge, Scientific theories.

Vision et les attitudes envers les sciences naturelles: implications pour l'enseignement

Résumé

Cet article a commencé comme une conférence à la 1^{ère} Rencontre nationale des étudiants de Sciences de la Terre à la Faculté de l'astronomie et de géophysique de l'UNLP en 2015, puis a évolué dans sa forme actuelle. Dans ces les visions de la science et des scientifiques parmi les étudiants et leur relation avec les attitudes envers la science, y compris la science scolaire encourageante sont discutées. La nécessité d'examiner ces questions lors de la réflexion sur l'enseignement des sciences se pose alors. Une proposition de ce qu'un élève doit savoir pour parvenir à une bonne compréhension de la nature de la science est présentée. Pour aller dans ce sens, il est soutenu contre la conception traditionnelle de l'existence de “la” méthode scientifique et une perspective sur une méthodologie scientifique plus proche de l'activité scientifique, qui se compose d'outils utiles pour l'apprentissage des sciences naturelles est proposée. Les caractéristiques des connaissances scientifiques sont également discutées. Considérations didactiques Enfin découlant des arguments, identifier

los aspectos que pueden ser abordados en el enseñanza y la comunicación pública de la ciencia para fomentar en la decisión de los jóvenes de seguir carreras científicas. Este artículo comenzó como un artículo publicado en la 1ª Encuentro nacional de estudiantes de Ciencias de la Tierra en la Facultad de Astronomía y Geofísica de UNLP en 2015, luego evolucionó a su forma actual. En estas visiones de la ciencia y de los científicos entre los estudiantes y su relación con las actitudes hacia la ciencia, y también la ciencia escolar alentadora se discuten. La necesidad de examinar estas cuestiones cuando se reflexiona sobre el enseñanza de las ciencias se plantea entonces. Una propuesta de lo que un estudiante debe saber para llegar a una buena comprensión de la naturaleza de la ciencia se presenta. Para avanzar en este sentido, se apoya contra la concepción tradicional de la existencia de "la" metodología científica y una perspectiva sobre la metodología científica más cercana a la actividad científica, que se compone de herramientas útiles para el aprendizaje de las ciencias naturales se propone. Las características de los conocimientos científicos se discuten también. Consideraciones didácticas que finalmente surgen de los argumentos, al identificar los aspectos que pueden ser abordados en el enseñanza y la comunicación pública de la ciencia para fomentar a los jóvenes de la decisión de estudiar las carreras científicas se presentan.

Mots clés: Naturaleza de las ciencias naturales, de la imagen científica, la metodología científica, los conocimientos científicos, las teorías científicas.

1. INTRODUCCIÓN

A partir de estudios que indagaron sobre las visiones que tienen los jóvenes sobre la ciencia y los científicos, se hace necesario ponerlas en cuestión como una instancia que promueva la reflexión entre el profesorado. El propósito de este trabajo es realizar un repaso de algunos resultados de investigaciones, como contribución a la transferencia al profesorado de Ciencias naturales o sus disciplinas, de modo que sea un soporte teórico para planificar, ejecutar y evaluar la enseñanza y para favorecer una revisión crítica de las propias prácticas. Está dirigido a docentes de primaria y secundaria, si bien también puede resultar de interés para docentes universitarios, particularmente aquellos que no se hayan formado en Filosofía de las Ciencias. En este último caso es un aporte a la tan necesaria formación docente del profesorado universitario de Ciencias naturales.

Se concibe a la docencia como una práctica profesional, en la que se toman decisiones recurriendo a bases teóricas, por lo que aquí no se proporcionan recetas sino elementos para analizar, reflexionar y proyectar. Este enfoque es compatible con una propuesta de enseñanza que priorice la comprensión, la participación y la reflexión de los estudiantes (Perkins, 1995), analizando aquellos obstáculos que dificultan el aprendizaje (Pozo y Gómez Crespo, 1998; Mortimer, 2000) y facilitando la generación de propuestas superadoras, a partir del diálogo, la discusión y el respeto mutuo (Petrucci, 2009; Jiménez Liso y Petrucci, 2004).

2. ACERCA DE LA NATURALEZA DE LA CIENCIA

¿Para qué enseñamos Biología, Física, Química en la escuela? Es un tema de debate (Fourez, 1997) que incluso debe ser contextualizado (Dumrauf, 2006, Dumrauf y otras, 2008). Encontraremos bastante consenso en que una de las finalidades de la enseñanza de estas disciplinas debe ser que los estudiantes alcancen una adecuada concepción de qué son las Ciencias naturales. Esto es así porque un sujeto no puede considerarse científicamente alfabetizado si no ha alcanzado una cierta comprensión de la naturaleza de las ciencias (en adelante NdC). En el plano internacional la comprensión de la NdC está en los diseños curriculares desde hace más de 100 años (Lederman, 2007). En nuestro país no la encontramos -al menos de modo explícito- en los Núcleos de Aprendizaje Prioritarios (ME, 2015) ni entre los objetivos en los diseños curriculares de la Provincia de Buenos Aires (DGCyE, 2015); sin embargo, estos diseños se

enmarcan en la propuesta de Alfabetización científico-tecnológica (Fourez, 1997) dentro de la cual la comprensión de la NdC forma parte. Además, es un aspecto importante a considerar en un contexto nacional en el que las carreras científicas han sido declaradas prioritarias (MinCyT, 2014). Driver y otros (1996). Desde Inglaterra, dan cinco argumentos sobre por qué es importante comprender la NdC:

- *Utilitario*: para darle sentido a las ciencias y tratar con objetos y procesos tecnológicos de la vida cotidiana.
- *Democrático*: para participar de modo informado en la toma de decisiones sobre cuestiones socio-científicas.
- *Cultural*: para apreciar el valor de las ciencias como parte de la cultura contemporánea.
- *Moral*: porque ayuda a desarrollar una comprensión de las normas de la comunidad científica que involucran compromisos morales que son valiosos para la sociedad en general.
- *Aprendizaje de ciencias*: porque facilita el aprendizaje de las asignaturas de ciencias.

Como indica Lederman (2007), desde los EEUU, los educadores científicos valoran el logro de una adecuada comprensión de la NdC como un resultado de instrucción por motivos nobles e importantes. Pero los argumentos que los sostienen cuentan con poco apoyo empírico. Intuitivamente resulta razonable pensar que saber sobre Ciencias naturales permite a un ciudadano participar de modo informado en la toma de decisiones sobre por ejemplo, la minería a cielo abierto o el modo de disponer de la basura. Nos referimos a comprender la NdC, además de los contenidos científicos. Las cuestiones que nos aporta la ciencia sobre la minería a cielo abierto van más allá de comprender los procesos químicos y ambientales vinculados a la minería a cielo abierto y sus consecuencias. Es necesario conocer que no siempre los resultados de un estudio científico son concluyentes, en qué medida estos resultados pueden transferirse de un ambiente a otro, etc. Lederman (2007) afirma que se necesita investigar si el conocimiento de los estudiantes sobre la NdC mejora su aprendizaje de contenidos de ciencias (el último punto de la lista de Driver) y agrega:

“Una de las razones originales por la que enseñar NdC ha sido la convicción de que la comprensión de la NdC mejorará el aprendizaje posterior de los contenidos de ciencias. Este supuesto, al igual que los otros supuestos relacionados con el pretendido valor de la NdC como

consecuencia de la instrucción, aún no se ha probado de forma sistemática. ¿Deberían los estudiantes aprender a ver los temas que deben aprender a través de la lente de la NdC? Esta línea de investigación informaría la ubicación y el rol de la NdC dentro del currículo de ciencias” (Lederman, 2007: 871).

Resulta difícil contestar mediante la investigación preguntas como esta, que intentan relacionar dos “variables”. Si no se cuenta con un marco teórico apropiado, no hay certeza de que el problema ha sido formulado adecuadamente y es poco probable lograr respuestas concluyentes. El marco teórico permite, por ejemplo, asegurarse que no hay una tercera variable incidiendo.

Lederman (2007: p. 832) expresa que:

“Como ocurre con el objetivo general de la alfabetización científica, mientras no lleguemos a una masa crítica de individuos que posean concepciones adecuadas de NdC, no tendremos forma de saber si este logro permite conseguir lo que se ha supuesto. Si tuviéramos éxito en la enseñanza de la NdC a nuestros estudiantes, ¿Serán capaces de tomar mejores decisiones? ¿Mejoraran su rendimiento en ciencias?”

Es un tema a investigar. La mayoría de las preguntas importantes aún están sin responder y habrá muchas otras a formular. La comprensión de la NdC de estudiantes y profesores sigue siendo una alta prioridad para la didáctica de las ciencias y su investigación (Pujalte y otros, 2014). Lederman (2007) indica que hace más de 100 años que es un objetivo de la Enseñanza de las Ciencias. Sin embargo, “la longevidad de este objetivo educativo ha sido superada solamente por la longevidad de la incapacidad de los estudiantes para articular el significado de la frase la «naturaleza de la ciencia», y para delinear las características asociadas de la ciencia” (Lederman y Niess, 1997, p. 1).

3. CONCEPCIÓN DE CIENCIA Y ACTITUDES HACIA LAS CIENCIAS NATURALES

Las visiones más mencionadas en la literatura no sólo de los estudiantes sino también de los docentes son que la ciencia es empirista, inductivista, atórica, aproblemática, ahistórica, descontextualizada, socialmente neutra, exclusivamente analítica, racional, individualista, masculina, elitista, centrada en un único método (Fernández

y otros, 2002). Según esta visión la ciencia es “independiente de valores, ideologías, intereses y contextos y por tanto, neutral, objetiva y sin dudas infalible y dueña de la verdad” (Pujalte y otros, 2014: 543), pero además de “carácter críptico y hermético, que sólo puede ser descifrado por verdaderos «iniciados»” (Pujalte y otros, 2014: 543). A esto debe agregarse una concepción rígida y descontextualizada de la actividad científica y una visión acumulativa del desarrollo científico. La cuestión es relevante, porque “la imagen de la ciencia que poseen los docentes se diferenciaría poco de la que puede expresar cualquier ciudadano y resulta muy alejada de las concepciones actuales acerca de la naturaleza de la ciencia” (Fernández y otros, 2002: 484)

Cabe entonces preguntarnos qué concepciones y actitudes hacia la ciencia fomenta la escuela en los estudiantes. Muchos estudiantes -y también muchos adultos- suelen sentir rechazo hacia las Ciencias naturales, si bien algunos contextos pueden despertar curiosidad. En Argentina, son pocas las escuelas secundarias que incluyen la orientación Ciencias naturales, puesto que son escogidas por una minoría de estudiantes. Las actitudes negativas de los adolescentes hacia las Ciencias naturales son un fenómeno global; que se agudiza en el mundo industrializado (Sjøberg y Schreiner, 2005). Estos autores (Sjøberg y Schreiner, 2010) informan sobre el proyecto ROSE, un estudio noruego, comparativo y transcultural, sobre las visiones, percepciones, actitudes, valores, intereses, planes, prioridades de los jóvenes en relación a la ciencia y la tecnología. Se realizó con estudiantes de 15 años de un curso por escuela, en -al menos- 25 escuelas de cada país, en 35 países, 17 de ellos europeos. Los resultados se encuentran accesibles (ver enlace en la referencia Sjøberg y Schreiner, 2010). Presentamos aquí un resultado puntual del proyecto que evidencia el gusto por la ciencia escolar. Se les pidió a los estudiantes que indiquen en una escala de 1 a 4 en qué grado acuerdan con la afirmación “Me gusta la ciencia escolar más que la mayoría de las otras materias” (I like school science better than most other school subjects). En los países industrializados las asignaturas científicas son menos populares que otras y en muchos países a las mujeres (círculos rojos) les desagrada más la ciencia escolar que a los varones (círculos azules) (Gráfico 1).

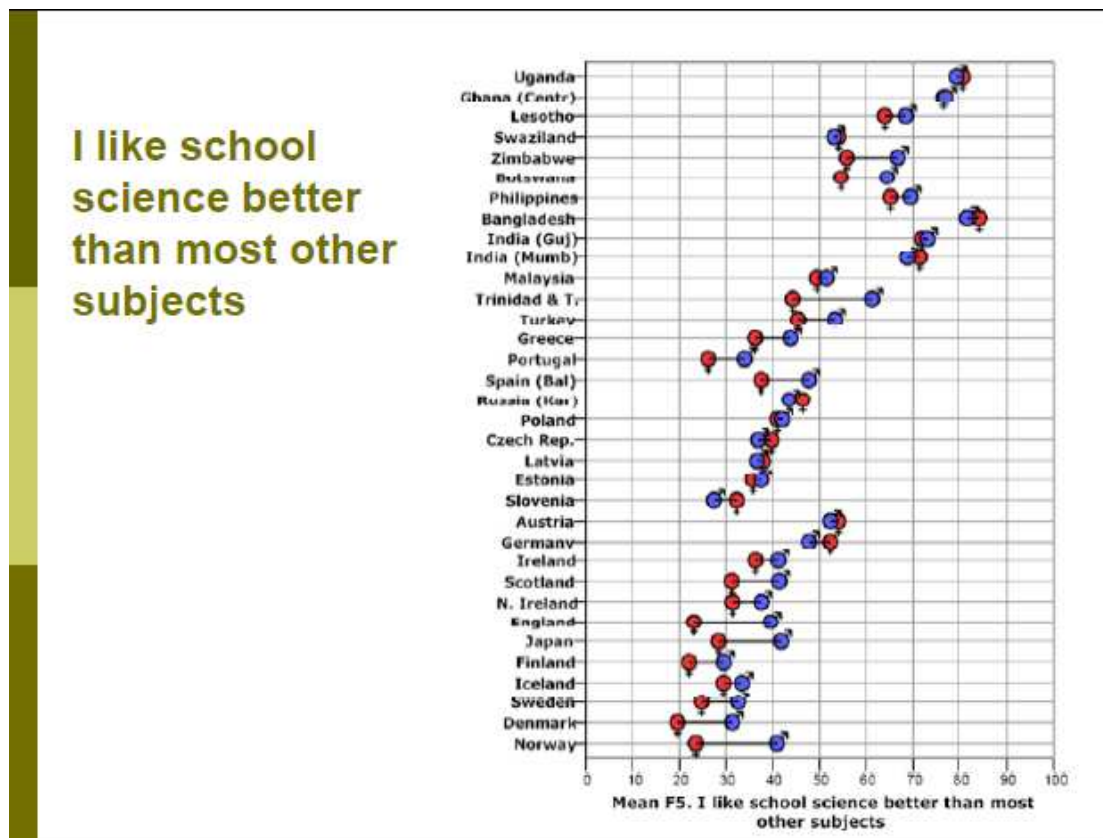


Gráfico 1. Me gusta la ciencia escolar más que la mayoría de las otras materias (Sjøberg y Schreiner, 2010).

La escuela parece tener alguna responsabilidad en el deterioro de las actitudes hacia las Ciencias naturales. Es necesario aclarar que es una cuestión compleja en la que no es adecuado establecer relaciones causales unívocas y que estos resultados están atravesados por factores culturales y sociales y por los cambios psicobiológicos propios de la edad. ¿Qué ocurre con estas actitudes a lo largo del recorrido escolar? En un estudio longitudinal realizado en España, Vázquez y Manassero (2008) indagaron acerca de las actitudes en estudiantes de 4º a 9º año, sobre la imagen de la ciencia, preservación del medio ambiente y aspectos de la ciencia escolar. Encontraron que las valoraciones

negativas se acentúan con la edad, principalmente las referidas a la ciencia escolar. En el gráfico 2 se presenta uno de los resultados (Vázquez y Manassero, 2008). En el eje horizontal se encuentran las diferentes actitudes hacia la ciencia escolar relevadas y en el eje vertical el grado de acuerdo con las afirmaciones del estilo de “La ciencia que he aprendido en la escuela es interesante” (CEInter8) o “Me gustaría conseguir un trabajo en tecnología” (CEtrtg24). La afirmación “Me gustaría llegar a ser un científico” es la CECfco23, la que tiene mayor desacuerdo tanto en 4º y 5º grado como en 8º y 9º. Desde chicos muchos niños tienen claro que no quieren ser científicos.

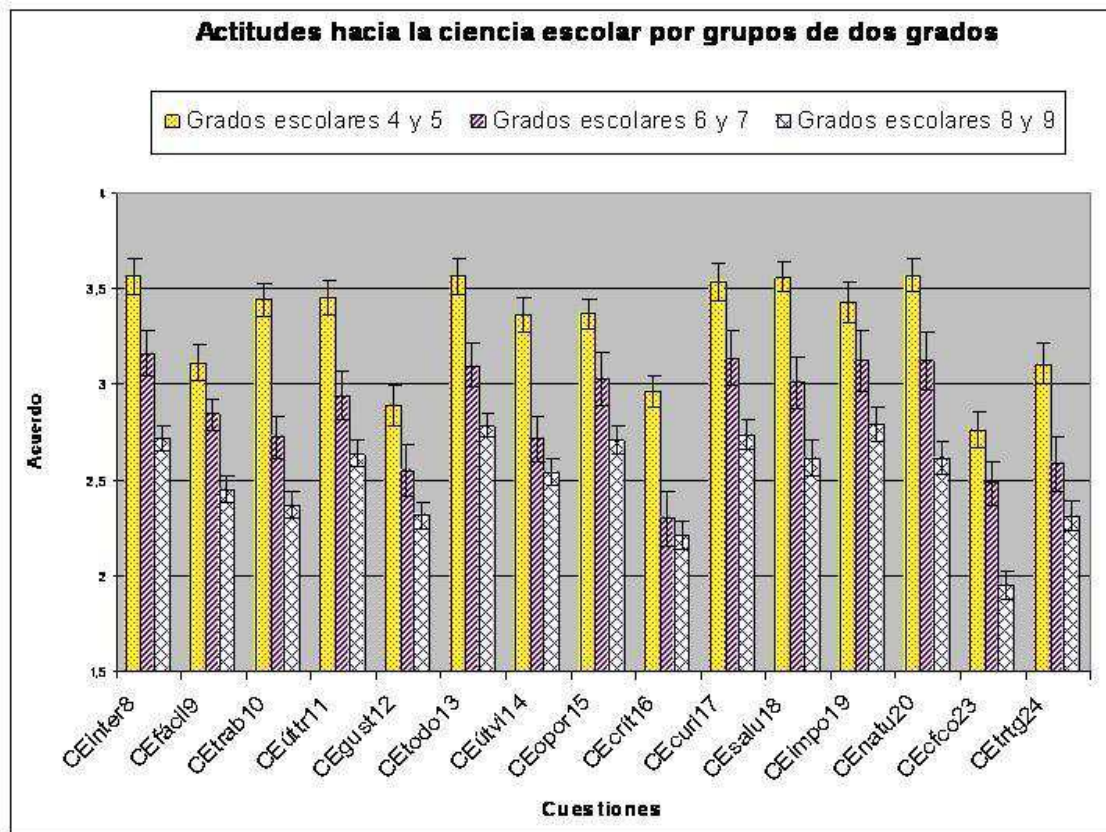


Gráfico 2. Actitudes hacia la ciencia escolar por grupos de dos grados (Vázquez y Manassero, 2008) entre los 9 y los 14 años.

En ese artículo los autores expresan:

“...se pone de manifiesto el claro patrón de descenso actitudinal (...) en todos los casos, las actitudes más positivas corresponden a los estudiantes más jóvenes, las actitudes medianas a la etapa de transición entre primaria y secundaria, y las actitudes más bajas a los dos cursos de secundaria” (Vázquez y Manassero, 2008: p. 285).

“...tras varios años de estudiar ciencia en la escuela, los estudiantes disminuyen drásticamente sus actitudes [positivas] hacia la CyT” (Vázquez y Manassero, 2008: p. 287).

“...este declive se supone responsable del progresivo alejamiento de los jóvenes respecto a la CyT, con la consecuencia que cada vez menos jóvenes eligen carreras y profesiones de CyT y la consiguiente

preocupación en torno al descenso de las vocaciones científicas” (Vázquez y Manassero, 2008: p. 287).

“...el desinterés hacia la ciencia escolar es el problema más dramático de la educación científica” (Vázquez y Manassero, 2008: p. 287).

En todo el mundo cada vez son menos los ingresantes a la universidad que eligen cursar carreras del área (Guisasola y otros, 2004). En el estudio anterior (Sjøberg y Schreiner, 2010) ante la afirmación “Me gustaría llegar a ser un científico”, entre los estudiantes de los países más pobres muchos desean llegar a ser científicos, si bien muy pocos tienen la posibilidad. En países más ricos muy pocos quieren ser científicos, menos aún las niñas (Gráfico 3). Hay que considerar que para los residentes del tercer mundo, llegar a ser un científico es un camino posible para emigrar al primer mundo.

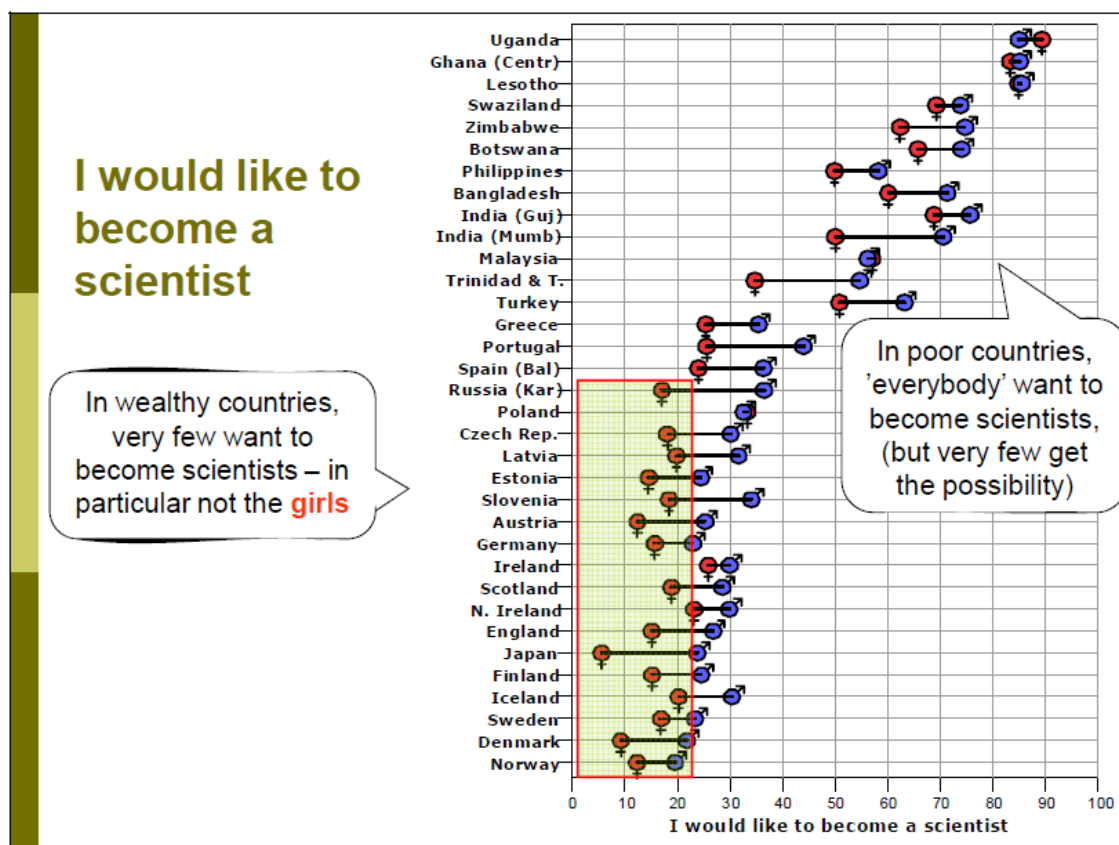


Gráfico 3. Me gustaría llegar a ser un científico (Sjøberg y Schreiner, 2010).

En Argentina según la tercera encuesta nacional sobre la “Percepción de los argentinos sobre la investigación científica en el país” (MinCyT, 2014) el 70% piensa que la profesión de científico es muy gratificante y el 65% con mucho prestigio, pero sólo el 45 % piensa que es muy atractiva para los jóvenes contra el 51% que opina que es poco atractiva y el 50% expresa que está mal remunerada económicamente contra un 26% que indica lo contrario. Por su parte, al consultar sobre los factores que hacen poco atractivas a las carreras científicas (Tabla 1) encontramos varios aspectos vinculados con la imagen de las ciencias - particularmente de la ciencia escolar- y de científico.

Las materias de ciencia son muy difíciles	17%
Es una cuestión de gustos.	14%
Hay pocas oportunidades de conseguir trabajo como científico	13%
Las materias científicas son muy aburridas.	10%
Los sueldos de los científicos no son buenos	9%
No quiere seguir estudiando indefinidamente	9%
Saben que para tener un buen empleo de científico es necesario irse al exterior	8%

Tabla 1. Los 7 (de 11) factores más elegidos asociados al desinterés de los jóvenes por las carreras científico-tecnológicas (MinCyT, 2014).

Las actitudes hacia la ciencia y los científicos están directamente vinculadas con las imágenes de científico que tienen los estudiantes, las cuales han sido muy estudiadas en el área. El resultado más habitual es el estereotipo (Pujalte y otros, 2014) de que a los investigadores e incluso

los profesores de Ciencias naturales son personas excéntricas, que comprenden muy bien el mundo natural pero carecen de habilidades para vincularse social y afectivamente, al mejor estilo del personaje Sheldon Cooper en la serie televisiva *The big bang theory*. Distintos autores identifican diversas fuentes de esas imágenes: las historietas, los dibujos animados, la literatura y el cine (Pujalte y otros, 2014) y se preguntan si son el origen o si simplemente las refuerzan. Algunos ejemplos cinematográficos son *El profesor chiflado* (*The nutty professor*, 1959) o el científico de *Volver al futuro* (*Back to the future*, 1985). En este último largometraje el personaje, *Emmet Brown*, es un científico tan obsesionado con su trabajo que es capaz de negociar con terroristas con tal de conseguir el plutonio que necesita para hacer funcionar su invento. Las características de este personaje coinciden con el estereotipo del científico que trabaja aislado, desarrolla sus propias teorías, diseña prototipos tecnológicos y los construye. Un ejemplo similar es el que representa Jeff Goldblum en *La mosca* (*The Fly*, 1986). Esta tipificación está ligada a una concepción de científico que podríamos denominar dandi (o *dandy* en inglés) propia del siglo XIX y se distancia fuertemente del perfil de los investigadores profesionales de nuestra época. Es el caso de Teobaldo Ricaldoni creador del Instituto de Física de la entonces naciente Universidad Nacional de La Plata. Al respecto dicen von Reichenbach y otros (2002):

“A fines del siglo XIX era reconocido en Argentina como sabio y maestro, inventor de un receptor de telegrafía sin hilos que se habría anticipado a Marconi, creador de un proyecto de submarino revolucionario que hubiera sido pionero en el mundo.” (von Reichenbach y otros, 2002: 73).

En muchos casos la imagen de científico se asocia más a la del alquimista (Pujalte y otros, 2012): un personaje que combina magia, búsqueda de riquezas, de poder, de longevidad, trabajando oculto, en secreto.

Más allá de la ficción, según esta visión estereotipada, para ser científico hay que entregar la vida a la ciencia sacrificando otras facetas, vivir obsesionado con la investigación y carecer de otros intereses. En un contexto donde socialmente se valora lo fácil -toda publicidad vinculada a la tecnología se encarga de recordárnoslo- la imagen de que las Ciencias naturales son difíciles provoca más rechazo que atracción.

Esta situación es reforzada desde las propuestas más habituales de divulgación, hecha por científicos sin formación en NdC, en las cuales, por ejemplo, los entrevistados suelen ser presentados como investigadores destacados, que han alcanzado la excelencia. Ello contribuye a afianzar la idea de que para estudiar alguna de las Ciencias naturales es necesario poseer capacidades intelectuales excepcionales. Es raro ver que se muestre a los científicos como ciudadanos que disfrutaban de su trabajo.

En el caso de estudiantes de carreras científicas, tienen en claro que esta imagen es un estereotipo, y presentan otra imagen -en formación- más cercana a lo que perciben en las aulas universitarias (Mengascini y otros, 2004).

Estas visiones de ciencia y de científico son fácilmente cuestionables. Cualquier sujeto puede aprender Ciencias naturales y, si lo desea, llegar a ser investigador o profesor. El país necesita más científicos e ingenieros (MinCyT, 2014) y también mejores científicos e ingenieros. Para fomentar en los jóvenes la decisión de estudiar estas carreras es central cambiar su percepción de las disciplinas. Se evita la frase “despertar vocaciones” pues la perspectiva de que ser investigador o profesor es una vocación se enmarca dentro de la visión anteriormente cuestionada.

Además, es fundamental modificar estas imágenes para fomentar actitudes más positivas hacia las Ciencias naturales. La enseñanza y el aprendizaje de las Ciencias naturales pueden ser tareas placenteras.

No pretendemos cargar todas las tintas sobre la escuela argentina y menos aún sobre nuestros profesores, las dificultades referentes a la Enseñanza de las Ciencias son universales (Galagovsky, 2012). Sin embargo, los profesores tenemos en parte nuestra responsabilidad. Poner a los estudiantes a calcular dónde se encontrarán dos trenes ideales o la temperatura final de una mezcla aislada de agua y hielo fomenta actitudes mayormente negativas. Nos quejamos de que los estudiantes llegan a nuestros cursos con deficiencias en sus conocimientos previos, pero no nos preocupamos por averiguar qué es lo que sí saben, qué pueden hacer y cuáles son sus intereses, como punto de partida para trabajar con ellos. El conocimiento de sus saberes previos permite plantearles cuestiones interesantes y atractivas, como qué es la radiación, cómo interactúa con el cuerpo humano y cuáles son los riesgos ambientales; qué es la relatividad; qué es el movimiento.

Cabe preguntarnos por qué enseñamos lo que enseñamos. Se podría enseñar otra ciencia más interesante y más útil. Al abordar esta cuestión, el escocés Johnstone (2010) hace una analogía con una ficción: unos investigadores encierran a cinco monos en una habitación de la que cuelga del techo un cacho de bananas. Cada vez que un mono intenta alcanzar las bananas, los otros cuatro son mojados

con agua helada. Con el tiempo los monos dejan de intentar llegar a las bananas, pues cuando alguno lo intenta el resto lo castiga. Los monos van siendo reemplazados de a uno, y cuando el nuevo mono intenta alcanzar las bananas es “disciplinado” a golpes por el resto. Cuando fueron reemplazados los cinco monos, ninguno nunca ha sufrido el agua helada, sin embargo, ninguno intenta alcanzar el botín. Johnstone finaliza diciendo que si uno pudiera preguntarles a los monos por qué no lo intentan, contestarían “no lo sé, pero así es como se hacen las cosas aquí”. Frases como estas, indica Johnstone, pueden escucharse de docentes cuando se les cuestiona el modo en que se enseñan ciencias. Sin embargo, esta enseñanza de las ciencias tiene un comienzo. El mismo Johnstone fue uno de los protagonistas de las grandes reformas curriculares ocurridas en EEUU y Europa en la década del 60:

“...Generamos cursos, escribimos textos, produjimos materiales y eventualmente convencimos a algunos. ¡Los `monos` habían sido programados! Ustedes son los sucesores ... y nuestros estudiantes son las víctimas” (Johnstone, 2010: 22).

La reforma fue diseñada por grandes científicos que admiraban el conocimiento formalizado, pero su entusiasmo no se transfirió a los estudiantes. Johnstone finaliza diciendo que

“Después de casi 50 años estamos aún viendo en los estudiantes la decepción y la desilusión que esperábamos evitar. Los estudiantes están opinando con sus pies, dejándonos decepcionados y debatiendo, tratando de encontrar los medios para detener el escape.” (Johnstone, 2010: 22).

Johnstone plantea que los científicos profesionales comprenden y aprecian el conocimiento científico organizado formalmente en unos pocos principios unificados y desde allí propusieron la enseñanza. Sin embargo este estadio de conocimiento, tanto en la historia de la ciencia, como en el desarrollo del aprendizaje, es el último en alcanzarse, el más abstracto.

En este contexto, como aporte a la reflexión sobre la imagen de las ciencias transmitida en los cursos de secundaria y la universidad, presentamos la propuesta de Lederman (2007) sobre cuándo un estudiante ha alcanzado una adecuada comprensión acerca de la NdC. Debe poder:

1. **Distinguir entre observación e inferencia.** Observación se refiere a enunciados sobre fenómenos naturales accesibles directamente por los sentidos (o extensiones de ellos) sobre los cuales varios observadores pueden alcanzar consensos con relativa facilidad. Las inferencias van más allá de los sentidos, un científico puede inferir modelos o mecanismos que explican las observaciones de fenómenos complejos.
2. **Distinguir entre teorías y leyes.** Las leyes son enunciados o descripciones de las relaciones entre fenómenos observables (por ejemplo la ley de Boyle, que relaciona el volumen y la presión de un gas a cierta temperatura). Las teorías son explicaciones inferidas para fenómenos observables (por ejemplo la Termodinámica, que describe los estados de equilibrio de un sistema macroscópico en término de magnitudes extensivas e intensivas).
3. **Entender que el conocimiento científico -si bien se basa al menos parcialmente en observaciones**

del mundo natural- involucra imaginación y creatividad humana. La ciencia incluye la invención de explicaciones y eso requiere creatividad de los científicos. Esto, junto a su naturaleza inferencial, resulta en que los conceptos científicos (como los átomos, los agujeros negros o las especies) son modelos teóricos en lugar de copias fieles de la realidad.

4. **Entender que el conocimiento científico tiene carga teórica y que es subjetivo.** Las observaciones están motivadas y guiadas por preguntas o problemas que le dan significado. Estas preguntas o problemas, a su vez, son derivadas en el marco de las perspectivas teóricas. Además, los compromisos teóricos de los científicos, sus creencias, sus conocimientos previos, su formación, sus experiencias y sus expectativas, influyen en su trabajo. Estos factores intervienen en los problemas que investigan, en cómo conducen sus investigaciones, qué observan y qué no, y en cómo interpretan y dan sentido a sus observaciones. De este modo la subjetividad se manifiesta en la producción de conocimiento¹.

¹ Daremos aquí dos ejemplos de cómo los compromisos ideológicos afectan la producción científica. El primero, cuando Einstein en 1917 aplicó su Teoría general de la relatividad al Universo, inventó una “constante cosmológica” para forzar que el resultado sea un universo estático, fiel a la idea predominante en esa época. El segundo ejemplo resulta de analizar el contexto en el cual Darwin formuló su teoría. Dicen Hormigón y Kara-Murzá (1990):

... Cuando empezaba su trabajo, se mantuvo en estrecha comunicación durante mucho tiempo con los ganaderos que se dedicaban a la selección; ganaderos ingleses de nueva formación capitalista que modificaban conscientemente la naturaleza según las exigencias de la economía de mercado. La aplicación de la economía política a la naturaleza viva promovió la aparición en el medio de estos ganaderos de una ideología peculiar con un conjunto de conceptos y metáforas muy expresivos. Sintiendo el efecto de esta desarrollada ideología, Darwin incluso transfirió estos conceptos y metáforas *no científicas* a la evolución de las especies en la naturaleza salvaje, por lo que fue criticado por sus partidarios...

... Los escritos de Malthus tuvieron otro fuerte efecto sobre Darwin, en cuanto concepción ideológica que explicaba y justificaba los males sociales generados por la industrialización en las condiciones de libre empresa. A principios del siglo XIX, Malthus fue un autor muy leído y discutido en Inglaterra, que expresaba el *estilo de pensamiento* de aquella sociedad. Al presentar como una ley social indispensable la *lucha por la existencia*, en la que se eliminan los *pobres y no aptos* y sobreviven los más adaptados, Malthus proporcionó a Darwin la segunda metáfora central de su teoría de evolución, la de la *lucha por la existencia*. (Hormigón y Kara-murzá, 1990: p. 450).

5. **Concebir a la ciencia como un emprendimiento humano practicado en el marco de una cultura más amplia, y a sus practicantes como un producto de esa cultura.** La ciencia afecta y es afectada por el tejido social, las estructuras de poder, la política, los factores socioeconómicos, la filosofía, la religión, entre otros². Un aspecto importante aquí contenido, es que la ciencia está atravesada por cuestiones de género, que se manifiestan por ejemplo en la subrepresentación de las mujeres en las posiciones de poder (Gallardo, 2012), en diferencias que se hacen entre varones y mujeres al enseñar y al evaluar (Spear, 1984), en la imagen masculina de científico que se transmite a los estudiantes.
6. **Se pueden proponer muchas explicaciones posibles para explicar un fenómeno particular**

² Ejemplificaremos con dos épocas históricas diferentes, centrándonos -arbitrariamente- en cuatro áreas: música, pintura, política y ciencia. En música, a fines del s. XVII se afianzó el sistema tonal que tiene como ícono el *Clave bien temperado* de Bach, obra finalizada en 1722. Este sistema asigna a una nota -la tónica- un estado de equilibrio y a otra nota -la dominante- la situación de tensión. Los músicos hablan de un “principio de atracción” hacia la tónica. En pintura, la perspectiva comenzó a utilizarse en el s. XV y fue progresando gradualmente. En 1680 Da Vinci la perfecciona en su *Tratado de la pintura*. En estas obras, el horizonte define la dirección arriba-abajo. En política, la década de 1680 fue justamente el apogeo del reinado de Luis XIV, el rey Sol, ícono del absolutismo, máximo exponente de la verticalidad del poder político. En ciencias, en 1687 Newton publicó los *Principia Matemática* en el que establece la teoría de la gravitación universal. La masa atrae a la materia. En la Tierra, los objetos gravitan hacia su centro.

El segundo ejemplo lo tomamos en los primeros años del s. XX. En música, durante la segunda mitad de s. XIX el sistema tonal entró en crisis y la ruptura se dio en la primera década del s. XX cuando comenzó el período atonal, con las obras de Schönberg entre otras. Resulta icónica de este período la obra *La consagración de la primavera* de Stravinsky estrenada en 1913. En la música atonal ya no hay notas de equilibrio, sino que lo que importan son los intervalos entre las notas, el lugar de cada nota “es relativo” al resto. En la pintura, el realismo de la segunda mitad del s. XIX dio paso al impresionismo, y en la primera década del siglo XX se desarrollaron varias corrientes artísticas, enmarcadas en el vanguardismo. Entre ellas, el arte abstracto comenzó en 1910 con las obras de Kandinsky entre otros artistas. En estas obras desapareció el horizonte, ya no hay más “arriba” y “abajo”. En política, el comunismo comenzó a formularse en 1848 con el *Manifiesto comunista* de Marx y Engels y en 1917 se instauró en Rusia. Opuesta al absolutismo, se basa en la eliminación de las clases sociales, es decir que todas las personas son iguales. En ciencias, en 1905 Einstein formuló la teoría especial de la relatividad.

En el primer ejemplo encontramos que la verticalidad fue imponiéndose en los diferentes ámbitos, mientras que en el segundo, podemos identificar que surgió un relativismo. Sin pretender establecer causalidades, sí podemos plantear que hay ideas directrices que atraviesan a cada época.

del mundo natural. Sin embargo, no es aceptable cualquier explicación y no todas las explicaciones tienen la misma credibilidad. La coherencia entre la evidencia y las conclusiones es fundamental en la ciencia.

El conocimiento científico (hechos, leyes y teorías) es provisional y sujeto a cambio, y no es absoluto y exacto. Las aseveraciones científicas cambian con nuevas evidencias, que son posibles gracias a avances teóricos y tecnológicos, que ejercen influencia sobre las teorías o las leyes existentes, o cuando antigua evidencia es reinterpretada a la luz de nuevos avances teóricos o por cambios en las direcciones de programas de investigación establecidos. La provisionalidad de la ciencia no solo se debe a que el conocimiento científico es inferencial y creativo, pues está inmerso en la sociedad y en la cultura. Hay también argumentos lógicos convincentes que le dan credibilidad a la noción de provisionalidad en ciencia.

Lederman aclara que la lista no es definitiva. Estas características encuentran bastante consenso entre los especialistas en Filosofía de la ciencia y en didáctica, aunque probablemente muchos científicos disientan en varios aspectos.

Es una visión compatible con que las Ciencias naturales sean consideradas formas de conocimiento, ni las únicas, ni las mejores. Un conocimiento explícito que puede tener ciertas ventajas según el tipo de problema a abordar. El conocimiento científico consiste en descripciones, explicaciones y modos de comprender el mundo pero además permite hacer predicciones. Explicar y comprender satisface la curiosidad, mientras que predecir permite modificar el entorno y posibilita el desarrollo de tecnología.

Por otra parte, desde el punto de vista de su enseñanza, cada disciplina se compone de conjuntos de conceptos, de procedimientos y de actitudes. Los procedimientos son técnicas y estrategias y las actitudes son posturas que se asumen ante, por ejemplo, un problema. La visión aquí propuesta es que los docentes se propongan que todos los estudiantes alcancen imágenes de las disciplinas más cercanas a la lista de Lederman, es decir, más completas y complejas que un conjunto arbitrario de fórmulas o una colección de clasificaciones y definiciones.

Según la imagen de las ciencias aquí propuesta, buena parte del conocimiento científico se encuentra estructurado en *teorías*. Una teoría es un modo particular de mirar el mundo. Eso implica aprender la Mecánica clásica newtoniana o la Teoría sintética de la evolución. Cuando se enseñan Ciencias naturales, una finalidad debería ser que los estudiantes aprendan a mirar el mundo con los anteojos de la teoría en cuestión. Es decir, al enseñar Mecánica clásica newtoniana, el objetivo no debe ser el cálculo de problemas con planos inclinados o la obtención de fuerzas resultantes sino comprender las concepciones de espacio, tiempo, materia y movimiento que están en el núcleo de la teoría. El aprendizaje de teorías no debe sin embargo invalidar otras formas de ver el mundo, por ejemplo la estética. Se puede mirar al cielo y ver las estrellas desde la Física o la Astronomía, pero también se lo puede contemplar para disfrutar su belleza y sentir la paz o la inquietud que trasmite. Esta propuesta es compatible con algunas perspectivas de la Didáctica de las Ciencias, como el enfoque de enseñanza por explicitación y contrastación de modelos (Pozo y Gómez Crespo, 1998) y el perfil

conceptual (Mortimer, 2000). Coincidentemente con la primera perspectiva, para enseñar Ciencias naturales no se propone “erradicar” a las ideas previas o nociones alternativas de los estudiantes, como en ocasiones se ha interpretado el modelo de cambio conceptual (Strike y Posner, 1992). Las perspectivas actuales plantean que la Educación en Ciencias debe apuntar a que los estudiantes construyan su propia estructura cognitiva de los saberes científicos, de un modo integrado jerárquicamente con sus propias concepciones. Desde la segunda perspectiva, en palabras de Amaral y Mortimer:

“El perfil conceptual toma como base la idea de que las personas pueden exhibir diferentes formas de ver y representar la realidad y, como contrapartida, que la construcción de nuevas ideas puede ocurrir independientemente de las ideas previas”. (Amaral y Mortimer, 2001, p. 15, traducción nuestra).

En este contexto, los docentes tenemos la misión de enseñar las visiones científicas del mundo, pero también de enseñar los criterios para decidir en qué contextos es conveniente utilizarlas (Pozo y Gómez Crespo, 1998). Por ello, no se debe pretender que los estudiantes abandonen sus propias visiones del mundo, sino que se enriquezcan a partir de construir la visión científica.

Si saber Ciencias naturales ofrece la capacidad mirar al mundo desde cada una de sus teorías, el entorno cotidiano puede ser visto desde las perspectivas científicas. Al enseñar Ciencias naturales es recomendable tomar ejemplos de la vida cotidiana de los estudiantes para vincularlos con las cuestiones abstractas que se van enseñando, facilitando el aprendizaje. Además suele resultar estimulante y motivador.

Nos hemos referido a las ciencias, a la ciencia escolar y a los científicos. Otro aspecto de las ciencias que incluso a veces se usa para definirla, es el metodológico. Examinaremos en detalle este aspecto a continuación.

4. METODOLOGÍA CIENTÍFICA

Aún hay textos y cursos que presentan una visión perimida de la metodología científica, como proceso de descubrimiento de leyes que existen en la naturaleza, pero están escondidas. Según esta visión, “*el conocimiento científico se basa en la aplicación rigurosa del ‘método científico’ que debe comenzar por la observación de los hechos, de la cual deben extraerse las leyes o principios*” (Pozo y Gómez Crespo, 1998, p. 24). La imagen se suele completar, mediante la enunciación de pasos. Un ejemplo de esta visión deformada de *Método científico* se encontraba en Wikipedia (2013): 1. Observación; 2. Inducción; 3. Hipótesis; 4. Experimentación; 5. Demostración o refutación y 6. Tesis o teoría. Pareciera que el conocimiento científico se compone de leyes imparciales obtenidas mediante la aplicación rigurosa de un método afirmado sobre los hechos, que constituyen una base empírica irrefutable. La ciencia sería objetiva, neutral e independiente de factores histórico-sociológicos; con una evolución lineal y acumulativa que progresaría hacia el descubrimiento de las teorías verdaderas. No habría posibilidad de cuestionarlo o modificarlo, el conocimiento *es* así, la ciencia sólo lo descubre. Galileo (Galilei, 1623) afirmó que la filosofía natural está escrita en este libro que es el Universo, pero no se lo puede entender si primero uno no aprende la lengua en que está escrito, el lenguaje

matemático. También Einstein e Infeld (1986) indican que la naturaleza es un misterioso libro y que el trabajo de los científicos es aprender a descifrarlo, para dar con sus leyes. Estas metáforas son útiles en su contexto y según la finalidad con que los autores las utilizaron. Pero en el presente, estas imágenes nos dan la idea de que el conocimiento está (escrito) y que debemos descubrirlo (descifrarlo), que es justamente la idea que estamos cuestionando. Sin embargo, esta visión es filosóficamente anacrónica y se asemeja a una postura afianzada en los siglos XVII y XVIII sobre la *historia natural*: la descripción de lo *real* como reflejo exacto de lo *existente*, la *palabra* como representación *verdadera* de lo descripto y el *lenguaje* como el depósito de una única *verdad* (Foucault, 1968). En este marco, a la Historia de la ciencia se le imponen patrones subjetivos e implícitos, evaluando la ciencia de otras épocas a la luz y con referencia al conocimiento y a los valores actuales, según parámetros ideológicos naturalizados como si fueran los únicos posibles. Además, el conocimiento científico sería la única forma válida de conocimiento, pues habría sido obtenido por un método puramente racional y por ello se desvalorizan otras visiones, entre ellas el conocimiento previo de los estudiantes.

Esta idea de «*método científico*» está muy alejada de la concepción actual de los especialistas (Adúriz Bravo 2008; Pozo y Gómez Crespo, 1998; Petrucci y Bergero, 2010). Es un «sentido común epistemológico» -algo así como una *idea previa* sobre la ciencia- que combina elementos del empirismo-inductivismo del siglo XIX con aspectos del positivismo lógico de principios del siglo XX (Lombardi, 1998; Adúriz Bravo, 2008). Esta concepción adolece de muchas deficiencias:

- La observación nunca es imparcial, depende del marco teórico del observador. Es coherente con el cuarto punto planteado por Lederman (2007) resumido en el apartado anterior. Chalmers (1990) le dedica un capítulo entero a la afirmación «la observación depende de la teoría». Kuhn (2004) argumenta en este mismo sentido, ejemplificando con la formación de científicos:

“Las demostraciones conocidas de un cambio en la forma visual resultan muy sugestivas como prototipos elementales para esas transformaciones del mundo científico. Lo que antes de la revolución eran patos en el mundo del científico, se convierte en conejos después. ... Al mirar el contorno de un mapa, el estudiante ve líneas sobre papel, mientras que el cartógrafo ve una fotografía de un terreno. Al examinar una fotografía de cámara de burbujas, el estudiante ve líneas interrumpidas que se confunden, mientras que el físico un registro de sucesos subnucleares que le son familiares. Sólo después de cierto número de esas transformaciones de la visión, el estudiante se convierte en habitante del mundo de los científicos, ve lo que ven los científicos y responde en la misma forma que ellos”. (Kuhn, 2004, pp. 176-177).

Comenzar una investigación por la observación, sin definir previamente el marco teórico, implica utilizar implícitamente un marco teórico, lo cual constituye una debilidad metodológica.

- Los marcos teóricos son los grandes ausentes. El conocimiento científico se estructura en teorías que modelizan la realidad. Estas teorías son construcciones que explican un conjunto de fenómenos (el movimiento de los cuerpos, la evolución de las especies). Este punto se ampliará más adelante.
- Las preguntas, los problemas y los intereses de los investigadores también están ausentes, o al menos no se explicitan.
- El conocimiento científico es provisorio y está sujeto a revisión. Este es uno de los valores fundamentales que caracteriza a la ciencia y la hace diferente de otras formas de conocimiento. La Mecánica de Newton orientó nuestra imagen del Universo durante 200 años, hasta que la Relatividad y la Cuántica vinieron a modificarla. Nadie sabe cuánto durarán estas teorías vigentes actualmente.
- No se considera a la comunidad científica. Las investigaciones son realizadas por personas condicionadas por factores históricos, sociales y culturales.

El método inductivo puede ser interpretado como superador de esta propuesta, al ampliar la base empírica de las investigaciones. Sin embargo, tampoco es un método apropiado para establecer leyes, como argumenta Chalmers (1990). Hay aspectos metodológicos -muy alejados de esta visión- que como vimos en el apartado anterior, son muy importantes para la formación en Ciencias naturales. Las ideas que caracterizan la concepción de metodología científica aquí propuesta son:

- Es un proceso abierto, cuyas fases se determinan en función del área de aplicación, de las problemáticas a investigar, del tipo de estudio y de sus objetivos, del contexto histórico y los intereses de los investigadores o la comunidad, de los recursos disponibles, etc.
- Es un proceso en el cual los científicos, provistos de un conjunto de herramientas donde cada una tiene una utilidad específica, deciden cuándo emplearlas sin restringir un único orden de uso. Las estrategias resultantes son variadas y complejas.

Esta visión es coherente con una noción actualizada del conocimiento científico:

- Se construye a través de un proceso de elaboración de teorías y modelos que intentan dar sentido a un campo de referencia, es decir un área de conocimiento, un conjunto de fenómenos (Tiberghien, 1994).
- Tiene un carácter dinámico, provisorio y depende del contexto histórico (Lederman, 2007).

Esta visión sobre las ciencias y su metodología, más humanizada, contribuye a promover en los estudiantes una valoración más positiva, coincidente con el enfoque CTSA (Fourez, 1997). Habiendo discutido la visión de las ciencias y de metodología científica, nos referiremos a las características del conocimiento científico.

5. EL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO

Buena parte del conocimiento científico se estructura en teorías. La palabra teoría tiene varias acepciones. Coloquialmente se usa como especulación o conjetura, como cuando Mafalda dijo de Guille: «Tiene la teoría de que peinarse con peine pincha las ideas». En Ciencias naturales es algo más elaborado, aunque sigue siendo una conjetura, una

idea que guía a la acción. Se llama teoría a un cuerpo de conocimientos que explica un campo o dominio del Universo. Incluye un sistema conceptual con coherencia lógica interna y un conjunto de procedimientos asociado. Algunos autores piensan que las leyes forman el núcleo de un sistema teórico, también llamado programa de investigación (Lakatos, 1983) o paradigma (Kuhn, 2004) del cual forman parte además hipótesis auxiliares, procedimientos, normas, campo de aplicación y para el segundo autor, valores.

La elaboración y evaluación de teorías, así como las pugnas entre dos teorías rivales, son procesos complejos y producto de controversias entre los especialistas. Una introducción a estas cuestiones puede encontrarse en textos de Filosofía de las Ciencias como Chalmers (1990) o Newton-Smith (1987). Aquí sólo se presenta una visión resumida y necesariamente parcial. Las teorías científicas surgen en un cierto contexto social y cultural y luego se desarrollan, evolucionan. Cambian al contexto y el contexto las cambia. También hay modificaciones que se dan por cuestiones internas. Muy resumidamente, podemos considerar que cuando una nueva teoría es propuesta, si la comunidad científica la considera plausible, la examina, la cuestiona, la prueba y eventualmente, la usa. Algunas pruebas suelen llamarse experimentos cruciales, pues orientan sobre la validez de una teoría. Pero nunca son definitivos, siempre puede hallarse una justificación al fracaso del experimento. Por ejemplo:

- La órbita de Urano difería notablemente de la prevista por la Mecánica Newtoniana, lo que constituía una dificultad para la teoría. Era descabellado desechar la teoría, pues no se contaba con una mejor. Se buscó una explicación dentro del marco teórico: la diferencia podía deberse a la gravedad de algún planeta aún no descubierto, que estaría perturbando su trayectoria. Inspeccionando la región del cielo donde los cálculos indicaban que debía estar ese nuevo planeta, en 1846 se descubrió a Neptuno, lo que resultó un fuerte respaldo a la teoría de Newton. Es un ejemplo de predicción exitosa.
- Con un error de menor magnitud, la Mecánica Newtoniana predecía un movimiento del perihelio de Mercurio distinto del observado. Confiados en el éxito del descubrimiento de Neptuno, unos 30 años más tarde se postuló un nuevo planeta entre Mercurio y el Sol que explicaría el movimiento anómalo del perihelio. Se propuso llamarlo Vulcano, e incluso ¡fue observado! Actualmente se cree que se observaron manchas solares, confundiendo con Vulcano en su tránsito por el Sol (un ejemplo de cómo la teoría y los intereses del observador pueden afectar una observación). A pesar de que la teoría de Newton no lograba explicar esta anomalía, siguió vigente. Una teoría no es abandonada por más evidencia empírica que haya en su contra, si no hay una teoría mejor que la sustituya.
- Unos cuarenta años después, la teoría General de la Relatividad predecía un pequeño desplazamiento de las estrellas que desde la Tierra se ven cercanas al Sol, porque los rayos de luz que llegan desde ellas se curvan al pasar cerca del Sol, algo impensable desde la visión newtoniana del Universo. El mismo fue observado por Eddington durante un eclipse en 1919, un rotundo éxito de la Relatividad.
- A veces una nueva teoría explica un fenómeno ya conocido desde mucho antes. La anomalía en el movimiento del perihelio de Mercurio fue explicada

con precisión por la Teoría General de la Relatividad. Su cercanía al Sol hace que el campo gravitatorio sea tan intenso que difiere del límite newtoniano.

La Mecánica de Newton ha sido muy importante en Física. Con la aparición de la Relatividad y la Cuántica, la teoría de Newton ya no fue considerada válida. El espacio, el tiempo y la materia ya no son interpretados como lo proponía esa teoría. Sin embargo se sigue enseñando una versión actual de esa teoría, por su valor cultural e intelectual, pero también porque constituye un valioso instrumento de cálculo en las escalas espacial y temporal en que nos manejamos cotidianamente, el *mesocosmos*. Otras teorías importantes en Física son la Relatividad General, la Relatividad Especial, la Mecánica Cuántica, la Teoría Cuántica de Campos, la Termodinámica, la Mecánica Estadística, el Electromagnetismo y quizá la Teoría de Cuerdas (unos especialistas dicen que está construcción y otros cuestionan que sea una teoría). Entre la Química y la Física se encuentra a la Teoría Atómica. En Biología fue muy importante la Teoría de la Evolución, cuya versión actual -que incluye a la genética- se llama Teoría Sintética de la Evolución. La Geología cuenta con la Tectónica de Placas. Entre la Física y la Astronomía está la teoría sobre la creación del Universo, el Big Bang. Sin embargo, buena parte del conocimiento químico y biológico se encuentra organizado teóricamente por fuera de la teoría atómica y de la evolución.

La aparición de cada marco teórico significó un paso importante para nuestra cultura, redundando en un aumento de conocimiento en su campo de aplicación. Como dijimos, una teoría brinda una base sólida sobre la cual realizar las pesquisas. Cada una implica qué es lo que existe, guía respecto a qué observar, qué problemas plantear, qué instrumentos utilizar, cuáles procedimientos son adecuados, etc. Todo ello provoca que aumenten la cantidad y calidad de investigaciones en el tema.

La coherencia entre teorías es valorada. Es uno de los aspectos que se aprecia al evaluar dos teorías rivales. Entre dos modelos atómicos, la compatibilidad de uno de ellos con el electromagnetismo es una ventaja.

Los conceptos sólo tienen sentido dentro de un marco teórico. La masa no tiene el mismo significado en Mecánica clásica que en Relatividad. Igualmente, la energía tiene un significado en Mecánica, otro distinto en Termodinámica, en Química, en Ecología, etc. La idea de concepto transversal o integrador, tan atractiva para la didáctica, es problemática desde la Filosofía de las Ciencias. Sin embargo, hay conocimiento que se ha ido desarrollando entre disciplinas (como la fisicoquímica) algunos de los cuales se han convertido en disciplinas en sí mismas (como la Bioquímica). En los últimos años los estudios interdisciplinarios se han multiplicado enormemente (epidemiología matemática, sistemas complejos aplicados a los campos más diversos, etc.) cobrando cada vez mayor importancia.

El surgimiento de la teoría sobre la electricidad como fluido, de Franklin, ilustra las visiones propuestas sobre observación, teoría y metodología científica. En la primera mitad del S. XVIII había diversas opiniones sobre la naturaleza de la electricidad -basadas en la filosofía mecánico-corpúscular- que guiaban las investigaciones (Kuhn, 2004). Distintos experimentos y observaciones (necesariamente parciales) estipulaban diversos problemas nuevos. La falta de un paradigma hacía que diferentes hechos pudieran ser considerados como los más relevantes. No había unas únicas razones que orientaran la búsqueda de nueva información.

Las agrupaciones de hechos eran incompletas e incluían diferentes elementos, por diversas razones. Esto ocurría porque “...no es extraño que, en las primeras etapas del desarrollo de cualquier ciencia, diferentes hombres, ante la misma gama de fenómenos -pero, habitualmente, no los mismos fenómenos particulares- los describan y lo interpreten de modos diferentes” (Kuhn, 2004, p. 43). Estas diferencias desaparecen con el establecimiento de un marco teórico. La teoría define cuáles son los problemas a resolver y sugiere qué experimentos vale la pena llevar a cabo. Los científicos dejan de discutir sobre los fundamentos y comienzan a investigar sistemáticamente sobre cuestiones precisas, aún no dilucidadas. Las actividades tienen una dirección definida y la efectividad de las investigaciones aumenta considerablemente. Además pueden sobrevenir nuevos desarrollos tecnológicos, algunos de uso cotidiano y otros específicos para desarrollar nuevas investigaciones (Kuhn, 2004).

Mientras una teoría está vigente, es cuestionada, revisada, reinterpretada, una y otra vez. A veces son reformuladas, como ocurriera con los formalismos de Lagrange o de Hamilton en el marco Newtoniano. Sin embargo, el universo que conciben es el mismo. La Teoría de Newton sufrió cambios desde la publicación de los *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica* en 1687 (Newton, 1997). En su versión original, la teoría utilizaba una matemática llamada Teoría de proporciones, que se venía utilizando desde la antigüedad. Actualmente se utiliza la notación algebraica, el cálculo infinitesimal, vectores y la gravedad se describe utilizando la noción de campo vectorial. Si bien Newton ya había desarrollado el cálculo infinitesimal y seguramente lo había utilizado para resolver varias cuestiones presentes en los *Principia*, no podía utilizar una herramienta de cálculo recién creada por él para argumentar su nueva teoría, por eso debió encontrar demostraciones utilizando el viejo método, la teoría de proporciones. Debido a que la versión actual de la teoría -la que se enseña en las escuelas- difiere de la original, es preferible llamarla Mecánica clásica contemporánea. Las teorías cambian, evolucionan, y los libros de texto tienen un papel importante porque condicionan qué es lo que se enseña a las nuevas generaciones de científicos.

Como decíamos, algunas conjeturas son llamadas teorías, utilizando el significado más coloquial del término: teoría de los orbitales moleculares, teoría cinética de los gases. Esta es una dificultad extra desde el punto de vista de la enseñanza, pues se contribuye a la extendida confusión de docentes y estudiantes sobre los fundamentos del conocimiento científico.

Por su parte, la psicología sostiene que cada sujeto tiene sus teorías personales (Poza, 2006). Es razonable llamarlas teorías pues “constituyen estructuras jerarquizadas de conceptos, aunque generalmente implícitas y no conscientes y (...) tienen una función explicativa” (Poza, 2006, pp. 242-243). Algunas serán teorías-en-acción, construidas espontáneamente mientras que otras serán más elaboradas, por ejemplo por haber estudiado Ciencias naturales. ¿Hay relación entre observación y teoría desde una perspectiva psicológica? La observación es un proceso que comienza cuando se decide observar. Las teorías personales guían la observación, indicando de qué está compuesto el mundo, a qué prestarle atención. Una vez que llega la información al sujeto, comienza el proceso de percepción en el cual vuelve a intervenir la teoría. La información recibida es procesada involucrando los conocimientos previos. Por ejemplo el

objeto observado es «clasificado». En este punto es análogo a lo que ocurre en las ciencias, los científicos miran el mundo desde sus teorías. Como toda analogía, tiene sus límites, pues hay muchas diferencias entre las teorías personales y las científicas, en particular estas últimas son más consistentes, explícitas y compartidas.

Hemos argumentado sobre una característica esencial del conocimiento científico, que se estructura en teorías. Veamos las consideraciones didácticas que surgen del análisis realizado.

6. CONSIDERACIONES FINALES

Hay muchos motivos por los cuales enseñar Ciencias naturales en las escuelas, si bien sería deseable contar con más resultados de investigaciones que respalden a algunos de ellos. A pesar de los esfuerzos realizados a lo largo de muchos años, nuestros estudiantes no logran conceptualizaciones deseables sobre la NdC (Lederman, 2007). Hemos intentado vincular las concepciones ingenuas de los estudiantes sobre la ciencia con el rechazo -que ocurre globalmente- por la ciencia escolar. Hemos presentado el trabajo de Vázquez y Manassero (2008) que muestra cómo las actitudes de los estudiantes hacia la ciencia escolar decaen fuertemente durante su paso por la escuela. Los estudios muestran que la postura predominante de los jóvenes puede resumirse en la frase “las ciencias son muy importantes, pero que las hagan otros” probablemente influenciados no sólo por la ciencia escolar, sino por las imágenes que transmiten los medios masivos de comunicación y muchas veces los mismos científicos en sus intentos por hacer divulgación. Este resultado es compatible con que pocos jóvenes decidan estudiar carreras científicas.

Para enfatizar la necesidad de reformular de raíz la enseñanza de las Ciencias naturales, citamos a referencias en el área como Johnstone (2010) que se refieren al fracaso de la propuesta que venimos implementando en los últimos 50 años. En ese sentido, presentamos una propuesta de visión de NdC (Lederman, 2007) de la cual se desprende como fundamental la noción de que el conocimiento científico se estructura en teorías.

Hemos argumentado contra la visión de existencia de un método científico como serie de pasos fijos a seguir. A partir de allí hemos aportado elementos para una conceptualización más compleja de la metodología. En este recorrido abordamos ejemplos históricos que ilustraron la complejidad de los procesos que se ponen en juego cuando la comunidad científica se debate entre dos teorías rivales. Con estos ejemplos pretendimos argumentar las visiones metodológicas que consideramos compatibles con la visión de NdC planteada.

De este modo, proponemos enseñar marcos teóricos, es decir visiones sobre el mundo y no sólo conceptos y mucho menos a memorizar definiciones. Se plantea no centrar la enseñanza en la resolución de problemas de fin de capítulo mediante el uso de fórmulas y algoritmos, sino enseñar a usar herramientas metodológicas (Cappannini et al., 1996; Cappannini et al., 1997; Dumrauf y Espíndola, 2002; Petrucci y Bergero, 2010). Es decir, además de enseñar ciencias, enseñar actividades científicas y enseñar sobre las ciencias.

En ese sentido, aprender Ciencias naturales puede ser una actividad desafiante, placentera. No son más difíciles que otras disciplinas, ni es necesario estudiarlas de modo tedioso, contra lo que -sin sustento- muchos profesores suelen

sostener (Alonso y otros, 1992). No es cierto que sólo unos pocos sujetos, especialmente dotados y/o estudiosos puedan tener acceso a ellas. Desde esta perspectiva es que consideramos perjudiciales a las iniciativas que suelen surgir en medios científico-académicos dirigidas a detectar jóvenes talentosos para animarlos a dedicar su vida a las ciencias, debido a que fomentan la visión que aquí cuestionamos. Seguramente algunos deberán estudiar y dedicarse más que otros. Si además no se sienten atraídos hacia ellas, si no les gustan, el esfuerzo que deban realizar para entender les parecerá mucho mayor que quien lo hace con gusto. Pero -si bien hace falta investigación- tenemos indicios para suponer que mediante el uso de las herramientas metodológicas no sólo se lograrán mejores aprendizajes, sino también mejores actitudes hacia las ciencias, logrando que más jóvenes decidan estudiar carreras científicas y tecnológicas. Notemos que 4 de los 6 factores más citados que hacen poco atractivas a las carreras científicas (difíciles, aburridas, cuestión de gustos, no querer seguir estudiando) (MinCyT, 2014) son cuestiones que se pueden modificar desde la enseñanza de las ciencias y desde la comunicación de las ciencias.

AGRADECIMIENTOS

A Guillermo Folgueras y Daniel Badagnani por sus aportes y a Silvia M. Pérez, Osvaldo Cappannini y Paula Bergero por -entre otras cosas- sus lecturas críticas.

REFERENCIAS

Adúriz-Bravo, A. (2008). *¿Existirá el "método científico"?*, en Galagovsky, L. (coord.). *¿Qué tienen de "naturales" las ciencias naturales?* Buenos Aires: Biblos., pp. 47-59.

Alonso, M., Gil, D. y Martínez Torregrosa, J. (1992): Concepciones espontáneas de los profesores de ciencias sobre la evaluación: obstáculos a superar y propuestas de replanteamiento. *Revista de Enseñanza de la Física*, 5, pp. 18-38.

Amaral, Edenia M. R. y Mortimer, Eduardo F. (2001). Una propuesta de perfil conceitual para o conceito de calor. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 1(3), pp. 5-18.

Cappannini, O. M.; Lúquez, V.; Menegaz, A.; Segovia, R. y Villate, G. (1996). *Introducción de conceptos de metodología científica en un curso de Física de grado*. Memorias del Tercer Simposio de Investigadores en Educación en Física. Córdoba: APFA, pp. 193-199.

Cappannini, O.; Cordero, S.; Menegaz, A.; Mordeglia, C.; Segovia, R. y Villate, G. (1997). *Metodología científica en el aula: una experiencia innovadora en la formación docente*. V Congreso Internacional de Investigación en Didáctica de las Ciencias Experimentales. Murcia, España: Enseñanza de las Ciencias.

Clarín (2014). *Las carreras que más necesita el país son las menos estudiadas*. Nota de Alfredo Dillon. Sitio consultado el 28-11-2014. http://www.clarin.com/sociedad/formacion-universitaria-carreras-alumnos_0_1243675639.html

Chalmers, Alan F. (1990). *Qué es esa cosa llamada ciencia*. Madrid: Siglo XXI. Decimoprimer edición en español.

DGCyE (2015). Diseños Curriculares. Dirección General de Cultura y Educación, PBA. <http://servicios2.abc.gov.ar/lainstitucion/organismos/consejogeneral/disenioscurriculares/>

Driver, R.; Leach, J.; Millar, R. y Scott, P. (1996). *Young People's Images of Science*. London: Open University Press.

REIEC Año 12 Nro. 1 Mes Julio

Recepción: 31/05/2016

Dumrauf, A. (2006). La mirada de los otros. *Actas del SIEF* 8, pp. 323-330.

Dumrauf, A.; Cordero, S.; Mengascini, A. y Mordeglia, C. (2008) *¿Qué ciencias para qué mundo?* *Actas del XXXIII Encuentro de Didáctica de las Ciencias*, APICE, pp. 1-100.

Dumrauf, A. y Espíndola, C. (2002). "El Huevo Loco": Una Propuesta de Introducción a la Metodología Científica en el Aula. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 34, pp. 116-120.

Einstein, A. y Infeld, L. (1986). *La Física, aventura del pensamiento*. Buenos Aires: Losada.

Fernández, I.; Gil, D.; Carrascosa, J.; Cachapuz, A. y Praia, J. (2003). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (3), 477-488.

Foucault, M. (1968). *Las palabras y las cosas*, Siglo XXI Editores.

Fourez, G. (1997). "Alfabetizar" científica y técnicamente. Capítulo 1 de Alfabetización científica y tecnológica: Acerca de las finalidades de la enseñanza de las ciencias. Buenos Aires: Colihue.

Galagovsky, L. (2012). Educación en ciencia y tecnología: de la certeza de la excelencia a la incertidumbre de la compleja realidad. (Premio Braun Menéndez Bicentenario 2010). *Ciencia e investigación*. 62(1), pp. 5-20. http://aargentinapciencias.org/index.php?option=com_content&task=view&id=1904&Itemid=1

Galilei, G. (1997) Il Saggiatore. http://www.icmc.usp.br/~andcarva/II_Saggiatore.pdf. Sitio consultado en mayo de 2016. Edición original de 1623.

Gallardo, S. (2012). Ciencia y Género - Carrera de Obstáculos. *Exactamente*. Revista de divulgación científica de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA, 49, pp. 14-17.

Guisasola, J.; Gras-Martí, A.; Martínez-Torregrosa, J.; Almudí, J. M. y Becerra Labra, C. (2004). La enseñanza universitaria de la Física y las aportaciones de la investigación en Didáctica de la Física, *Revista Española de Física*, 18, pp. 15-16.

Hormigón, M. y Kara-Murzá, S. (1990). Ciencia e ideología, *LLULL*, 13, 447-513.

Jiménez Liso, M. R. y Petrucci, D. (2004). "La Innovación Sistemática: un análisis continuo de la práctica docente universitaria de ciencias". *Investigación en la Escuela*, 52, pp. 79-89.

Johnstone, A. H. (2010). You Can't Get There from Here, *Journal of Chemical Education*, 87 (1), pp. 22-29.

Kuhn, T. S. (2004). *La estructura de las revoluciones científicas*. Buenos Aires: F.C.E. Primera edición en inglés, 1962.

Lakatos, I. (1983). *La metodología de los programas de investigación científica*. Madrid: Alianza Universidad.

Lederman, N. G. (2007). *Nature of Science: Past, Present, and Future*. En Abell, S. K. y Lederman, N. G. Handbook of Research on Science Education. New Jersey: LEA Publishers.

Lederman, N. G., y Niess, M. L. (1997). The nature of science: Naturally? *School Science and Mathematics*, 97(1), pp. 1-2.

Lombardi, O. (1998) "La noción de modelo en ciencias", en *Educación en Ciencias*. Vol. II, nº 4, pp. 5 a 13.

Manassero, M. A. y Vázquez, Á. (2001). Actitudes de estudiantes y profesorado sobre las características de los científicos. *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (2), pp. 255-258.

- Mengascini, A.; Menegaz, A.; Murriello S. y Petrucci, D. (2004). «...yo así, locos como los vi a ustedes, no me lo imaginaba.» Las imágenes de ciencia y de científico de estudiantes de carreras científicas". *Enseñanza de las Ciencias*, 22 (1), pp. 65-78.
- MinCyT (2014), *La percepción de los argentinos sobre la investigación científica en el país*. Tercera Encuesta Nacional (2012), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, MinCyT.
- Mortimer, E. F. (2000) *Linguagem e Formação de Conceitos no Ensino de Ciências*. Editora UFMG: Belo Horizonte.
- Newton, I. (1997). *Principios matemáticos de la Filosofía natural*. Barcelona: Altaya. Original: *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, 1687.
- Newton-Smith, W. H. (1987). *La racionalidad de la Ciencia*. Barcelona. Paidós.
- Perkins, D. (1995). *La escuela inteligente: Del adiestramiento de la memoria a la educación de la mente*. Barcelona: Gedisa.
- Petrucci, D. (2009). *El Taller de Enseñanza de Física de la UNLP como Innovación: Diseño, Desarrollo y Evaluación*. Tesis de doctorado en Educación. Universidad de Granada. España.
- Petrucci D. y Bergero, P. (2010). *El doble cono para enseñar herramientas metodológicas útiles para el aprendizaje de física*. Actas del SIEF 10, Posadas, octubre de 2010, pp. 221-232.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. y Gertzog, W. A. (1988). *Acomodación de un concepto científico: Hacia una teoría del cambio conceptual*, en Porlán, R., García, J.E. y Cañal, P. *Constructivismo y enseñanza de las ciencias*. Sevilla: Díada. Original en inglés de 1982.
- Pozo, J. I. (2006). *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Madrid: Morata.
- Pozo, J. I. y Gómez Crespo, Miguel A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid: Morata.
- Pujalte, A.; Ganguí, A. y Adúriz-Bravo, A. (2012). "La ciencia en los cuentos": análisis de las imágenes de científico en literatura juvenil de ficción. *CIENCIA ergo sum*, 19 (3). Pp. 261-270.
- Pujalte, A.; Bonán, L.; Porro, S. y Adúriz-Bravo, A. (2014). Las imágenes inadecuadas de ciencia y de científico como foco de la naturaleza de la ciencia: estado del arte y cuestiones pendientes. *Ciência & Educação*, Bauru, 20, (3), pp. 535-548.
<http://dx.doi.org/10.1590/1516-73132014000300002>
- Sjøberg, S. y Schreiner, C. (2005). Young people and science. Attitudes, values and priorities. Evidence from the ROSE project. *Keynote presentation at EU's. Science and Society Forum*. En línea: <http://www.ils.uio.no/forskning/rose/documents/presentations/>.
- Sjorberg, S. y Shreiner, C. (2010). The ROSE Project. An overview and key findings.
<http://roseproject.no/network/countries/norway/eng/nor-Sjoberg-Schreiner-overview-2010.pdf>
- Spear, M.G. (1984). Sex bias in science teachers' ratings of work and pupils characteristics. *European Journal of Science Education*, 6 (4), 369-377.
- Strike, K. A. y Posner, G. J. (1992). *A revisionist theory of conceptual change*. In: Duschl, R y Hamilton, R. (Eds.). *Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice*. Albany: Suny Press. pp. 147-176.
- Tiberghien, A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations, *Learning and instruction*, 4, pp. 71-87.
- Vázquez, Á. y Manassero, M. A. (2008). El declive de las actitudes hacia la ciencia de los estudiantes: un indicador inquietante para la educación científica. *Revista Eureka*, pp. 5(3), pp. 274-292.
- Von Reichenbach, M. C., Hara, M. y López D'Urso, M. (2002). Tebaldo Jorge Ricaldoni: ¿inventor o científico? *Saber y Tiempo*, 13, pp. 73-93.
- Wikipedia (2013). *Método científico*. Recuperado el 1-2-2013 de http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9todo_cient%C3%ADfico.

Diego Petrucci

Profesor en Físico-Matemática, FHyCE, UNLP.

Dr. en Didáctica de las Ciencias Experimentales, Universidad de Granada, España.

Ha sido docente del CEFIEC, FCEN, UBA; IDH, UNGS, y varias dependencias de la UNLP.

Investigador en Didáctica de las Ciencias Naturales, en particular en Física.