



*Aprender y enseñar ciencias:  
del laboratorio al aula  
y viceversa*



IV Foro Latinoamericano de Educación

APRENDER Y ENSEÑAR CIENCIAS. DESAFÍOS, ESTRATEGIAS Y OPORTUNIDADES



Diego A. Golombek

Aprender y enseñar ciencias:  
del laboratorio al aula  
y viceversa

**DOCUMENTO BÁSICO**

Fundación **Santillana**

FALTA FICHA

Diego A. Golombek es licenciado y doctor en Biología de la Universidad de Buenos Aires. Profesor en la Universidad de Quilmes e investigador del CONICET. Director del laboratorio de Cronobiología de esa Universidad.

ISBN: XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

© 2008, Diego A. Golombek  
© 2008, Fundación Santillana

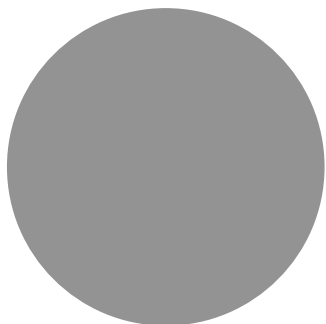
Av. Leandro N. Alem 720 (C1001AAP)  
Ciudad Autónoma de Buenos Aires  
República Argentina

Queda hecho el depósito que marca la ley 11.723  
Impreso en Argentina. Printed in Argentina

# ÍNDICE

Prefacio	9
I. Esa cosa llamada ciencia	15
II. No sé lo que quiero, pero lo quiero ya	29
III. Recorrer la ciencia en el aula	37
IV. Un Ministerio que da consejos...	69
V. <i>Finale</i> con ciencia	79
Apéndice: Desfile de modelos	83
Bibliografía	87





---

## Prefacio

### El rey (de la ciencia) está desnudo

Este documento constituye un aporte para la reflexión sobre la enseñanza de las ciencias en el marco del IV Foro Latinoamericano de Educación organizado por la Fundación Santillana, bajo el lema “Aprender y enseñar ciencias. Desafíos, estrategias y oportunidades”. El tema de este Foro no podría ser de mayor actualidad, dada la creciente importancia que se le está otorgando a la ciencia, así como a la educación y la alfabetización científicas no solo en la región sino también en el resto del mundo. Al respecto, cabe destacar que 2008 ha sido declarado “Año de la Enseñanza de las Ciencias” en la República Argentina, un hecho que no solamente dista de ser simbólico sino que cristaliza una genuina preocupación por la crisis en el área, por cuyas falencias sufre no solo el campo profesional específico sino toda la ciudadanía.

Es interesante detenerse en los conceptos principales del título de este foro. En principio, no se trata únicamente de cómo **enseñar** la ciencia –sobre lo cual hay amplia bibliografía y un vasto campo de experiencias que pueden ser compartidas e imitadas– sino también de los procesos que ocurren en quien **aprende** y ejercita las ciencias (tanto sea el alumno de niveles básicos o superiores como el docente en distintas etapas de su formación). Ambos campos –el de enseñar y el de aprender– han experimentado diversas transformaciones en las últimas décadas, en lo que se refiere a los contenidos y a los métodos implementados o sugeridos, pero lo cierto es que el **desafío** del título es mayúsculo: hay una enorme crisis en el sector que se ve reflejada en el magro desempeño de la región en las evaluaciones internacionales, en el abismo entre la educación en ciencias en el nivel secundario y el universitario, en la falta de vocaciones científicas en nuestros estudiantes –hecho particularmente grave en regiones de economías emergentes que necesitan

expertos en ciencia y tecnología en grados crecientes– y, por último, en la deficiente alfabetización científica de la población, lo cual en el mundo contemporáneo (en el que se requiere cada vez más la toma de decisiones relacionadas con la ciencia y sus consecuencias) es sencillamente imperdonable.

Frente a desafíos mayúsculos, entonces, habrá que implementar las **estrategias** correspondientes. Aquí vale tanto la creatividad como la imitación de aquellos modelos que se adecuen a las respectivas experiencias y realidades. Estas estrategias deberán valerse de las **oportunidades** que ofrezca cada realidad particular de las regiones involucradas que, en general, y a diferencia de lo que podría pensarse, no son pocas. En nuestro país, por ejemplo, la enseñanza universitaria de la ciencia en las instituciones estatales, así como el nivel de investigación básica y sus aplicaciones en algunas áreas, son en algunos casos excelentes y merecen una interacción profunda con el resto del sistema educativo. Asimismo, algunas soluciones tecnológicas específicas de determinadas regiones son fruto de la creatividad aplicada a las diversas oportunidades presentes, ejemplos que pueden y deben ser apropiados por la enseñanza de las ciencias. En resumen, la situación es grave pero no irreversible, y el solo hecho de hacerse cargo de las enormes deficiencias en el área es un buen comienzo.

Antes de avanzar en la temática específica del documento es necesario realizar unas cuantas aclaraciones. El autor de este texto no es especialista en didáctica de las ciencias. Nada de eso. Más allá de mi experiencia docente en diversos niveles (en particular, secundario y universitario), me desempeño profesionalmente como investigador científico y tengo a mi cargo un laboratorio de investigación.

Tal vez esta condición, más allá de sus obvias desventajas frente a los que se dedican formalmente a la investigación y diseño específicos en la enseñanza de las ciencias, tenga también algunas virtudes, entre las cuales cabe resaltar dos posibles:

- a) La tesis principal de este trabajo puede resumirse en que la única forma de aprender ciencias es haciendo ciencias. De esta manera, más allá de algunos recursos didácticos y ejemplos particulares que, como es obvio, se encuentran maravillosamente explicados y discutidos en otros textos, la investigación científica y la enseñanza de las ciencias tal vez no difieran de manera sustancial (más allá del requerimiento de originalidad en la primera, no obligatorio de la segunda).<sup>1</sup> Así, la visión de un científico “puro” puede aportar otra perspectiva que tal vez resulte de interés para los docentes (lo contrario, el aporte de los docentes a la investigación, es indudable y la interacción



entre ambos enfoques es sumamente beneficiosa), en tanto describa caminos que son habituales en los laboratorios y las discusiones entre pares que tal vez no resulten –o no deban resultar– tan extraños para la ciencia en el aula.

- b) El estar alejado de un rubro tan trabajado y exhaustivamente discutido como la didáctica profesional de las ciencias puede permitir una mirada desprovista de ciertos tecnicismos y sobreentendidos, y con una llanura tal que sea exportable a los diversos niveles de enseñanza.

Veamos algunos corolarios de estos dos postulados. Si la única forma de aprender ciencia es haciéndola, quiere decir que el aula –tanto sea la de alumnos de escuelas primarias como la de los institutos de formación docente– puede y debe transformarse en un ámbito activo de generación de conocimiento, alejado de la mera repetición formulística y basado en la experimentación e indagación constantes (estamos hablando, claro está, de la enseñanza de las ciencias naturales, y no de las sociales o de la matemática, cada una de las cuales posee un corpus propio y del cual un científico natural no está capacitado para opinar con mucho conocimiento de causa). Una de las objeciones a esta mirada es puramente metodológica: cómo hacer ciencia en un aula que adolece de la falta de toda herramienta instrumental, desde un microscopio hasta, en el peor de los casos, la energía eléctrica que permita la realización de determinadas pruebas. Es cierto: algunos objetivos puntuales requerirán ciertas tecnologías a veces inalcanzables en algunos ámbitos educativos. Sin embargo, reducir la ciencia (y su enseñanza) a factores puramente metodológicos –sin negar su indudable importancia– es, en todo caso, un punto de vista miope. Cada vez que logramos una actitud inquisitiva, curiosa, hasta rebelde, en el alumno, que comprenda que sus propias preguntas acerca del mundo que lo rodea son el inicio y no el final de un viaje; cada vez que nos permitimos acompañar y no limitar esas preguntas; cada vez que una afirmación es discutida, corroborada y refutada hasta el hartazgo o cada vez que nos maravillamos frente a un fenómeno natural y queremos domarlo y comprenderlo, estaremos haciendo ciencia, sin necesidad de aceleradores de partículas o microscopios electrónicos.

<sup>1</sup> En realidad podríamos decir que la originalidad no es el principal punto de diferencia entre la ciencia profesional y la ciencia en el aula. Tal vez la diferencia radica en que en el aula el alumno aprende bajo la guía de un docente que sabe bien cuál es la hoja de ruta, el punto de llegada y los posibles caminos para llegar de uno a otro lado. En ese camino –provisto de andamios y escaleras para ir explorando nuevos niveles– la idea es que el que aprende haga cosas análogas (pero obviamente no iguales) a lo que hace un científico cuando se enfrenta a un problema por resolver o a un fenómeno por explorar. Al enseñar, el docente va generando con mucho cuidado condiciones para que los chicos tengan la oportunidad de pensar científicamente, lo cual no es nada sencillo y requiere docentes muy preparados.

Sin embargo, es estrictamente cierto que el enfoque experimental de la enseñanza de las ciencias naturales requiere una base metodológica que permita la formulación de tales experimentos. En general los experimentos no pueden faltar pero no son lo único que se puede (ni se debe) hacer para enseñar a pensar científicamente –resulta obvio que existen diversos temas que no son adecuados para la resolución experimental–. Aquí entran entonces aspectos prácticos de la didáctica científica, que están a la par de los otros enfoques que trataremos en este documento, siempre y cuando quede claro que lo que queremos argumentar es que en el aula se deben cumplir todos los pasos de la adquisición de conocimiento científico, entre los cuales la realización del experimento es fundamental, pero su importancia no es menor que la de formulación de preguntas, el diseño de una experiencia, la imaginación de un modelo o la construcción de un consenso de interpretación de los datos obtenidos.

En cuanto al segundo de los puntos, el del alejamiento (principalmente por ignorancia) de las discusiones actuales sobre investigación en didáctica de las ciencias, si bien puede (y en muchos casos debe) señalarse como una clara deficiencia, tal vez haya algo que aprovechar de tal situación (aunque supongo que este puede ser considerado un aspecto particularmente polémico de este texto). Mi tarea como científico interesado tanto en la educación como en la divulgación de las ciencias me ha llevado –afortunadamente– al contacto estrecho con docentes de diferentes niveles en muchos ámbitos de enseñanza. Así he podido comprobar la enorme necesidad de sentido común que tienen los docentes. De la misma manera en que Lewis Thomas afirmaba, acerca de la fragilidad de las explicaciones científicas, que “las teorías pasan, las ranas quedan”<sup>2</sup>, podríamos decir que, en didáctica de las ciencias, las modas, las jergas y los tecnicismos pasan, pero los docentes y los alumnos permanecen, con los mismos cuestionamientos y necesidades. En este sentido, se han multiplicado las teorías sobre dicha didáctica, con neologismos, sesudas tesis, cambios radicales y demás novedades, pero los docentes, a la hora de enfrentar la clase de ciencias, muchas veces se quedan con el mismo vacío de no saber hacia dónde ir, y los alumnos siguen considerando la ciencia como un accidente que les toca sufrir en algún momento de su camino en la escuela, del cual pueden salir más o menos indemnes según las diversas estrategias evolutivas que puedan poner en marcha. Da la impresión de que todos –hacedores de políticas, formadores de docentes, profesores, investigadores– saben de qué se trata, pero en conjunto somos relativamente incapaces de bajar el problema a un nivel cotidiano, el de aprender y enseñar a comprender la naturaleza. En

2 Rostand, J. *El correo de un biólogo*. Madrid, Alianza Editorial, 1980.

este aspecto el rey está parcialmente desnudo, y lo tapamos con parches de diversos “ismos”, mientras la ciencia pasa por otro lado –a veces frente a nuestras propias narices.

Este documento es, entonces, una visión sobre la enseñanza de las ciencias a través de la mirada de un científico profesional. Comenzaremos por una introducción general acerca del papel de las ciencias en el mundo y la sociedad contemporáneos –enfoque que muchas veces está alejado de los objetivos fácticos de la didáctica del área, en la que la ciencia es eso que ocurre un par de veces por semana cuando los alumnos van en fila india a ese sitio enigmático llamado laboratorio y en el que lo mejor que puede ocurrir –de acuerdo con la mirada del alumno– es una pequeña explosión o lograr una reacción cuyo producto tenga un olor insoportable. Luego, en el núcleo del texto, revisaremos diversos aspectos de la ciencia que nos dicen cómo enseñarla, que redundan inmediatamente en estrategias para su didáctica específica. Esto nos llevará a examinar algunos ejemplos que se han puesto en marcha en diversos países que han probado cierto nivel de éxito para interesar a los alumnos, paradójicamente, en aquello en que ya estaban interesados desde un principio: conocerse a sí mismos y al mundo circundante. En otras palabras, en ciencia, como en otras disciplinas, tal vez estemos dando a los jóvenes respuestas a preguntas que jamás se han hecho, lo cual implica pasar por alto un largo proceso que ineludiblemente debe partir de las propias indagaciones y curiosidad del alumno para luego llegar a construir otro tipo de preguntas en forma secundaria. Por último, pasaremos revista a las oportunidades y recomendaciones que pueden implementarse en un futuro de corto y mediano plazo, con el convencimiento de que la situación, por grave que sea, merece la mayor de las atenciones y creatividades para diseñar soluciones. Los motivos para mejorar la enseñanza de las ciencias son casi triviales: insertarse en un mundo en el que lo que vale es el conocimiento (sobre todo el científico y tecnológico), fomentar vocaciones científicas, alimentar y hasta aumentar la curiosidad natural de nuestros alumnos. No es necesariamente un motivo corporativo o proselitista: nadie pretende mejorar la enseñanza de las ciencias para llenar las facultades de futuros científiquitos (aunque esto es, también, un objetivo deseable: aumentar la matrícula de carreras técnicas y universitarias de índole científica). No se trata, entonces, de que una mejor enseñanza de las ciencias forme alumnos más inteligentes, u orientados hacia determinadas áreas del conocimiento. Se trata, en suma, de formar ciudadanos con criterios principalmente racionales a la hora de tomar decisiones, que sean capaces de juzgar en forma adecuada las diferentes alternativas que se les presentan, que puedan pensar y razonar por sí mismos

las soluciones más elegantes y prácticas (en definitiva, más bellas) a los problemas que se les presenten en la vida cotidiana. En otras palabras, el objetivo último de la enseñanza de la ciencia es formar buenos ciudadanos y, por qué no, buena gente.

Vale también una mención muy especial a los créditos y agradecimientos con los que este documento está en deuda. En primer lugar, muchas de las ideas y propuestas aquí presentadas son el fruto de discusiones e intercambios con los Dres. Melina Furman y Gabriel Gellon, verdaderos especialistas en el tema desde la formulación de proyectos y aspectos fundacionales de la enseñanza de las ciencias hasta la implementación práctica de estas ideas en ámbitos educativos formales y no formales.<sup>3</sup> Con ellos y con la Dra. Elsa Rosenvasser Feher he tenido el privilegio de interactuar y maravillarme del intercambio de opiniones, en mi caso siempre del lado receptivo de la amplia experiencia de los colegas. Los cuatro hemos publicado un libro sobre enseñanza de las ciencias<sup>4</sup> (es justo decir que ellos me han dejado participar en su libro) del cual he tomado prestadas numerosas ideas y sugerencias para construir este documento.

En segundo lugar, he tenido el honor de participar en la Comisión Nacional para el Mejoramiento de la Enseñanza de las Ciencias Naturales y la Matemática, conformada por el Ministerio de Educación de la Nación en 2007 con objeto de redactar un informe con recomendaciones para el área. Es interesante destacar que, además de notables especialistas en didáctica de las ciencias y gestión educativa, el Ministerio decidió convocar a científicos para esta Comisión, en sintonía con la tesis principal de este documento, según la cual la ciencia tiene mucho que aportar a su enseñanza, cualquiera que sea el nivel en cuestión.<sup>5</sup>

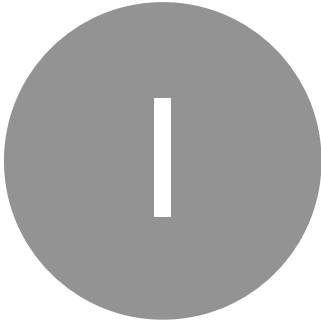
Finalmente, también estoy en deuda con todos los participantes del Diploma Superior en Enseñanza de las Ciencias de la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO-Argentina), que tuve el honor de coordinar durante los dos primeros años de su funcionamiento. Al decir todos, me refiero tanto a sus profesores, su equipo de coordinación y supervisión<sup>6</sup> como, en particular, a los alumnos del posgrado, quienes aportaron la necesaria vivencia cotidiana del mundo de la educación como para poner nuestras ideas en el contexto adecuado. Otra vez: las teorías pasan, los alumnos, y los docentes, quedan.

<sup>3</sup> Ver, por ejemplo, [www.expedicionciencia.org.ar](http://www.expedicionciencia.org.ar)

<sup>4</sup> Gellon, H., et al. *La ciencia en el aula: lo que nos dice la ciencia sobre cómo enseñarla*. Buenos Aires, Ed. Paidós, 2005.

<sup>5</sup> En particular deseo agradecer la colaboración de la licenciada Annie Mulcahy, asesora de la Secretaría de Educación del Ministerio, quien me facilitó datos e informaciones de gran utilidad para este trabajo.

<sup>6</sup> Es necesario mencionar aquí a las gestoras y coordinadoras generales del proyecto, Silvia Gojman y Silvia Finocchio, a su primera secretaria académica, Victoria Mendizábal, y a sus maravillosos tutores, que lograron una relación inusual con las cohortes de alumnos: otra vez Melina Furman y Gabriel Gellon, acompañados de Agustín Adúriz Bravo y Milena Winograd.



---

## Esa cosa llamada ciencia

### **Si los pueblos no se ilustran...**

La difusión y la enseñanza de las ciencias suelen justificarse con argumentos inequívocos, sanos y obvios. Más allá de la idea democrática de que el conocimiento es un bien común, se suele apelar a una lógica formativa para los ciudadanos: en el mundo pasa ciencia, y cada vez más, por lo que la ciudadanía debe estar preparada para este Universo en constante cambio. Además, y es justo decirlo, esta defensa viene de la mano de la concepción de que la ciencia sirve, que es útil, que es una parte insoslayable del avance de la sociedad, no solo en los términos abstractos del “conocimiento” sino también en resultados concretos.

Pero existe también otro aspecto fundamental de la enseñanza de las ciencias, no estrictamente de los productos de la investigación, sino del pensamiento científico en sí mismo, esa aventura que rompe con el principio de autoridad (aquel que afirma que esto es así porque lo digo yo, que soy el rey, o el general o papá, y sanseacabó) y que propone una serie de pasos para confiar, al menos en forma temporaria, en algo.

Si, como suele afirmar M. Cerejido, en América Latina no tenemos ciencia (aunque en algunos casos exista muy buena investigación científica), el problema es mucho más profundo que una cuestión de experimentos y demostraciones. No es creer o reventar: es demostrar, preguntar, inquietar. No más San Cayetano para conseguir trabajos, sino modelos de producción. No más pensamiento mágico u horóscopos, sino formulaciones racionales y comprobables.

La ciencia no es más que un modo de conocer la realidad. Según este modo, lo esencial no es qué sabemos sino cómo llegamos a saberlo. La investigación científica siempre

parte de preguntas. El asombro, la maravilla, la sed de explicaciones, la observación y el reconocimiento de regularidades y patrones son parte de este aspecto. Pero podemos estar de lo más convencidos de que tenemos "la verdad"... y se nos puede desmoronar de pronto y sin aviso. Queremos conocer y entender esta realidad y la sacudimos a preguntazos tratando de entender de qué se trata. Hacemos experimentos para ir afinando las preguntas, observamos, describimos, modificamos nuestras hipótesis.

En algún momento llegamos a una serie de observaciones y vamos a contarlas a la jauría de colegas decididos a destruirnos, envidiarnos, ponernos en jaque. Necesariamente, de alguna manera se llega al consenso. Como parte de la comunidad de científicos, debemos ser escépticos y difíciles de convencer, demandar todas las pruebas y permanecer abiertos a otras posibilidades.

¿No es eso muy parecido a lo que queremos como sociedad? ¿No es un buen objetivo ser preguntones, tener alternativas y poder juzgarlas, y poseer herramientas para realizar esos juicios? Justamente la difusión de la ciencia como forma de entender al mundo es un ejercicio que nos puede ayudar a ser mejores personas, mejores ciudadanos, mejores estudiantes. Para eso necesitamos información, saber dónde estamos parados, aunque a veces la información excesiva puede ser una bomba de tiempo que nos marea aun más.

La información es un derecho, aunque a veces peque de derecho excesivo, como afirma el novelista inglés David Lodge:

"[...] en el mundo moderno la información es mucho más portátil que antes. Y la gente también. Ergo, ya no es necesario guardar la información en un edificio, ni mantener a los mejores alumnos encerrados en un campus. Hay tres cosas que han provocado una revolución en la vida académica durante los últimos veinte años, aunque muy pocos se hayan dado cuenta: los viajes en reactor, los teléfonos de marcado directo y la fotocopiadora. Hoy en día, los sabios no han de trabajar en la misma institución para intercambiar sus impresiones, pues se llaman unos a otros o se encuentran en los congresos internacionales. Y ya no han de buscar los datos en los estantes de las bibliotecas, pues todo artículo o libro que les parece interesante lo hacen fotocopiar y lo leen en casa. O en el avión que los lleva al siguiente congreso. Yo trabajo sobre todo en casa o en los aviones, últimamente. Rara vez entro en la universidad, excepto para dar mis clases. [...] Mientras tenga usted acceso a un teléfono, a una fotocopiadora y a un fondo de ayuda para

seminarios y congresos, estará perfectamente, estará enchufado en la única universidad que en realidad importa: el campus global”.<sup>7</sup>

Más allá del uso o desuso de las herramientas de la información, lo cierto es que la ciencia, y su enseñanza, parecen gozar de un estatus particular dentro de las actividades humanas; es cierto que comparten ciertas características que les son propias, pero de ninguna manera eso significa aislarlas y etiquetarlas como por fuera de la cultura de todos los días.

### **La ciencia como parte de la cultura**

A partir del influyente trabajo de C. P. Snow “Las dos culturas” se formalizó una ruptura entre la mirada científica del mundo y otros enfoques – no necesariamente menos válidos, pero sí de otro orden, que podrían agruparse (siguiendo la terminología de ese texto) como “humanísticos”.

Snow era físico y novelista (bastante mediocre, dirían sus detractores); comienza afirmando que para encontrar el significado de la “cultura” vale la pena comenzar por su etimología: es culto aquel que ha cultivado algo, tanto sea científico como humanista. Pero al mismo tiempo señalaba que se han generado dos subculturas coexistentes con códigos, normas y valores distintos: la científico-tecnológica y la “literaria”. Dos bandos, aquí hay dos bandos... y ambos se ignoran y desprecian mutuamente. Por supuesto que Snow decía estas cosas con espíritu sanamente crítico, y hasta proponía una reforma educativa que acercara ambos bandos, como en el final de las bodas lorquianas –aunque hubiera corrido bastante sangre por el terreno–. En una segunda edición de “Las dos culturas”, Snow sugirió una tercera posición, que iría cubriendo el vacío entre los dos bandos. El guante fue recogido por un interesantísimo personaje norteamericano, John Brockman, un empresario del mundo del arte *avant-garde* que actualmente es uno de los editores y agentes literarios más exitosos.<sup>8</sup> En los 90 publicó “La tercera cultura”, que ejemplifica con un puñado de científicos que intentan hacer visibles las Grandes Preguntas, esas que nos llevan a nosotros mismos. Según Brockman, las noticias realmente importantes en estos tiempos son las de ciencia (con listas que incluyen la biología molecular, la inteligencia artificial, la teoría del caos, la realidad virtual, los autómatas y muchos etcéteras), y son

<sup>7</sup> David Lodge, “*El mundo es un pañuelo*”, pp. 67-68.

<sup>8</sup> Muchas de sus reflexiones y entrevistas están en su página de Internet [www.edge.org](http://www.edge.org)

entonces los científicos quienes deben colaborar para dar las (buenas) nuevas. Entre los miembros de la tercera cultura están luminarias como Stephen Gould, Richard Dawkins, Paul Davies, Steven Pinker o... el mismísimo Brockman, quien entre otras cosas suele ser citado tanto en las secciones de arte como en las de ciencia del *New York Times*.

En el fondo, hay una cierta cuota de poder –literario, al menos– en juego: las artes y las humanidades, muchas de las cuales han abrazado el posmodernismo y el relativismo filosófico (y no es raro que sus integrantes se jacten de no saber nada de ciencia y tecnología) versus la visión científica del mundo (y si bien muchos científicos no deben haber leído a Shakespeare, ninguno se jactaría de ello), que en cierta medida podemos decir que se ha llevado a cabo. Hoy son muchos los científicos que se plantean objeciones éticas y políticas más allá de las fronteras de su especialidad y se preocupan por saber para qué están trabajando. También existe una nutrida literatura de divulgación destinada a poner la ciencia al alcance del público no especializado, que apunta a una educación permanente cada vez más necesaria.

Decimos que la división se formalizó, pero no es reciente, ya que no es ninguna novedad que la cultura científica muchas veces ha delimitado una frontera con la cultura popular, algo que incluso ha sido fomentado desde la misma comunidad de científicos. Así, la sensación de que hoy las ciencias adelantan que es una barbaridad no es nueva, ni es falsa, ni podemos dejarla de lado. La resume magistralmente Michel Houellebecq en su novela *Las partículas elementales*:

–No sirvo para nada –dijo Bruno con resignación–. Soy incapaz hasta de criar cerdos. No tengo idea de cómo se hacen las salchichas, los tenedores o los teléfonos portátiles. Soy incapaz de producir cualquiera de los objetos que me rodean, los que uso o los que me como; ni siquiera soy capaz de entender su proceso de producción. Si la industria se bloqueara, si desaparecieran los ingenieros y los técnicos especializados, yo sería incapaz de volver a poner en marcha una sola rueda. Estoy fuera del complejo económico-industrial, y ni siquiera podría asegurar mi propia supervivencia: no sabría alimentarme, vestirme o protegerme de la intemperie; mis competencias técnicas son ligeramente inferiores a las del hombre de Neandertal. Dependo por completo de la sociedad que me rodea, pero yo soy para ella poco menos que inútil; todo lo que sé hacer es producir dudosos comentarios sobre objetos culturales anticuados. Sin embargo, gano un sueldo,



incluso un buen sueldo, muy superior a la media. La mayor parte de la gente que me rodea está en el mismo caso.

Es tristemente cierto: casi ninguno de nosotros tiene idea de cómo se hacen las salchichas o los teléfonos. Ni qué hablar de criar cerdos. Nuestra sociedad se basa, justamente, en la división del trabajo, y a nosotros no nos tocaron en suerte –o en desgracia– estos saberes. Pero, bien contados y mirados, pueden ser fascinantes, y la responsabilidad de proveedores y usuarios es acercarse a compartir el conocimiento, que para eso tenemos un cerebro privilegiado capaz hasta de mirarse a sí mismo.

La afirmación de Houllebecq trae aparejado un corolario que es, al menos, discutible. Los que producen el conocimiento son los individuos “útiles” y el resto, los que vivimos de los adelantos tecnológicos de la especie, seríamos inútiles espectadores-consumidores de ese conocimiento. Sin embargo, si la ciencia puede cambiar el mundo, no podemos estar ajenos a estas revoluciones. Sin embargo, se puede y se debe cambiar: generaciones de Mafaldas no pueden haber estado tan equivocadas, y la ciencia y la palabra son las armas más afiladas que tenemos para hacerlo. En este sentido, cabe dudar de disciplinas, experimentos o cuestiones que le estén *completamente* vedadas a cualquier persona que se interese, tanto sea por su complejidad u oscuridad. Es cierto: muchos de nosotros nunca vamos a comprender los detalles de la mecánica cuántica, de la teoría del valor, de la geometría no euclidiana o de la nanotecnología, pero vale la pena insistir: tenemos el deber y el derecho de al menos vislumbrar de qué se trata, qué preguntas le hacen los científicos al mundo y cómo intentan responderlas. Tal vez dentro de la definición de “buena” ciencia (si es que tal definición es posible) debe entrar la posibilidad de que pueda ser comprendida en sentido amplio por cualquiera que se tome el trabajo de entender de qué se trata –la pregunta inicial, las dimensiones (de tamaño, históricas, geográficas, sociales) en que se encuadra el trabajo, la motivación del investigador y, si existen, las posibles aplicaciones del área–. Entonces, dentro de los deberes y derechos de los científicos que producen este tipo de conocimiento está el esfuerzo por contar de qué se trata, por salir del cascarón y, como en las ferias de ciencias de las escuelas, entusiasmarse y contagiar a sus interlocutores –es decir, todos nosotros– de esa excitación que produce trabajar de preguntón.

Pero, al mismo tiempo, hay muchos siglos de separación entre la Ciencia y el Resto del Mundo. Sin ir más lejos (ni hace tantos siglos), nada menos que Edgar Allan Poe (tal

vez desilusionado porque el único libro que se agotó mientras vivía era, justamente, un libro de ciencia) despotrica alegremente contra nuestra visión del mundo. En el fondo, tal vez lo que los científicos queremos contar es que hay belleza en la ciencia o, mejor dicho, que la ciencia busca la belleza. Esto no es muy aceptado, claro, se supone que al entender las estrellas les quitamos algo de su poesía; o que al explicar los colores ya no nos podremos emocionar con un cuadro impresionista. Pero vale la pena leer el *Soneto a la Ciencia*, de Poe:

*¡Ciencia! ¡verdadera hija del tiempo tú eres!  
que alteras todas las cosas con tus escrutadores ojos.  
¿Por qué devoras así el corazón del poeta,  
buitre, cuyas alas son obtusas realidades?*

*¿Cómo debería él amarte? o ¿cómo puede juzgarte sabia  
aquel a quien no dejas en su vagar  
buscar un tesoro en los enjorados cielos,  
aunque se elevara con intrépida ala?*

*¿No has arrebatado a Diana de su carro?  
¿Ni expulsado a las Hamadriades del bosque  
para buscar abrigo en alguna feliz estrella?*

*¿No has arrancado a las Náyades de la inundación,  
al Elfo de la verde hierba, y a mí  
del sueño de verano bajo el tamarindo?*

La tarea del científico, y sobre todo, la del maestro de ciencias, es, entonces, demostrar que la ciencia no devora el corazón del poeta, y que lo deja vagar, y que no expulsa a las Hamadriades del bosque. Es más, ni siquiera las conoce.

### **Ciencia y científicos: juntos pero no revueltos**

El problema viene, seguramente, de poner en la misma bolsa a la ciencia y a los científicos. Estos últimos son profesionales como cualquier otro: como el dentista, el mecánico, el abogado (bueno, evitemos a los abogados...), con una formación específica y, en

muchos casos, bastante extensa. Y los científicos investigan: interrogan al mundo con un método y un lenguaje unívocos, repetibles y contrastables (aunque también se pelean, construyen interpretaciones, siguen modas, sienten envidias y, a veces, hasta colaboran).

Pero la ciencia... amigos, la ciencia es otra cosa, de ninguna manera privativa de los científicos. Podemos pensar en la ciencia como en una manera de mirar el mundo, una forma de dar explicaciones naturales a los fenómenos naturales, por el gusto de entender, de sacudir a la naturaleza a preguntazos y quedar pipones de asombro y de curiosidad. Y en esta definición no son necesarios los microscopios electrónicos o los aceleradores de partículas: está al alcance de todos los que se atrevan a preguntarse los porqués que fueron abandonando desde la infancia (porque romper el autito para ver qué tiene adentro es una actitud absolutamente científica). Por último, la ciencia es una actitud; gramáticamente sería más interesante considerarla un verbo y no un sustantivo: un *hacer* cosas, preguntas, experimentos.

### **¿Y por el aula cómo andamos?**

La idea central de este textúsculo es que la única forma de aprender ciencia es haciendo ciencia (en el sentido de "ciencia" que hemos definido antes, y también en el sentido de "hacer" que involucra un trabajo intelectual, un aprendizaje activo por parte de los alumnos). Aquí suelen exponerse los peros de siempre: que no hay buena formación, que los contenidos son interminables y hay que correr, que no tenemos un buen laboratorio... Todas cuestiones muy atendibles, pero que nos desvían de nuestra verdadera función docente en ciencias: la de acompañar a nuestros alumnos en el camino del descubrimiento.

Es innegable que los conceptos, o "hechos de la ciencia" son una parte sustantiva de cualquier proyecto de enseñanza, y las ciencias no están ajenas a esta generalización. Sin duda que es interesante conocer y eventualmente revisar estos contenidos y evaluar su adecuación a los diversos niveles. Sin embargo, me permito dudar del excesivo énfasis sobre los contenidos, mínimos, medianos, máximos o *extra-large*, como ideas rectoras sobre la enseñanza de las ciencias. Por supuesto, no niego que hay que ponerse de acuerdo sobre qué enseñar (y qué no enseñar) pero, tal vez por ignorancia, me parece un tanto trivial (además de que hay mucha gente que ha pensado sobre este problema y ofrecido alternativas interesantes y plausibles). Tal vez la falla grave sobre la enseñanza de las ciencias no está tanto en el *qué* enseñar sino en *cómo* hacerlo, sobre todo *cómo* construir las ideas científicas y esta particular –y poderosísima– mirada sobre el mundo.

## Breve historia de la ciencia

Se suele decir que la modernidad recorre, casi en forma superpuesta, la historia de la ciencia y la tecnología. Los últimos siglos han traído consigo verdaderas revoluciones en estas áreas, herederas de la revolución científica del Iluminismo, con cambios económicos y sociales que han cambiado el mundo tal vez más que en muchos de los siglos anteriores de épocas históricas. Las condiciones de vida actuales –más allá de las inequidades sociales que supimos conseguir– son un fruto directo de los avances científicos, en ámbitos tales como la alimentación, la salud o las fuentes de energía.

La historia incluso nos alecciona acerca de la mentada relación entre las llamadas ciencias básicas y aplicadas. Independientemente del tiempo que requieran, los cambios en el marco del pensamiento científico rinden en forma inevitable sus frutos tecnológicos; así, podemos relacionar la revolución científica de los siglos *xvi* y *xvii* con la Revolución Industrial que sobrevino siglos más tarde. Todo esto, es claro, no pasó desapercibido para las clases dominantes, las cuales comprendieron tempranamente aquello de que “el conocimiento (científico) es poder”, y se dedicaron a fomentar las ciencias y sus aplicaciones con visiones que excedían en mucho la mera diversión de un buen experimento para la hora de la sobremesa. Así, la motivación científica pasó de ser la simple y nunca bien ponderada curiosidad para constituirse en un motor del desarrollo y, eventualmente, de las riquezas personales y nacionales (en el fondo, por la plata baila el *sponsor*).

En efecto, hasta el advenimiento de la Revolución Industrial, la ciencia y la técnica marchaban por carriles separados. Sin ir más lejos, el término técnica tiene su raíz griega en una palabra que se refiere a lo “relativo a un arte”; el técnico es, así, quien posee una habilidad particular, un oficio que aprendió generación tras generación. A fines del siglo *xviii* se editó una *Historia de los inventos*, de Johann Beckmann, quien puso el nombre de *tecnología* al conjunto de saberes de los científicos que aportaban a la naciente Revolución Industrial.<sup>9</sup> Podríamos decir que hoy el límite entre ciencia y tecnología es, como mucho, difuso –un hecho que suele escapar a nuestros alumnos en la clase de ciencias, y hasta en muchos casos existe una disciplina tecnológica completamente separada de la clase de ciencias.

En este camino, el concepto mismo de disciplina científica, que en la escuela se presenta en forma absolutamente segmentada, también merece ser revisado en términos

<sup>9</sup> Ferraro, R. A. *Para qué sirve la tecnología / Un desafío para crecer*, Capital Intelectual - Claves para todos, Buenos Aires, 2005.

históricos. Estas disciplinas, en las clasificaciones en que se las conoce en la actualidad, son en realidad recientes, con poco más de dos siglos de historia, y no necesariamente corresponden a un recorte de acuerdo con diversas visiones del mundo, sino más bien a épocas e intereses que promovieron las divisiones según criterios no especialmente naturales.<sup>10</sup> En otras palabras, la delimitación disciplinaria de la ciencia es, en muchos casos, un hecho cultural; aun así la presentamos a nuestros alumnos como profunda y dispar, como si ver el mundo con los ojos de un físico fuera radicalmente diferente de hacerlo con los de un biólogo.

En esta historia desempeñan un rol fundamental las sociedades científicas que fueron marcando su propio terreno a partir del siglo XVIII, y asimismo crearon revistas de saberes específicos, que excluían a los vecinos de enfrente. De la misma manera, las universidades modernas inventan la figura del científico profesional, aquel que estudia ciencias y recibe un título habilitante para hablar en su nombre; toda una novedad.

¿Es entonces que no hay ningún tipo de pegamento o instancia en común que defina a la ciencia y a los científicos? Una de las respuestas a este enigma la da el sociólogo Robert Merton, quien propone, de manera bastante idealista, que los científicos deben su trabajo y su corazoncito a lo que llama a) universalismo, b) comunitarismo, c) desinterés, d) escepticismo organizado y e) juicio por pares. En otras palabras, el científico mertonista es un buen samaritano que deja todo por sus semejantes, algo que bien podríamos poner en duda en estos tiempos en que hay investigadores que hasta patentan su propio genoma... Sin embargo, este dilema de idealismo versus pragmatismo, pasando por todos los grises conocidos, ni siquiera se considera en la ciencia del aula donde, como en los *westerns*, todos son buenos o malos, negros o blancos.

### **Qué hay que saber hoy sobre ciencias<sup>11</sup>**

¿De qué hablamos cuando hablamos de ciencia? ¿De tubos de ensayo, probetas, gente con guardapolvos y bichos en la cabeza? ¿De una zanahoria que nunca alcanzaremos? ¿De un discurso de cierre de campaña?

<sup>10</sup> Kreimer, P. *De probetas, computadoras y ratones. La construcción de una mirada sociológica sobre la ciencia*. Buenos Aires, Editorial de la Universidad Nacional de Quilmes, 1999. Salomon, J. J. *Una búsqueda incierta. Ciencia, tecnología, desarrollo*. México, Fondo de Cultura Económica, 1997. Latour, B. *La vida de laboratorio. La construcción social de los hechos científicos*. Madrid, Alianza, 1996.

<sup>11</sup> Golombek, D. "Atreverse a generar nuevas preguntas". *El Monitor*, N° 8, 2006.

Bueno, sí, de todas esas cosas... pero también de otras mucho más importantes, de esas que se atesoran, que maravillan, que hacen abrir los ojos y caer las mandíbulas y que, en definitiva, nos hacen ser mejores personas. La ciencia, se sabe, no es más que un modo de conocer la realidad (y digo "un" modo porque sin duda hay otros: el que diga que nunca abrió el diario por la página del horóscopo que tire la primera piedra), pero de manera realmente muy poderosa: a puro preguntazo. Los científicos, entonces, nunca hemos salido de la edad de los porqués y, encima, pretendemos ser contagiosos.

Así, queremos contagiar eso que nació tal vez con los druidas, que estudiaban con detalle el hígado de un carnero (para lo cual, convengamos, hay que saber bastante anatomía) y aconsejaban al jefe de la tribu que fuera a amasijar a los vecinos de enfrente, o eso que los griegos fueron transformando en un cúmulo organizado de conocimiento (organizado en griego, claro, lo cual no nos ayuda mucho en estos días) y que los romanos se encargaron de latinizar. Pero, ay, llegó la era de los apagones medievales y la ciencia quedó en el *freezer*, y allí hubiera quedado si no fuera porque una cultura más moderna que la judeocristiana (y que hoy goza de muy mala prensa) se encargó de guardarla en árabe y preservarla hasta que, poco a poco, se fue recuperando para el resto del mundo. Ya en el Renacimiento, los pintores y los abogados requirieron nuestros servicios (los artistas para poder retratar un cuerpo humano con mayor realismo, y los leguleyos porque, al brillar la práctica forense, era preciso conocer sobre mazazos de cráneo, hemorragias y otras delicias). Qué maravilla habrá sido poder descubrir los secretos del mundo (y de las estrellas, ya que estamos) allá por los siglos *xvi* y afines...

### **El futuro llegó, hace rato**

Y luego de esta breve historia del mundo en trece renglones y medio, estamos aquí, rodeados de ciencia y de su hija dilecta, la tecnología. Más que rodeados, somos dependientes de ellas, como vimos en la cita del libro de Michel Houellebecq. Pero más allá de la fabricación de salchichas o teléfonos, casi ninguno de nosotros tiene idea acerca de los conceptos que aparecen en los medios como los grandes avances de la ciencia:

- la teoría de cuerdas
- la nanotecnología
- la energía oscura
- las células madre

- los organismos genéticamente modificados
- el cambio climático

... y siguen las firmas, aunque a esta altura podemos concluir que seguramente nos sirvan para ser imbatibles a la hora del Scrabble. Algo está pasando en las altas cumbres, que de pronto manejan lenguajes e ideas que nos son completamente ajenos, y nos relegan a ser meros usuarios o contempladores. Un momento: es necesario saber de qué se trata, y poder tomar decisiones conscientes sobre uno u otro tema, y aquí la responsabilidad es doble e ineludible. Por un lado, los científicos deben rendir cuentas de la manera más simple: contando lo que hacen (al menos por razones impositivas, ya que de algún lado nos viene el sueldo) y, por otro, la sociedad debiera ser insaciable a la hora de querer saber más. Si algo nos hizo evolucionar como especie fue la curiosidad y, como afirma Marcelino Cereijido, la angustia ante lo desconocido que nos hizo querer saber más para dejar de tener miedo, inventar máquinas para vencer a la noche, al hambre y los fantasmas. Dejar morir esa curiosidad y no querer saber de qué se trata es claramente involutivo, y ahí bien valen los ejemplos de los chicos con el Mecano, con el juego de química, con Mis Ladrillos (si es que todavía existen). Por otro lado, conocer cuestiones sobre agujeros negros o ingeniería genética puede aportar maravillosos temas de conversación que lo convierten a uno en el alma de la fiesta. Pero...

### **... la ciencia está en otra parte**

Parfraseando al gran científico (en el sentido de "gran preguntón") John Lennon, podríamos decir que *la ciencia es eso que nos pasa mientras estamos ocupados haciendo otros planes*. Y tal vez eso es justamente lo que hay que saber sobre ciencia: que no es más que una actitud inquisitiva, que es romper con el principio de autoridad (ese que dice que las cosas son así porque lo digo yo, o el Papa o el general) y que es atreverse a cuestionar, cuestionarse y ser cuestionado. Imagino el terror de los docentes frente a este planteo... ¿y nosotros qué, eh? ¿Qué hacemos con tanta pregunta suelta? Muy sencillo, pero hartito desafiante: acompañarlas, hacerlas crecer, idear experimentos para avanzar en la niebla y, sí, generar nuevas preguntas. La ciencia está allí para ayudarnos a tomar decisiones, para entender un poco más al mundo y, por qué no, querer cambiarlo, como corresponde. Aunque, sobre todo, está allí para hacernos mejores personas. Casi nada.

## Los cinco jinetes de la ciencia

El asunto que nos convoca es cómo llevar toda esta catarata de pensamiento científico a las aulas. Y sobre este tema me permito un aporte basado en algunas ideas modificadas del libro *La ciencia en el aula. Lo que nos dice la ciencia sobre cómo enseñarla* (Buenos Aires, Paidós, 2005), aclarando que los verdaderos autores intelectuales de este crimen literario son Gabriel Gellon, Elsa Rosenvasser Feher y Melina Furman. En la segunda parte de este documento vamos a retomar y extender varias de estas ideas.

¿Cómo podemos acercar el proceso de aprendizaje de ciencias en el aula al proceso de indagación científica por los científicos? Muy simple: tratando de recorrer en el aula un camino análogo al de los laboratorios, a través de algunos aspectos principales de la ciencia que, tal vez sin saberlo, los investigadores tienen como pilares de su actividad:

- 1) Por un lado, es fundamental reconocer que la forma de entender el mundo es a través de las observaciones y los experimentos. De nuevo, esto no significa realizar complejísima operaciones ni, mucho menos, repetir recetas: se trata de experimentar permanentemente con lo que tengamos a mano (*aspecto empírico*).
- 2) Esto viene absolutamente aparejado a cómo se hacen esos experimentos, su reproducibilidad, su secuencia, el planteo de hipótesis y demás. Respiren tranquilos: estamos hablando del "método científico", tópico favorito de los docentes de ciencias (*aspecto metodológico*).
- 3) Y aquí la cosa se vuelve más etérea, porque la ciencia también se basa en conceptos teóricos, ideas, imaginaciones que tal vez mucho más adelante generen experimentos que los pongan a rigurosa prueba (*aspecto abstracto*).
- 4) Asimismo, no es raro que las ideas, y hasta los experimentos de los científicos, vayan en contra del sentido común y uno deba convencerse de que la cosa es realmente así (convengamos en que todas las mañanas es necesario convencerse de que realmente es la Tierra la que se mueve alrededor del Sol, y no al revés). Y esto es particularmente difícil de aprender y de enseñar (*aspecto contra-intuitivo*).
- 5) Finalmente, no debemos olvidar que la ciencia está hecha por personas, con sus ganas, modas, envidias, intereses y retóricas particulares. Así, el conocimiento científico se construye socialmente a través de las interpretaciones que la comunidad va con-



sensuando y modificando de manera periódica. Este *aspecto social* tampoco puede estar ausente del aula, ya que la ciencia que se queda en casa (o en el laboratorio, o en el cuaderno de notas personal) es renga, recién se recibe cuando se comunica a nuestros pares.

En fin, que todo esto suena a palabrerío, y en definitiva, en el aula se ven las ciencias, como los pingos. Pero realmente funciona: el transformar el aula en un espacio de creación de conocimiento –no espontáneo ni aleatorio, sino guiado de cerca por el docente, dispuesto a aportar disparadores o cuestionamientos aquí y allá– es una herramienta que convierte a unos meros depositarios del saber académico en apasionados científiquitos. Claro que esto requiere mucho trabajo de parte del docente: pese a que resulta contraintuitivo, es más difícil proponer y acompañar (y estar preparado para el laberinto) que Bajar la Línea de la Ciencia. Asimismo, es una mirada profundamente poética sobre la vida y la posibilidad de entenderla. La naturaleza y la vida cotidiana son una fuente inagotable de preguntas y de pequeños o grandes experimentos. La cocina, la escuela, la cama, los charcos o las protestas sociales pueden –deben– ser también objeto de investigaciones. Sin embargo, esta mirada racional no está exenta de cierto romanticismo, aunque parezca una paradoja. Entender una puesta de sol o conocer las estrellas no nos priva de la poesía de mirarlas y emocionarnos. Que los científicos también se emocionan, qué se han creído...





---

## No sé lo que quiero, pero lo quiero ya

Es cierto: en el capítulo anterior hemos propuesto una mirada tal vez idílica y excesivamente entusiasta de la vida científica. Desde esta perspectiva, todos –incluyendo particularmente a nuestros estudiantes– debieran estar deseosos de meterse de lleno en la ciencia y sus vericuetos, de estudiar la naturaleza y sus misterios. Convengamos en que no es así, y que la ciencia –sobre todo en ámbitos educativos– no goza de la mejor prensa.

Las conclusiones de las recientes encuestas de percepción pública de la ciencia son, en este sentido, sombrías. Respuestas contradictorias (como afirmar que la ciencia es maravillosa y panacea de muchos de nuestros problemas, para decir inmediatamente a continuación que la ciencia nos deshumaniza y es fuente de peligros y males), y una cierta ignorancia acerca no solo de la investigación profesional sino también del mismo concepto de pensamiento científico, son los resultados que se ven a lo largo de múltiples estratos sociales con diverso nivel educativo.

Veamos un ejemplo: una encuesta reciente que formó parte de un estudio de la Organización de Estados Iberoamericanos (y del que también participaron la Fundación Española de Ciencia y Tecnología, el Centro Redes y la Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología [RICyT]) indicó un supuesto alto interés por temas de ciencia y tecnología.<sup>12</sup> Pero al profundizar en las preguntas y solicitar ejemplos de algunos de estos temas, o bien instituciones de CyT de la región, la mayoría de los encuestados enmudecieron. La encuesta fue realizada en diversas ciudades iberoamericanas, cuyos habitantes difirieron mucho al

<sup>12</sup> Ver <http://www.oei.es/revistactsi/numero5/articulo1.htm> y <http://www.oei.es/salactsi/Libro.pdf> o [www.observatorio.mincyt.gov.ar/docs/Informe\\_Final\\_2007.pdf](http://www.observatorio.mincyt.gov.ar/docs/Informe_Final_2007.pdf)

opinar sobre las prioridades científicas o el prestigio de los investigadores. Hubo, sí, cierto acuerdo en que los ciudadanos participan poco y nada en la toma de decisiones de orden público que impliquen temas científico-tecnológicos.

Según Carmelo Polino, investigador que coordina este tipo de actividades, esto responde a una especie de “doble vínculo” en el que la divulgación científica no llega a cubrir los espacios de información pública sobre temas de CyT, partiendo de asumir una función que debiera ser propia del sistema educativo.<sup>13</sup> Es más, históricamente a la divulgación científica se le exige la función de educar al ciudadano, tal vez con el convencimiento de que, en el sistema educativo actual, este mismo ciudadano no cuenta con elementos racionales para juzgar la ciencia a partir de su escolaridad básica.

A esta altura está claro que la difusión de la ciencia en medios de comunicación masivos no debe ni puede reemplazar al rol rector y fundamental de la escuela en la enseñanza de las ciencias; sin embargo, se acepta con naturalidad que así funcionan las cosas. El concepto de fondo pareciera ser que si los estudiantes no aprenden ciencias en la escuela, por lo menos se informen sobre los adelantos científico-tecnológicos por los diarios, las revistas o la televisión.

La divulgación científica se ampara así en preceptos pro-democráticos. Según Albert Jacquard:

**Al hacer aceptar por la mayoría de los adolescentes la certeza de que “no están hechos para comprender”, que no pertenecen a la pequeña cohorte de los pocos cerebros privilegiados, los únicos en tener acceso a la comprensión de la realidad, al sugerir que tanto su interés personal como el interés colectivo necesitan que se resignen a obedecer ciegamente, se organiza una sociedad fundada sobre la sumisión de la multitud.<sup>14</sup>**

La respuesta a este fenómeno elitista parece venir entonces del fomento a las actividades de divulgación científica, y no a la educación, que es la verdadera fuente de la desalfabetización en el área. El rol de la divulgación científica, en realidad, es complementario del de la educación, y es imposible pensar en que la reemplace; en todo caso, se debería

<sup>13</sup> Ver, por ejemplo, Polino, C. “The wise and the ignorant, or a dangerous distinction for Latin American”. *J. Sci. Communication*, 3, Nº 3, 2005.

<sup>14</sup> Jacquard, A. *La ciencia para no científicos*. México, Siglo XXI, 2005.

promover que esta divulgación ayude a constituir una cultura científica en la comunidad, que sea lo suficientemente crítica como para discernir fuentes y falacias. De esta manera, el verdadero significado de la magra inversión de países latinoamericanos (con unas pocas honrosas excepciones) en CyT saldrá a la luz como una evidencia incontestable.<sup>15</sup> Pero solo puede exigir un aumento del presupuesto (hacia la ansiada meta de al menos un 1 % del PBI) quien haya recibido la educación suficiente como para comprender que la mirada más lógica, racional, justa y previsoras que podamos tener sobre el mundo es la científico-tecnológica.

### El interés por la ciencia

Volvemos al meollo del asunto: tal vez, y sobre todo en ciencia, solo podrá ser educado aquel a quien se le genere un verdadero interés por el tema en cuestión.<sup>16</sup> Todo docente sabe que mantener la atracción por temas científicos es muchas veces una tarea complicada, y existen numerosas estrategias didácticas que persiguen este escurridizo objetivo (que, por otra parte, están muy bien cubiertas en la bibliografía y se encuentran fuera de los fines de este documento). El hecho de un currículum secuencial y a todas luces extenso no permite que los estudiantes puedan ejercitar su curiosidad en algún punto en particular del programa, por lo que las clases se van alejando paulatinamente de sus intereses. Como veremos más adelante, la tarea del docente tal vez consista sobre todo en la decisión del recorte programático que permita realizar junto con los alumnos un verdadero recorrido científico, incluyendo la revisión de la bibliografía sobre el tema, discusiones abiertas y, en particular, un enfoque experimental destinado a satisfacer los intereses que vayan apareciendo en los estudiantes disparados por los contenidos ofrecidos. Está claro que los estudiantes que siguen sus propios intereses están más motivados por el aprendizaje,<sup>17</sup> pero este interés debe ser no solo motivado sino específicamente guiado por un docente que se sienta lo bastante seguro como para responder a los interrogantes inesperados que se vayan presentando sobre la marcha (aunque muchas veces esta respuesta deba ser un sencillo “no sé”, como sugieren magistralmente Charpak y colaboradores en los fundamentos de su programa de enseñanza de las ciencias “Las manos en la masa”).<sup>18</sup>

<sup>15</sup> Ver referencias e indicadores en [www/fricyt.org](http://www/fricyt.org)

<sup>16</sup> Denofrio, L. A., Russell, B., Lopatto, D., Lu y Y. “Mentoring. Linking student interests to science curricula”. *Science* 318 (5858):1872-3, 2007.

<sup>17</sup> Wood, W. B. y Gentile, J. M. “Enhanced: Teaching in a Research Context”. *Science* 302: 1510, 2003. Handelsman, J. et al. “Scientific Teaching”. *Science* 304: 521, 2004.

<sup>18</sup> Ver [www.inrp.fr/lamap/](http://www.inrp.fr/lamap/) y bibliografía.

Existen experiencias que basan los contenidos de los cursos de ciencia en los intereses de los alumnos, pero está claro que no resultan exentos de complicaciones, la primera de las cuales es que los alumnos muchas veces no tienen las herramientas para identificar los problemas científicos y las metodologías apropiadas. En este sentido, se ha propuesto la guía por parte de mentores, que incluyen a los docentes y también a estudiantes de otros niveles educativos que hayan pasado por este tipo de experiencia. Otro problema con esta mirada es que una función clave de la escuela es abrir horizontes, mostrarles a los chicos cosas desconocidas; si bien los intereses previos de los alumnos son fundamentales, si la enseñanza de la ciencia se basa únicamente en esto estaremos dándoles pocas oportunidades de expandir su universo. El establecimiento de grupos de investigación alrededor de un tema específico derivado de los intereses de los estudiantes también ha resultado una experiencia no solo innovadora sino también exitosa de acuerdo con algunos reportes, en particular en el nivel universitario (como el citado de Denofrio *et al.*, 2007). Las visitas a lugares de investigación y desarrollo, en tanto planificadas con anterioridad por el docente, cumplen también con el rol de fomentar el interés de los alumnos por las actividades científicas en su contexto real. En estos enfoques, el principal recurso tal vez sea el tiempo necesario como para que el recorrido científico sea el adecuado, y el cambio cultural involucrado.

### **Aprender a aprender ciencias**

Otro divorcio que atenta contra una buena educación en ciencias es el que existe entre los docentes del área y los investigadores acerca de los procesos de aprendizaje, en particular los relacionados con el conocimiento científico-tecnológico. Es cierto que esta distancia es muchas veces acentuada por la especificidad de estas investigaciones, que conlleva un uso (y abuso) de tecnicismos, modelos complicados y otras barreras que hacen infranqueable el camino entre la teoría y el aula de todos los días. Sin embargo, vendría bien tender puentes entre los que enseñan, los que aprenden y los que investigan cómo se aprende lo que se enseña.<sup>19</sup>

Algunos de los resultados de estas investigaciones afirman que muchas prácticas institucionales tradicionales, como las clases magistrales, o incluso algunas prácticas de labora-

<sup>19</sup> Bransford, J. D., Brown, A. L. y Cocking, R. R. *How People Learn: Brain, Mind, Experience, and School*. Expanded Edition. Washington, DC, National Academy Press, 2000. Se consigue en <http://nap.edu/>

torio, pueden resultar poco efectivas para lograr que los estudiantes realmente dominen los conceptos fundamentales de las disciplinas científicas. Peor aun, algunas de estas prácticas tradicionales no preparan a los alumnos para la creatividad que se requiere para resolver problemas científicos. Uno de los problemas en este sentido es tal vez la falta de evaluaciones que objetivamente puedan determinar qué es lo que han aprendido los estudiantes. Asimismo, no existe una cultura particularmente innovadora en la enseñanza de las ciencias –en muchos casos, se trata de cubrir un programa en el menor tiempo (y con los menores contratiempos) posible–. Tal vez los investigadores y docentes especializados en física sean los que más han desarrollado estrategias para enseñar, aprender y comprobar los efectos de ambas actividades. Dentro de la biología, algunas iniciativas, como las del Instituto Médico Howard Hughes ([www.hhmi.org](http://www.hhmi.org)), se orientan a combinar investigaciones de punta en ciencias biomédicas con aquellas fronteras cognitivas sobre el fenómeno del aprendizaje, aunque son demasiado recientes como para evaluar un posible efecto sobre la enseñanza de la biología y disciplinas afines.

Al menos en el papel los acuerdos y consensos están establecidos, como el propuesto en un reporte de la Asociación Norteamericana para el Progreso de las Ciencias (AAAS), de hace ya casi veinte años, en el que diversos paneles acordaron que las reformas en educación de las ciencias debieran venir de la mano de una “enseñanza científica”, esto es, estrategias educativas que se basen en el proceso de creación del conocimiento científico y hayan sido comprobadas de la misma manera que un experimento o los resultados de cualquier investigación que se precie.<sup>20</sup>

Pero del papel al aula hay mucho trecho, y más allá de iniciativas relativamente aisladas, aun no ha llegado la revolución en la enseñanza de las ciencias que muchos vislumbran. Es claro: hoy las ciencias adelantan que es una barbaridad, pero no así su enseñanza. Es más: en el nivel universitario, a veces los mismos científicos que exigen el mayor de los rigores y refutabilidades a sus datos de investigación utilizan métodos educativos que claramente no son los más efectivos. En muchos casos es posible que ni siquiera conozcan las investigaciones y pruebas sobre métodos y estrategias de probado valor –los cuales no suelen llegar a la bibliografía académica que los investigadores leen hasta en el baño.

<sup>20</sup> AAAS. “Science for all Americans: A Project 2061 report on literacy goals in science, mathematics, and technology”. Washington, D.C., 1989.

Sin embargo, las evidencias están a la orden del día: es la participación activa de los estudiantes en las clases, y no la típica transmisión vertical de información o el uso de laboratorios basados en recetarios, la que tiende a garantizar el aprendizaje de las ciencias. Lo mismo ocurre con las investigaciones en cuanto al material impreso que realmente ayuda a que los estudiantes acompañen el recorrido científico que pretendemos fomentar. Si bien nos dedicaremos a este apartado más adelante, vale la pena presentar algunos interrogantes sobre qué leer para entender y saborear la ciencia.

### Los libros y la ciencia

Los libros, entonces, son otro cantar (o bien, otro leer). Si bien los textos de ciencia para diferentes niveles educativos (en particular para los niveles iniciales) han experimentado una esperada transformación en la última década, no cabe duda de que no serían el material de lectura favorito para un estudiante que esté viajando en el tren de vuelta a su casa. Una de las grandes preguntas es qué hace de un libro de ciencia (no necesariamente de texto) una lectura interesante. Existe una excelente escuela, sobre todo norteamericana, de producción de libros de “divulgación científica” de edición masiva, que muchas veces son un éxito editorial. Entre ellos están ídolos como Oliver Sacks, Stephen J. Gould o Richard Lewontin (además de los clásicos Asimov, Sagan o Paul Davies). Incluso corresponde mencionar a aquellos autores con los que uno puede no coincidir, pero quienes no se puede no admirar su pluma y la belleza de su estilo, como Richard Dawkins, Matt Ridley o Antonio Damasio. Eso sin olvidar a queridos autores latinoamericanos como Marcelino Cerejido, Roberto Lent o Ruy Pérez Tamayo.

¿Qué es lo que hace que sus artículos, y sobre todo sus libros, sean tan maravillosos? Es imposible saberlo a ciencia cierta, ya que se trata de una sensación puramente subjetiva (así como para otros lo maravilloso estará en los libros de Paulo Coelho o Harry Potter), pero creo que tienen en común dos elementos. Por un lado, nadie puede dudar de que Sacks o cualquiera de los otros hablan y opinan con el peso de ser de los más expertos en su disciplina, además de que algunos de ellos escriben maravillosamente. Pero además, y esto es lo novedoso, son capaces de transmitir ese entusiasmo casi infantil y pasional por sus temas de interés. Nadie queda indemne luego de leer la historia de Darwin escrita por Gould, o de meterse en la piel de los pacientes de Sacks, en el tiempo y los tiempos de Cerejido o en la discusión de la ideología del proyecto genoma humano esgrimida por Lewontin.



Claro, son excepciones: no todos los libros de “divulgación científica” están escritos por los más grandes expertos en el tema. En el mundo anglosajón existe el rótulo de “escritores científicos” para quienes se especializan en narrar historias de la ciencia y los investigadores. Y a veces lo hacen muy pero muy bien. Puede que los libros “de texto” necesiten contagiarse de ese mismo entusiasmo con que los incipientes intentos de divulgación del continente se están desperezando.





---

## Recorrer la ciencia en el aula

### Los caminos de la enseñanza de las ciencias

Como en toda disciplina, la de enseñar ciencias (y sus investigaciones asociadas) tiene diversas escuelas, tendencias e ideologías. Vale la pena comenzar por un resumen de parte de estas tendencias, para luego profundizar en algunas de ellas.<sup>21</sup>

Si bien es claro que las propuestas van cambiando, y que cada época tiene sus palabritas de moda en la didáctica, hay conceptos subyacentes que se mantienen por su obvia importancia. Así, una de las grandes discusiones gira en torno al dilema conceptos versus metodología; nadie niega la importancia de ambos, pero sí que existen encendidas discusiones acerca de dónde poner el énfasis –asumiendo que sea posible disociar ambos conceptos–. En realidad, es difícil separarlos, ya que el aprendizaje por parte de los alumnos es un proceso integral, que no diferencia lo que se enseñe de cómo se lo enseñe. Sin embargo, a ambos tópicos –centrales en la educación– se les han dedicado tomos y tomos, hasta enciclopedias, con novedades que van apareciendo en forma periódica. Más allá de discusiones completamente estúpidas como la de incluir o no “teorías” como la del diseño inteligente en el currículo, o el considerar que la teoría de la evolución debe ser enseñada como “una visión más” de la vida sobre la Tierra, lo cierto es que resulta muy sano reconsiderar los contenidos del aula de ciencias, a la luz de las novedades que se van produciendo en la investigación. Sin embargo, y en términos más futboleros, si la base no está, de nada servirá bombardear a los alumnos con el último grito de las ciencias naturales. ¿Qué es la base,

<sup>21</sup> Véase, por ejemplo, Campanario, J. M. y Moya, A. “¿Cómo enseñar ciencias? Principales tendencias y propuestas”. *Enseñanza de las Ciencias* 17, 179-192, 1999. Garritz, A. *Bol. Soc. Quím. Méx.* 1(1), 67-72, 2007.

entonces? Nuevamente, comprender el proceso de adquisición de ideas y conocimientos científicos; para ello, la metodología de la enseñanza adquiere un papel preponderante, casi como un contenido más. En cuanto a los contenidos clásicos, podemos citar al menos dos ejes en los que se centran las discusiones:

- a) Su estructura lógica, tanto atravesando los diversos niveles educativos como dentro de un ciclo en particular. Por otro lado, este hecho debe cotejarse en forma permanente con lo que ocurre verdaderamente en el aula, que muchas veces puede estar a años luz de lo que figura en el papel de los programas, ministerios y señoras inspectoras.
- b) Su interrelación en cuanto al árbol de las ciencias: el mismo contenido puede abordarse desde una perspectiva disciplinaria particular, y esta fragmentación conspira contra la comprensión cabal de los temas en discusión. No está de más recordar que la división disciplinaria de las ciencias es arbitraria y artificial –y esto suele recrearse de esta misma manera en el aula–. Esta interrelación, de acuerdo con algunas escuelas más modernas, puede y debe ser enfocada junto con otras grandes áreas del conocimiento (como la literatura y las humanidades).
- c) La elección de los núcleos de cada disciplina (también llamados conceptos estructurantes o ideas fuerza).

Otras dos cuestiones de permanente discusión en los ámbitos en los cuales se discute qué enseñamos en el aula de ciencia son los temas de las evaluaciones (qué queremos que sepan los alumnos de ciencias naturales, y cómo hacemos para saber si saben lo que queremos que sepan) y, en forma paralela, cómo enfrentar la influencia de los conocimientos previos de los estudiantes (y, sobre todo, cómo trabajar a partir de ellos). Este último punto ha tenido un nuevo empuje a partir de la globalización del conocimiento a través de diversos medios, con Internet a la cabeza como madre de todos los vicios. Efectivamente, podríamos afirmar que las primeras investigaciones en didáctica de las ciencias se centraban en las preconcepciones sobre diferentes temas: sin embargo, en la actualidad el énfasis está puesto en explorar cómo enseñar a partir de ellas.

Por supuesto, si de ciencias naturales se trata, tal vez hoy ya sea un lugar común que la única alternativa posible es aquella que se vale extensivamente del laboratorio y de la resolución de problemas (aunque cabría explorar cuán convencidos están los docentes acerca de este hecho). De nuevo, una cosa es la teoría y el consenso, y otra es ir a ob-

servar la clase de física o química hacia finales del segundo semestre, cuando se debe cumplir con el programa preestablecido, y el presupuesto no alcanza para comprar una sal de cobre, obligando al docente a –horror– dictar esas clases magistrales que tan mal se ven en los textos de didáctica de las ciencias.

Otro cantar –o más bien otro escribir– es que las ciencias tienen una lógica propia en cuanto a sus procesos de escritura y lectura, y estos enfoques han sido incorporados por la didáctica contemporánea en el área. Es un tema discutible y opinable: nadie puede negar las particularidades de la rigurosidad y falta de ambigüedad del lenguaje científico, que debe enfatizarse en las clases; sin embargo, muchas veces se olvida en el aula de ciencias que las disciplinas tienen una retórica particular, un arte de convencimiento (ya sea a través de los papers, de las conferencias, de los pedidos de financiamiento) que se acerca definitivamente a cualquier otra práctica de lectura y escritura. Como veremos más adelante, en general las palabras “tapan” los conceptos: en la clase de ciencias se les suele poner nombre a las cosas sin que se hayan comprendido primero los fenómenos.

Tal vez las investigaciones sobre didáctica de la ciencia más contemporáneas han cambiado un poco el foco del asunto, al interesarse más en qué pasa en la cabeza de los alumnos cuando aprenden –o intentamos que aprendan–: qué estrategias de razonamiento utilizan, cómo van variando sus procesos cognitivos (incluyendo los metacognitivos, algo así como el aprender a aprender y ser consciente de ello). Y en este caso se entremezclan los avances de las ciencias cognitivas con ciertas concepciones epistemológicas acerca de cómo se adquiere la idea misma del conocimiento científico –algo que se conoce como “la naturaleza de la ciencia” –.<sup>22</sup> Allá vamos.

### **Eso mismo: la naturaleza de la ciencia**

No, nadie pretende que los profes de ciencias naturales deban convertirse en epistemólogos (al fin y al cabo, ¿alguien sabe qué es un epistemólogo y a qué se dedica exactamente?). Sin embargo, la entrada triunfal de esta rama filosófica, junto con los aportes de la sociología de la ciencia, a las discusiones sobre enseñar y aprender ciencias, agrega interesantes leñas al fuego de Prometeo.<sup>23</sup>

<sup>22</sup> Adúriz-Bravo, A. *Una introducción a la naturaleza de la ciencia. La epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales*. Buenos Aires, Fondo de Cultura Económica, 2005.

<sup>23</sup> Ver Matthews, M. *Science teaching: The role of history and philosophy of science*. Londres, Routledge, 1994. MComas, W. *The nature of science in science education: Rationales and strategies*. Kluwer, 1998. Vázquez et al., 2004, en <http://www.rieoei.org/deloslectores/702Vazquez.PDF>

En este sentido, está claro que los contenidos habituales tratan sobre hechos de la ciencia, y no sobre la ciencia misma (esa mirada sobre el mundo que mencionamos en capítulos anteriores). Sin embargo, la discusión acerca de qué es y cómo funciona “la ciencia” está notablemente ausente de las aulas, lo que se ve ampliamente corroborado en las encuestas de percepción cuando se pregunta acerca de los arquetipos del científico, en la mayoría de los casos cercanos al científico loco, movido por oscuros intereses, siempre masculino, casi siempre pelado (véanse las encuestas ya citadas de SECyT-RICyT). En ausencia de este enfoque, lo que se enseña en el aula de ciencias está necesariamente divorciado de la realidad, ya que ofrece la visión de un conocimiento acabado y perfecto, casi dogmático, lo cual está alejado de lo que suele ocurrir (esto es, sin entrar en consideraciones acerca de las cuestiones internas a cada disciplina en particular, con sus modas, sus dogmas, sus reglas y demás).

El asunto es, claro, cómo encajar el tema de la naturaleza de la ciencia dentro del currículo –y no es un asunto menor, ya que toda subárea anda a los codazos para lograr su lugar dentro de las clases–. Sin embargo, el consenso es que los alumnos deben comprender de qué está hecho el conocimiento científico –a diferencia del conocimiento popular, o el artístico, no menos válidos pero sí radicalmente distintos– a la par que conocer los hechos de la ciencia.<sup>24</sup> Claro que esta área es particularmente compleja; basta recordar que en ella abrevan no solo científicos y docentes, sino también especialistas en educación, filósofos, sociólogos y otros variopintos; en suma, una verdadera torre de Babel en la cual es difícil ponerse de acuerdo.<sup>25</sup> Más aun: en la mayoría de los casos, las instancias de formación docente tocan el área de la naturaleza de la ciencia de manera solo superficial, y se detienen con mayor detalle en los contenidos disciplinares específicos, por lo que es poco probable que esta visión se derrame hacia el aula de ciencias propiamente dicha.<sup>26</sup>

24 Abd-el-khalick, F. y Lederman, N. G. “Improving science teachers’ conceptions of the nature of science: A critical review of the literature”. *International Journal of Science Education*, 22, 665-701, 2000. McComas, W. F. y Olson, J. K. “The nature of science in international science education standards documents”. En: McComas, W. F. (ed.). *The nature of science in science education: Rationales and strategies*. Kluwer Academic Publishers, 1998, pp. 41-52.

<sup>25</sup> Osborne y colaboradores enfatizan el hecho de que todo comité sobre contenidos de enseñanza de la ciencia se discute ampliamente sobre estas necesidades, pese a lo cual, casi nunca se llega a un acuerdo; ni siquiera hay evidencias empíricas de los cambios que supone incluir la naturaleza de la ciencia en el currículo. Osborne, J. et al. “What ‘Ideas-about-Science’ Should Be Taught in School Science? A Delphi Study of the Expert Community”. *Journal of Research in Science Teaching*, 40, 692-720, 2003.

<sup>26</sup> Es más: ni siquiera hay consenso amplio sobre la denominación propia de esta área: ¿naturaleza de la ciencia, ideas sobre la ciencia o actitudes relacionadas con la ciencia? Se reciben propuestas...

Según Adúriz Bravo (2005), el conjunto de disciplinas que aportan a este concepto de “naturaleza de las ciencias” (incluyendo la sociología, historia o filosofía de la ciencia) tienen una incidencia positiva en la enseñanza, ya que:

1. proporcionan una reflexión crítica sobre qué es el conocimiento científico y cómo se elabora, que permite comprender mejor los alcances y límites de la ciencia como producto y como proceso;
2. humanizan la ciencia y la acercan en forma motivadora y atrayente a quienes no serán científicos y científicas;
3. hacen ver que las ciencias son parte del acervo cultural humano y del patrimonio colectivo transmitido a las nuevas generaciones;
4. constituyen una producción intelectual valiosa, que debería ser parte de la formación integral de los ciudadanos y ciudadanas;
5. proveen herramientas de pensamiento y de discurso rigurosas, como la lógica y la argumentación;
6. ayudan a superar obstáculos en el aprendizaje de los contenidos, procedimientos, métodos, actitudes y valores científicos;
7. permiten a los profesores y profesoras de ciencias naturales una mirada más completa y robusta de las disciplinas que enseñan y de los vínculos de estas con otras áreas curriculares;
8. generan ideas, materiales, recursos, enfoques y textos para diseñar una enseñanza de las ciencias más significativa; y
9. facilitan la estructuración de los currículos del área de ciencias naturales al permitir reconocer los modelos “estructurantes” de cada disciplina.

Todo muy bonito e innegable, pero... ¿factible? Tal vez solo sea posible en el marco de ejemplos concretos que incorporen una visión histórica sobre la enseñanza de las ciencias, que den lugar a los aspectos “tradicionales” de dicha enseñanza (en particular a los experimentales, tanto en el laboratorio como en la resolución de problemas), cuya interpretación incluya la ejercitación activa en la reflexión sobre el conocimiento que se produce y adquiere. De nuevo: método, método, método, más que el mero contenido

científico. La epistemología sólo aportará e influirá en el aula cuando se refiera a hechos concretos que requieran de una “metainterpretación” que eche luz sobre lo que se está construyendo y cocinando en el laboratorio o la discusión científica.

Seamos realistas: este tipo de cuestiones suelen abordarse en las primerísimas clases de las diferentes disciplinas científicas, y en todos los niveles educativos: ¿qué curso de ciencias no comienza, a principios del año, hablando sobre la ciencia, los científicos, los diferentes tipos de conocimiento y demás, para luego enrollarlo prolijamente debajo de la alfombra y dedicarse a “lo importante”, que suele ocurrir debajo de los tubos de ensayo y dentro de los microscopios? En otras palabras, el desafío es entonces incorporar a esta naturaleza de la ciencia como una reflexión permanente a lo largo de todo el curso de ciencias, que incorpore el contexto en el que se realiza todo descubrimiento científico, tanto el que tiene la obligación de ser original, en el ámbito “real” de los investigadores, como la creación recurrente de conocimiento científico en el aula.

### **Conóctete a ti mismo: la metacognición en el aprendizaje de las ciencias**

Si queremos que alguien aprenda algo, es bueno saber cómo se incorpora el conocimiento en la cabeza del consumidor. En este sentido, hay numerosas investigaciones acerca de las estrategias para la resolución de problemas, tanto en la vida real, la del laboratorio, o en la del aula (si con esto se entiende que la vida del laboratorio o la del aula no son “reales”; el razonamiento corre por cuenta del lector).

El asunto, en el fondo, es uno de los más profundos con que se encuentran tanto los científicos profesionales como los alumnos de cualquier nivel: saber qué es lo que se sabe (o bien, no caer en el problema de no saber que no se sabe). Saber que no se sabe nada, como el viejo axioma socrático, ya es un buen comienzo, aunque las ideas previas y las concepciones sobre el Universo con que todos venimos, si no al mundo, al menos al aula, claramente interfieren con la posibilidad de una *tabula rasa* sobre la cual construir el conocimiento científico.

Si bien todo lo “meta” se desvanece en el aire, vale la pena comenzar por alguna definición acerca de la metacognición, como la siguiente:

La metacognición se refiere al conocimiento que uno tiene sobre los propios procesos o productos cognitivos o sobre cualquier cosa relacionada con ellos, es decir, las propiedades de la información o los datos relevantes para el aprendizaje.



Por ejemplo, estoy implicado en metacognición (metamemoria, metaaprendizaje, metaatención, metalenguaje, etc.) si me doy cuenta de que tengo más problemas al aprender A que al aprender B, si me ocurre que debo comprobar C antes de aceptarlo como un hecho... La metacognición se refiere, entre otras cosas, al control y la orquestación y regulación subsiguiente de estos procesos.<sup>27</sup>

Es cierto: algo sucede cuando el alumno descubre la regla que le permite entender ciertos procesos aparentemente disímiles entre sí, cuando logra discernir un patrón de regularidades e inmediatamente visualiza lo que escapa a la regla, cuando aplica conceptos de teoría de la mente para comprender un fenómeno de la naturaleza.<sup>28</sup> Asimismo, la metacognición está presente cuando un alumno es capaz de predecir un resultado a partir de las observaciones o experimentaciones previas –momento sublime en la vida de todo científico en potencia–. Este proceso es un *eureka* como tantos otros, pero es necesario que cuente con el fomento estratégico y la guía –aunque solapada– del docente, agazapado detrás de los experimentos esperando aportar la palabra o la pregunta justa como para que el cerebro del estudiante quede temblando por un rato.

Campanario (2000) propone una serie de estrategias –algunas obvias, otras más interesantes– para desarrollar esta metacognición en la clase de ciencias.<sup>29</sup> Vale la pena puntualizarlas: por ejemplo, para saber lo que saben, los alumnos podrían:

- a) resolver problemas con soluciones contraintuitivas;
- b) predecir lo que va a ocurrir en el próximo experimento;
- c) realizar modelos materiales de lo que andan elucubrando;
- d) llevar un diario científico en el que anoten todo lo que les pasa;
- e) cuestionarse el conocimiento adquirido;
- f) preguntar, preguntar, preguntar.

<sup>27</sup> Flavell, J. H. "Metacognitive aspects of problem solving". En: Resnick L. B. (ed.). *The nature of intelligence*, Nueva Jersey, Lawrence Erlbaum, 1976.

<sup>28</sup> "¿Cuál es la pauta que conecta al cangrejo con la langosta, a la orquídea con la rosa, y a los cuatro conmigo? ¿Y a mí y a ustedes con la ameba, en un extremo, y con el esquizofrénico, en el otro?", se pregunta Gregory Bateson en su apasionante libro *Espíritu y naturaleza*, Buenos Aires, Amorrortu, 1982.

<sup>29</sup> Campanario, J. M. "El desarrollo de la metacognición en el aprendizaje de las ciencias: estrategias para el profesor y actividades orientadas al alumno". *Enseñanza de las Ciencias* 18: 369-380, 2000.

Por su parte, el buen profe metacognitivo podría, entre otras cuestiones que tal vez se excedan en tecnicismos con poca posibilidad de anclaje real en el aula:

- a) dar a conocer a los alumnos los objetivos del proceso de enseñanza/aprendizaje;
- b) insistir en el componente problemático del conocimiento;
- c) aplicar los conocimientos científicos a la realidad cotidiana;
- d) utilizar permanentemente las metaciencias (historia, filosofía, sociología) en la enseñanza;
- e) desarrollar enfoques multidisciplinarios;
- f) usar la evaluación como instrumento metacognitivo.

Seguramente muchos docentes de ciencias adopten estas estrategias en forma intuitiva y, en estos casos, como venimos diciendo, de poco vale ponerlo en tecnicismos y otros "ismos". Sin embargo, dado que no cabe duda de que la capacidad de enseñanza es un arte que se adquiere por imitación (de nuestros maestros, de nuestros colegas), a veces vale la pena puntualizar lo obvio como para hacer hincapié en algunas prácticas particularmente exitosas.

### **Las palabras y las cosas<sup>30</sup>**

Uno no puede cansarse de presentar al empirismo permanente como la mejor estrategia para abordar la enseñanza de las ciencias naturales. Sin embargo, la manera en la cual llegamos a la fase experimental de la clase es fundamental para que se saque el mayor provecho de este aspecto de la ciencia. En general abusamos de las descripciones previas a la experiencia y, sobre todo, de la utilización de definiciones que, antes de comprender los fenómenos, carecen de sentido. La ciencia, y sobre todo el desarrollo de disciplinas particulares, poseen una jerga incomprensible y de la que los científicos suelen estar orgullosos, como si manejar ese diccionario de tecnicismos fuera un pasaporte al conocimiento. El riesgo es exportar esta *terminologitis* al aula de ciencias; la manera en que introduzcamos esta terminología tendrá un profundo impacto en la idea que los estudiantes se hagan de la ciencia y sus modos de trabajo.

<sup>30</sup> Que si bien no representan una arqueología de las ciencias humanas (Foucault, 1966), sí pueden ayudar a comprender una arqueología de la enseñanza de las ciencias.

Es muy común que el docente presente la clase con algún concepto definitorio: por ejemplo “hoy estudiaremos la carga eléctrica”. Al menos intuitivamente, todos sentirán que comprenden de qué se trata, y hasta arriesgarán algún tipo de definición operativa (“eso que corre por los cables de electricidad”, etc.) pero que en la mayoría de los casos redundará en tautologías o palabras carentes de significado objetivo (“eso”). A partir de allí se encadena una serie de equívocos y sobreentendidos que conspiran contra el aprendizaje, ya que se parte de algo que *supuestamente* es conocido, pero que es imposible de relacionar con fenómenos de la naturaleza. Una clase de ciencias no debe buscar darles significado a los términos. Por el contrario, estos deben acuñarse justamente para poder referirse a fenómenos presenciados e ideas formuladas que se conocen pero no han sido nombrados todavía.<sup>31</sup>

Nombrar un fenómeno, aun con el más pomposo y elegante de los nombres, no es entenderlo, y a veces es todo lo contrario. En el ejemplo de carga eléctrica, es bueno recordar, por ejemplo, que hablar de carga “positiva” o “negativa” es una convención histórica para explicar el llamado efecto ámbar; lo mismo será hablar de carga blanca y carga negra, o de carga dulce y salada.<sup>32</sup>

Es muy diferente comenzar una secuencia didáctica presentando un fenómeno –simple o complejo, espectacular o cotidiano– y realizando experiencias referidas a ese fenómeno en particular. Después de todo, la ciencia se basa en la observación y manipulación experimental de este tipo de fenómenos naturales, y ya sabemos que estamos tratando de hacer ciencia en el aula. Una vez anudados y desanudados los fenómenos, los estudiantes podrán hacerse una idea bastante concreta acerca del fenómeno en estudio: en ciertas condiciones se comporta de esta manera, se describe de acuerdo con estas variables, etc. Una vez que se manejen el fenómeno y las ideas sobre él, es un buen momento para introducir los conceptos terminológicos y las definiciones, que ahora tendrán un sentido concreto: servirán para nombrar lo que ya conocemos. El uso de esta secuencia que va de los fenómenos naturales a los nombres técnicos puede hacerse explícito a los estudiantes de modo que se sumen conscientemente al esfuerzo de pensar las ideas primero y disponer de los términos técnicos cuando sea adecuado.

<sup>31</sup> Gellon et al. *Ciencia en el aula*. Buenos Aires, Paidós, 2005.

<sup>32</sup> El físico Richard Feynman solía contar que su forma de pensar tuvo una enorme influencia de su padre, quien respondía sus preguntas sobre el nombre de las cosas (como los pájaros que se encontraban en sus caminatas) diciendo que “no importa cómo se llama; lo que importa es que es marrón con el pecho amarillo, y tiene el tamaño de un gorrión y vive en un clima frío...”.

### Enseñar ciencias: se hace camino al andar

A esta altura del partido queda claro que tan importante como los hechos de la ciencia es la manera en la cual un alumno (o, para el caso, un futuro docente) construye su propia visión científica del mundo. Si bien esto se basa en presupuestos clásicamente piagetianos, para resaltar la poca eficacia de insistir en dificilismos y laberintos del lenguaje (y, de paso, para no poner en evidencia la ignorancia del autor sobre estas bases), veamos qué tiene que aportar el constructivismo pedagógico en concreto para nuestras clases de todos los días.

Comencemos por lo obvio: el enfoque lúdico de los primerísimos niveles educativos no tiene, ni tiene por qué hacerlo, un objetivo de enseñanza de las ciencias. Es más bien, al mejor estilo Tres Chiflados, “un poco de esto, otro de aquello... ¿y qué se tiene?”. Sin embargo, la misma experiencia (mezclas, soluciones, dispersiones, etc., por ejemplo) aplicada en diversos niveles va a arrojar resultados completamente diferentes en cuanto a la apropiación de conceptos y procedimientos por parte de los alumnos y, sobre todo (en lo que a aprendizaje de las ciencias se refiere), a las preguntas que dispare la experiencia, como una puerta para ir a jugar y experimentar más allá de la consigna inicial. Es importante destacar que en estos primeros años se construye (o debería) el gusto por la ciencia, por experimentar, por observar con más detalle lo que tenemos delante de nuestros ojos y tratar de entender por qué pasa lo que pasa.

Asimismo, con afirma Laura Fumagalli, el focalizar la mirada en la construcción de estos conocimientos no significa relegar los aspectos afectivos presentes en la enseñanza.<sup>33</sup> Asimismo, y siguiendo a esta autora, si bien en este texto resaltamos la fundamental importancia del *hacer* en el aprendizaje de las ciencias –hacer experimentos, hacer preguntas, construir modelos– “nadie puede negar que los alumnos hacen algo” (en la clase de ciencias), “pero este hacer no necesariamente significa en todos los casos una acción cognitiva”. El verdadero cambio, la buscada construcción en este proceso, se da cuando las actividades apuntan a que el alumno se apropie del conocimiento científico, lo recree, lo invente y lo transforme.

Esto, como no podía ser de otra manera, también recibe su nombre propio en el país de la didáctica: es el aprendizaje de las ciencias por el descubrimiento. No es nada nuevo,

<sup>33</sup> Fumagalli, L. *El desafío de enseñar ciencias naturales*. Buenos Aires, Troquel, 1993.

sino que viene de los psicodélicos 60 y 70, en los que si el mundo experimentaba en carne propia numerosas novedades, no cabía otra posibilidad que contagiar este afán de experimentación y descubrimiento al aula de ciencias. Escuchemos si no a Piaget, con oídos de siglo XXI:

Cada vez que se enseña prematuramente a un niño algo que hubiera podido descubrir solo, se le impide inventarlo y, en consecuencia, entenderlo completamente.<sup>34</sup>

Estas ideas revolucionarias llevaron a postular en esos años dorados la posibilidad del aprendizaje por descubrimiento. En su momento esto representaba la panacea y el escudo contra los procesos tradicionales de clases magistrales, memorización y repeticiones automáticas de experimentos de dudosa formalidad. Esta postura pone un énfasis casi absoluto en los procedimientos por sobre los contenidos concretos, la idea –muy sesentista, si las hay– es salir a observar el mundo y formular hipótesis con ingenuidad absoluta. Justamente, se olvidaba que nuestras queridas bestezuelas vienen con sus ideas en la cabeza, que no necesariamente se cambian por observar con atención algo que va en contra de esas mismas ideas. Por otro lado, la idea de aprendizaje por descubrimiento, llevada al extremo, pretende que la realidad misma nos “dice” cómo funciona el mundo, incluyendo cuestiones realmente complejas que a los científicos les llevó siglos entender. Tal vez en esto radique una de las mayores deficiencias del modelo: por más que mire durante mucho tiempo cómo flota un objeto, es muy poco probable que un chico, solito, entienda el fenómeno de la flotación y el empuje.

Tal vez el problema sea, como tantas otras veces, la distinción absoluta entre extremos. En cuestiones de enseñanza, Ausubel y colaboradores<sup>35</sup> sugieren que estos extremos podrían ser los de aprender de memoria versus aprender algo significativo. Pero de ahí a pensar que la enseñanza tradicional es siempre memorística y que la de descubrimiento es siempre significativa hay un largo trecho.

Como sea, más allá de las críticas que se le han formulado hasta dejarlo un tanto humillado en el rincón, el aprendizaje por descubrimiento se va acercando, de a poco, a un en-

<sup>34</sup> Piaget, J. Citado en Pozo, J. I. y Carretero, M. “Del pensamiento formal a las concepciones espontáneas: ¿Qué cambia en la enseñanza de la ciencia?” *Infancia y Aprendizaje*, 38, 35-52, 1987.

<sup>35</sup> Ausubel, D. P., Novak, J. D. y Hanesian, H. *Educational Psychology: A Cognitive View*. Nueva York, Holt, Rinehart and Winston, 1978.

foque educativo que por fin se acerque a la ciencia. Aprender a descubrir es, además de fascinante, un camino de ida del que, afortunadamente, no se vuelve más. No es casual que dos hijos directos de este enfoque de enseñanza de las ciencias sean el aprendizaje por indagación y los aprendizajes por resolución de casos o de problemas.

### **Hacer ciencia para aprender ciencias: aprendizaje por indagación**

Cuando pensamos en “hacer ciencia en el aula” seguramente recordamos el famoso método científico con el que muchos de nosotros fuimos bombardeados en nuestra época escolar. La ciencia, en forma caricaturizada, sería una receta infalible según la cual hay que ponerse firmes y 1) observar, 2) hipotetizar, 3) experimentar, 4) deducir y volver a empezar, todo eso sin repetir, sin soplar, sin saltarse ningún paso ni alterar su orden “natural”. Es como si la ciencia estuviera compuesta por numerosas iteraciones de este famoso método, independientes entre sí y sujetas a un orden casi preestablecido. Es más: donde no hay orden, parece que no hay ciencia, no hay nada.<sup>36</sup> Los famosos “anarquistas científicos”, con Paul Feyerabend a la cabeza, van mucho más allá, y llegan a proponer que la única manera de hacer ciencia es ir directamente en contra del método científico, encontrando caminos alternativos y desordenados.<sup>37</sup>

Como siempre, en medio de estas puntas hay un ovillo, que es el que debemos comenzar a desenrollar para poder enseñar a pensar científicamente en el aula. Una de las posibilidades es la de la “enseñanza por indagación”, en la que los alumnos se visten de científicos –y el docente, de maestro de científicos, hecho nada menor– y recorren las etapas de producción de conocimiento científico; en esta versión, los alumnos son actores activos en la generación del conocimiento.

¿Qué es lo que se “indaga” en este aprendizaje? Algo similar a lo que ocurre en la ciencia profesional: a partir de una observación, o de una situación planteada por el docente, el aula se convierte en un laboratorio de preguntas, ideas y experimentos. Aquí la palabra del docente es fundamental, para orientar esta indagación hacia playas fértiles y creativas (aun si son inesperadas). Al decir de Furman y Zysman:<sup>38</sup>

<sup>36</sup> Siguiendo a Bertold Brecht: “En la actualidad hay sobre todo orden, donde no hay nada, es una deficiencia aparente”.

<sup>37</sup> Feyerabend, P. *Tratado contra el método*. Madrid, Tecnos, 1975.

<sup>38</sup> Furman, M. y Zysman, A. *Ciencias naturales: aprender a investigar en la escuela*. Buenos Aires, Novedades Educativas, 2001.

Pensar científicamente requiere la capacidad de explorar y hacerle preguntas al mundo natural de manera sistemática pero al mismo tiempo, creativa y juguetona. Implica poder imaginar explicaciones de cómo funcionan las cosas y buscar formas de ponerlas a prueba, pensando en otras interpretaciones posibles para lo que vemos y usando evidencias para dar sustento a nuestras ideas cuando debatimos con otros.

En el fondo, como en toda buena clase de ciencias, se trata de aprender a conocer, y esto no es nada fácil, requiere entrenamiento y estrategias exitosas. El desafío para el docente es doble: ser uno más de los indagadores y, al mismo tiempo pero de manera muy sutil, lograr orientar todo el proceso sobre la base de los objetivos que se haya trazado previamente. En el camino existirán numerosas situaciones sorprendidas en las que debemos sonreír y confesar que no sabemos la respuesta a las preguntas de nuestros estudiantes, lo cual constituye uno de los momentos más fascinantes de este aprendizaje guiado. En *Los niños y la ciencia*, en el que Charpak, Léna y Quéré cuentan la historia de "La mano en la masa",<sup>39</sup> aparece esta fábula a propósito del uso del no sé, cuyos problemas son claramente universales:

Decir "no sé" perturba las ideas tradicionales de la educación. Cuando yo era alumna, nunca encontré ni un solo maestro que confesara no saber. El oficio de profesor está destinado a transmitir una moral, impartir competencias, deshacer nudos: ningún problema debe resistirse al profesor. El "no sé" es una humillación, ningún alumno volverá a respetarlo. Cuando yo misma me hice profesora pensaba que tenía que representar totalmente ese papel, dar una buena imagen de mi saber. Si ocurría que no supiera, debía soslayar hábilmente la pregunta para que los alumnos no se percataran: un alumno había construido un molino con engranajes, pero no giraba.

Hoy en día, en vez de darle la respuesta enseguida (la distancia de los dientes no es regular), como hacía entonces, le diría: Vamos a buscar juntos. Dar la respuesta de inmediato vuelve pasivos a los niños, dejarlos con la pregunta les da un papel central, donde quieren mostrar que buscan y saben mucho de eso. Se liberan del pensamiento del profesor y dan libre curso a su imaginación.

<sup>39</sup> Charpak, L., Léna, P. y Quéré, Y. *Los niños y la ciencia*. Buenos Aires, Siglo XXI Editores, 2006.

Voy a contarles una fábula:

“Un gatito pregunta a un gato viejo:

–¿Qué tengo que comer?

–Los jóvenes te lo pueden enseñar –responde éste. El gatito se va a ver a los vecinos; en la primera casa, el dueño oculta en seguida la carne; en la segunda oculta el pescado.

El gatito se pregunta:

–¿Por qué, apenas llego, esconden todo? Ya comprendí, tienen miedo de que me coma lo que esconden, así que seguramente se trata de lo que tengo que comer.

El gato viejo sabía que hay que practicar para comprender: pronto, cuando el gatito viva solo, tendrá que encontrar él mismo lo que puede comer. El gato viejo sabía que era preferible callarse.

[...]

Si se escala la montaña, no es porque seamos alpinistas; si tocamos música, no es porque seamos profesionales. Hasta en primer grado de la escuela primaria hay preguntas difíciles que formulan los niños, como: ¿Por qué el agua de la canilla es transparente? ¿Por qué el cielo es negro de noche? ¿Por qué el pelo de mi abuelo se puso blanco? No saber es normal. Con seguridad, los profesores saben más que los alumnos, pero eso no significa que sepamos todo, ni que siempre mostremos lo que sabemos... Debemos ser como directores. Los niños buscan,

nosotros los guiamos; ellos encuentran, luego compartimos la dicha del descubrimiento. Decir ‘No sé’ parece superficialmente fácil, pero en realidad es difícil, porque uno siempre está influido por la concepción tradicional. En definitiva, ¡es la experiencia la que te enseña la verdad!”

Zao Zingyi, maestra en Dalián, China.

La actitud indagatoria (y no inquisitoria...) implica también un cambio radical en las relaciones dentro del aula: ya no necesariamente serán los mismos los alumnos que brillarán por sus conocimientos o su memoria, sino que podrán develarse otras capacidades, acaso



más ocultas, de quienes tienen su propio ritmo de pensamiento y deducción. Claro que esto implica un desafío adicional: lograr una comunidad de inquisidores en la que todos participen de la construcción del conocimiento científico.

El punto clave de este enfoque es, seguramente, la guía: los alumnos no tienden a descubrir por sí solos, en forma espontánea, las leyes fundamentales de la naturaleza, cual newtoncitos al pie de manzanos estratégicamente colocados a lo largo del aula o el laboratorio. En forma más popular: no damos peces, sino que dejamos a mano las redes, cañas y anzuelos como para que “descubran” el arte de la pesca. El momento del descubrimiento, de esa carita asombrada porque comprendió o, más precisamente, inventó al mundo por primera vez, es sencillamente sublime.

Existen dos enfoques alternativos para este tipo de enseñanza: por un lado, aquel que responde a las indagaciones abiertas, basadas en las preguntas iniciales de los alumnos, quienes, guiados por el docente, ordenan y eligen sus puntos de curiosidad y proponen maneras de resolverlos experimentalmente. En el otro rincón están las indagaciones “cerradas” o guiadas, en las que la consigna inicial parte del docente, quien estructura el camino a seguir. A lo largo de un curso de ciencias de cualquier nivel, el camino ideal es el que recorre las indagaciones de cerradas a abiertas, en el afán de lograr estructuras de pensamiento científico independiente, o al menos intentarlo.

El nudo de todo esto es, claramente, el tipo de preguntas a introducir en la clase. Estas cuestiones pueden venir de múltiples fuentes: lo que los alumnos conocen a partir de los medios de comunicación, preguntas abiertas de los libros de texto y, sobre todo, aquellas que el docente considera esenciales para llevar a buen término la indagación de un tema en particular. Existe incluso una propuesta de diseñar el currículo alrededor de las preguntas fundamentales para un tema científico determinado, desde una perspectiva histórica que permita a los alumnos un juego de rol poniéndose en el lugar de los primeros que se preguntaron por algún fenómeno de la naturaleza. Este enfoque se basa en la llamada “comprensión a través del diseño” (*understanding by design*), una propuesta desarrollada por Grant Wiggins y Jay McTighe, que fue publicada en los Estados Unidos por la Asociación para la Supervisión y el Desarrollo de Currículum (Association for Supervision and Curriculum Development [ASCD]),<sup>40</sup> y dio origen al conocimiento que vamos a

<sup>40</sup> El libro de Wiggins y McTighe fue publicado en 1998, y puede encontrarse mucha información sobre esta propuesta en <http://www.grantwiggins.org/ubd.html>

enseñar, en lugar de estructurarlo en función de las respuestas de los expertos o, en otras palabras, de lo que “ya se sabe”. Esta estrategia evita en los alumnos la visión común de que el conocimiento surge de la nada, como una verdad que se revela a los ojos de los que saben mirar. En la propuesta original el docente se convierte en un verdadero diseñador, que prevé las situaciones a las cuales se pueden ir enfrentando los alumnos y así no solo clarifican sus propios objetivos sino que desarrollan las herramientas –las preguntas– para cumplirlos.

Estas preguntas pueden ser clasificadas de acuerdo con su complejidad cognitiva, con el carácter de las herramientas necesarias (experimentales o no) para responderlas o incluso con que su uso en clase requiera una clase o una secuencia didáctica que puede llevar meses o hasta todo el año. Las preguntas deben ser afinadas y guiadas hasta que se constituyan en verdaderas preguntas científicas, o sea, comprobables experimentalmente, puestas a prueba, disparadoras de predicciones, etc. Claro, el asunto es determinar que una pregunta es científica, y eso, de por sí es Toda Una Pregunta. En un texto curiosamente llamado “Haciendo ciencia”,<sup>41</sup> se proponen algunos criterios para decidir la “cientificidad” de una pregunta para el aula:

- Debe basarse en objetos, organismos y eventos del mundo natural.
- No debe basarse en opiniones, sentimientos y creencias.
- Debe poder ser investigada a través de experimentos u observaciones.
- Debe llevar a la recolección de evidencia y el uso de información para explicar cómo funciona el mundo natural.

El asunto es que tanto los docentes como los alumnos se ejerciten en este tipo de preguntas para que más adelante formularlas sea casi una cuestión de rutina. En particular, el docente debe incorporar preguntas de carácter estratégico que guían al alumno y lo estimulan a ir un poco más allá, construyendo de esa manera su propio camino y su propio conocimiento.

En el proceso tradicionalmente denominado método científico, estas preguntas están usualmente camufladas bajo el disfraz de hipótesis, pero cuesta mucho encontrarlas de-

<sup>41</sup> Bybee, R. “Doing science: the process of scientific inquiry”. En: [science.education.nih.gov/Supplements/NIH6/Inquiry/guide/nih\\_doing-science.pdf](http://science.education.nih.gov/Supplements/NIH6/Inquiry/guide/nih_doing-science.pdf)

trás de tanto maquillaje. Sin embargo, en el aprendizaje por indagación, la hipótesis es el corolario de toda buena pregunta científica; en cierta forma, es el paso previo para enfrentarnos a una resolución experimental de la cuestión en estudio. Una hipótesis abre múltiples puertas o predicciones, todas las cuales debieran ser comprobables o refutables en las condiciones experimentales adecuadas. Por otro lado, es una maravillosa oportunidad para que el aula se transforme en un verdadero campo de batalla intelectual, en el que los cerebros intervinientes se expriman descubriendo las fallas y virtudes de todo razonamiento hipotético antes de intentar ponerlo a prueba. Y después, sí, a diseñar el mejor de los experimentos: el desarrollo de este diseño, con sus controles negativos y positivos, sus pasos, sus complicaciones y demás, ya es parte del proceso experimental en sí –y a veces, hasta más importante que realizar la experiencia (pero solo a veces).

Por supuesto, el proceso de recrear la ciencia en el aula queda completamente trunco si, luego de la realización de los experimentos correspondientes, los datos quedan inertes como números, gráficos o tablas en un papel. Una etapa fundamental del proceso es la del debate e interpretación de los resultados, que obviamente deberán generar nuevas preguntas, hipótesis y experimentos. Ya hemos dicho aquello de que la ciencia no es tal hasta que no se pone en común; con la ciencia en el aula pasa exactamente lo mismo. La etapa de discusión general de los resultados es apasionante y fructífera –descubrir que un experimento no da “mal” sino que da lo que da, y es nuestra tarea entender qué nos está diciendo es fundamental para promover el pensamiento científico entre nuestros alumnos–. Da un poco de vértigo comprenderlo, pero el camino nunca termina, dado que se generan nuevas cuestiones y refinamientos para extraerle más datos a la naturaleza (aunque es también tarea del docente prever y proponer un cierre para los trayectos didácticos).

En resumen, el aprendizaje por indagación implica un cambio conceptual en la manera en la cual nos plantamos frente al aula. El investigador de la Universidad de Valencia Daniel Gil Pérez resumió hace más de una década estos cambios y procesos en algunos simples pasos:<sup>42</sup>

- a) Se plantean situaciones problemáticas que generen interés en los alumnos y proporcionen una concepción preliminar de la tarea.

<sup>42</sup> Gil, D. “Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación”. *Enseñanza de las Ciencias*, 11, 197-212, 1993. Gil, D. “Relaciones entre conocimiento escolar y conocimiento científico”. *Investigación en la Escuela*, 23, 17-32, 1994.

- b) Los alumnos trabajan en grupo y estudian las situaciones planteadas.
- c) Los problemas se tratan siguiendo una orientación científica con emisión de hipótesis, elaboración de estrategias posibles de resolución y análisis, y comparación con los resultados obtenidos por otros grupos de alumnos.
- d) Los nuevos conocimientos se aplican a nuevas situaciones.

Pero aquí no acaba todo, ya que es el punto de partida para otro de los procesos que involucra un alto grado de creatividad en ciencia, y por supuesto, la ciencia en el aula no puede estar exenta de este paso. Se trata de la imaginación de modelos que describan la serie de resultados experimentales obtenidos y, sobre todo, que permitan formular predicciones a futuro.

Hay modelos para todos los gustos, desde aquellos materiales que utilizan elementos de bricolaje para entender cómo funciona algún fenómeno natural<sup>43</sup> hasta los modelos completamente abstractos e ideales que describen ese fenómeno. Si logramos crear un modelo de lo que queremos conocer, estaremos más cerca de comprenderlo. Por último, por qué no pensar en un verdadero desfile de modelos, en el que los alumnos presenten y defiendan sus ideas como en un congreso científico: haciendo ciencia.

### **Modelos y abstracción**

Como afirman Philip Davis y Reuben Hersch, se suele decir que las matemáticas comenzaron cuando la percepción de tres manzanas se separó del concepto de "manzana" y pasó a ser el número "3".<sup>44</sup> Esto es una primera forma de abstracción, tal vez uno de los momentos más eureka del proceso de aprendizaje de las ciencias, y obviamente no privativo de la matemática. Los mismos autores se refieren a diferentes conceptos de abstracción, muy útiles como categorías a la hora de pensar en el aula de ciencia:

- a) la abstracción como idealización, como aquella que imagina una recta ideal sobre el plano;
- b) la abstracción como extracción, esa propiedad que según *La República* de Platón "obliga a reflexionar sobre los números abstractos", como en la correspondencia que

<sup>43</sup> Y no es cuestión de tomarse estos modelos a la ligera: sin ir más lejos, es la forma en la cual Watson y Crick avanzaron hacia la estructura del ADN.

<sup>44</sup> Davis, P. J. y Hersch, R. *The mathematical experience*. Middlesex, Penguin, 1983.

una serie de tales números tiene con objetos reales –y que sienta las bases de las teorías de grafos.

Está claro que el proceso de abstracción está en la base del pensamiento científico: imaginar tanto lo que no se puede ver (como los átomos)<sup>45</sup> como aquello que requiere una interpretación *abstracta* de los resultados concretos que un experimento arroje. En este sentido, el aula de ciencia debe fomentar la construcción permanente de modelos, mentales, imaginarios, concretos, de cartón y de alambre, como una correspondencia entre los datos y la realidad. El asunto es que, si bien los datos que arroje un experimento son únicos y universales, los modelos que podemos construir sobre ellos son dispares e individuales (o al menos sectarios).

Esa misma abstracción –o tal vez otro orden de este proceso– se requiere para que los científicos se pongan de acuerdo sobre algún fenómeno objetivo. K. C. Cole cita una anécdota ilustrativa al respecto:<sup>46</sup>

En su edición del 4 de julio de 1984 el New York Times anunció que los físicos habían encontrado finalmente el sexto quark, último miembro de esa misteriosa familia de partículas elementales que revolotean en el núcleo atómico. Casualmente un amigo físico de California estaba de visita ese día [...]. No se veía muy impresionado por el anuncio y hasta parecía tomárselo con cierto humor. Me explicó que la máquina que había “encontrado” el quark llevaba más de seis meses apagada y que los datos habían sido analizados hacía ya tres meses. Los resultados, pues, ya se conocían.

“Lo que el anuncio significa –dijo– es que finalmente se pusieron de acuerdo sobre lo que vieron”.

Esta es exactamente la naturaleza del conocimiento científico: ponerse de acuerdo sobre lo que vemos. Es más: al decir del filósofo Paul Feyerabend, la ciencia no conoce hechos desnudos, sino que todos los hechos que se integran a nuestro conocimiento ya vienen vestidos de una cierta forma. En otras palabras, las opiniones preconcebidas formatean la adquisición y la interpretación de los hechos científicos.

<sup>45</sup> Gellon, G. *Había una vez el átomo. Cómo los científicos imaginan lo invisible*. Buenos Aires, Siglo XXI, 2006.

<sup>46</sup> Cole, K. C. “Is there such a thing as scientific objectivity?” *Discover*, septiembre de 1985, 98-99.

Es obvio que si esto ocurre en las diversas instancias de la investigación científica, el aula de ciencias no puede estar exenta de tales fenómenos que, lejos de distorsionar los procesos de aprendizaje, deben ser aprovechados en su favor. A todos los docentes nos ha ocurrido que los alumnos se nos presentan muy desanimados porque “el experimento me dio mal, profe” ..., como si tal cosa pudiera ocurrir. El desafío es, entonces, interpretar el resultado (los datos son los datos, y no pueden dar “mal”) e incorporarlo dentro del modelo que mejor lo explique.

### **La ciencia tiene sus problemas y sus casos**

¿Qué es lo que tienen series televisivas como *CSI* o *Doctor House* para hacerlas tan atractivas entre todo tipo de público, más allá del exceso de jerga técnica e incomprensible en el que suelen incurrir? Posiblemente sea el desafío de tener que resolver un caso concreto, en el que la ciencia provee de herramientas para resolver las pistas que se van sucediendo. Esta parece ser una estrategia directamente extrapolable al aula, ya que si se trata de entusiasmar e incentivar a nuestros alumnos, bienvenidos sean los problemas.

Está íntimamente ligada al aprendizaje por indagación, ya que requiere un proceso de gran responsabilidad e independencia por parte del alumno (o de equipos de alumnos), que deben ser guiados de manera sutil por el docente para que no pierdan el sendero preestablecido de acuerdo con los objetivos del curso. La resolución de casos es tal vez más compleja, ya que requiere por parte del docente un contexto, una historia y una escenografía adecuada para insertar el o los problemas científicos.

Más allá de sus implicancias prácticas, resulta interesante considerar que la resolución de tareas y problemas es un tema actualmente bajo intensa investigación en el área de las neurociencias cognitivas. Si bien resolver un problema es lo que hacemos a diario, incluso cuando no sabemos qué hacer, para el cerebro constituye un desafío fenomenal, aun en el más simple de los casos.

Imaginar un problema o un caso, y el derrotero que seguirá en el aula, es una tarea sumamente compleja, que solo a través de sucesivas iteraciones y refinamientos alcanzará un nivel adecuado para su uso fluido. Esta es un área de nutrida experimentación en el área de aprendizaje de las ciencias, que comenzó en la década de 1960 (una vez más) con el estudio de las estrategias para resolver acertijos y juegos. En los 70 se realizaron experiencias de campo en las que se solicitaba a los resolvedores de problemas que “hablaran”

sus soluciones y pensamientos en tiempo real, y luego se analizaban las grabaciones. En la actualidad, como decíamos, este es un campo de intensas experimentaciones, basadas tanto en el estudio de fenómenos cognitivos como en el procesamiento de información y, aplicado al aula, merece serudadas investigaciones en cada disciplina científica.<sup>47</sup>

### **El mundo también existe: la ciencia sale del aula**

Hasta nos hemos referido a aspectos del aprendizaje formal de las ciencias. Tradicionalmente se llamaba aprendizaje no formal a toda actividad que ocurría fuera de la escuela –la famosa salida que involucraba una serie de pasos y autorizaciones burocráticas, viajes en micros y dudosos resultados pedagógicos–. Asimismo, solía ser considerado una especie de *divertimento*, con relativamente poca valoración. Tal vez para la ciencia estas salidas sean fundamentales, aun cuando se realicen en un ámbito reducido: el patio de la escuela, la plaza, las investigaciones hogareñas. Por supuesto, las salidas a ámbitos de producción o exhibición de actividades científicas (como laboratorios o museos) brindan un aporte fundamental para comprender cómo se construye el conocimiento, y deben ser fomentadas y aprovechadas con la planificación adecuada.

La distinción basada en argumentos “geográficos” es actualmente un tanto absurda: ¿qué pasa con el aprendizaje por Internet, o en las experiencias que se realizan en casa con una guía proveniente de la escuela, con los documentales de televisión? No vale la pena detenerse en definir formalidades e informalidades en estos casos, sino en analizar qué podemos aprovechar de cualquier situación apta para el aprendizaje de las ciencias.

En este proceso, tal vez uno de los mayores cambios de las últimas décadas ha sido la transformación de los museos de ciencia, partiendo de ámbitos venerables para las colecciones de especímenes de botánica, zoología o mineralogía, en lugares en los que el visitante puede participar de experiencias que modifican en forma activa su percepción y conocimiento del mundo. Por fortuna, las investigaciones realizadas en estos museos acerca de las diversas variables y las respuestas de los visitantes fueron rápidamente extrapoladas a entender el proceso de aprendizaje que se realizaba en sus salas, y esto puede ser ampliamente aprovechado en la enseñanza de las ciencias. Tal vez de la mano con

47 Ver, por ejemplo, Good, R. y Smith, M. “How do we Make Students Better Problem Solvers?” *The Science Teacher* 54(4): 31-36, 1987. Gabel, D. (ed). *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. Nueva York, Macmillan, 1994.

las investigaciones sobre esta enseñanza, en los museos se comenzó a estudiar metodologías y procesos de adquisición de conocimiento más allá de los contenidos mismos de las exhibiciones. En la experiencia interactiva, el aprendizaje es complejo, y tiene que ver con lo que uno trae como individuo, con el ambiente físico en el cual se le presentan las exhibiciones y, por último, con la mediación social en la que se inserta la experiencia (incluyendo las interacciones con los facilitadores del museo).<sup>48</sup> Por supuesto que este tipo de actividad, al igual que cualquier otra salida, solo es aprovechada en la medida en que se prepara previamente en el aula, y se continúa la experiencia en clases subsiguientes.

En el caso de las visitas a laboratorios o centros de conocimiento científico, es fundamental aprovechar la salida al máximo teniendo en cuenta criterios "CTS" (ciencia, tecnología y sociedad) a la hora de diseñar las actividades a realizar: no solo se trata de recibir información de la mano de expertos, sino que también los alumnos pueden ir preparados con agenda propia, munidos de preguntas específicas acerca de la historia de las investigaciones (y de los investigadores), el contexto en el que se insertan, las ambiciones personales, la imaginación y creatividad que subyace en los estudios, etc. Tal vez en ese ámbito se pueda romper con el arquetipo de científico aislado del mundo, con su infaltable delantal blanco y moscas alrededor de su cabeza.<sup>49</sup>

Existen numerosos ejemplos adicionales en los que se procura una atmósfera adecuada para la enseñanza de las ciencias fuera del aula —entre los cuales cabe mencionar los campamentos científicos<sup>50</sup> y los clubes de ciencia<sup>51</sup>—, pero escapan a la extensión y objetivo primario de este documento.

### **El consenso social de la ciencia en el aula: algunas herramientas<sup>52</sup>**

Un problema obvio es el de cómo llevar al aula la visión de la ciencia como asunto social sin caer en un relativismo que afirme que todo conocimiento es igualmente válido, ni en simplificaciones con respecto al significado de los datos empíricos. Así, la construcción consensuada de conocimiento es un componente esencial de la ciencia "profesional" y, como tal, no puede estar ajeno a la ciencia "escolar". Una posibilidad es retornar al viejo

<sup>48</sup> Falk, J. D. y Dierking, L. D. *The museum experience*. Washington, Whalesback Books, 1998.

<sup>49</sup> Al respecto, cabe insistir sobre el concepto de "ciencia en ficción", propuesto por Carl Djerassi y que permite aplicaciones múltiples en el aula analizando obras de ficción (películas, libros, teatro, etc.) y el rol y posición cumplido por la ciencia y los científicos en ellas.

<sup>50</sup> Ver, por ejemplo, [www.experimentar.org.ar](http://www.experimentar.org.ar)

<sup>51</sup> Mancuso, R. *Clubes de ciencias*. Porto Alegre, CECIRS, 1996.

<sup>52</sup> Ejemplos tomados de Gellon et al. *La ciencia en el aula*. Buenos Aires, Paidós, 2005.



sistema de diálogos guiados, otra es la de apropiarse de juegos de rol tales como juicios; en ambos casos se busca un ámbito de efervescencia y discusión en el que se expongan e intercambien ideas, sobre la base de que el conocimiento en ciencias naturales proviene de fuentes puramente empíricas, pero es imprescindible interpretar, analizar y hasta pelearse por el significado de las investigaciones.

La construcción del conocimiento científico de manera consensuada en el aula permite presentar a la ciencia como un tipo muy especial de debate, en el cual los observadores de fenómenos deben ponerse de acuerdo sobre lo que sucede y por qué sucede. Al adquirir un rol activo en la tarea, los alumnos van realizando una serie de operaciones mentales lógicas que mejoran la coherencia interna del discurso a medida que se cuestionan los razonamientos.

Existen diversos ejemplos en los que el docente modela para los alumnos el diálogo socrático, buscando extraer del interlocutor, a través de preguntas y re-preguntas, las premisas que le permitan construir un discurso lógico y coherente acerca de un tema en particular. El diálogo puede ser complementado por experimentos, aunque esto no es estrictamente necesario. De cualquier manera, la discusión se complementa en forma permanente con “experimentos mentales” (*thought experiments*), del tipo de: “si realizara tal experimento o análisis y hallara tal resultado, entonces llegaría a esta conclusión”.

Un ejemplo fue propuesto por Gregory Bateson en su libro *Espíritu y naturaleza* (1990, retomado en Bonaparte, 2001),<sup>53</sup> cuando narra su particular enfoque para encontrar reglas en la naturaleza. Bateson cuenta de esta manera su acercamiento a los estudiantes de entonces:

En la década de 1950 era instructor de jóvenes de California, San Francisco.

Era una pequeña clase de 10 a 15 estudiantes, y yo sabía que iba a ingresar a una atmósfera de escepticismo rayano en la hostilidad. Cuando entré, percibí claramente que suponían que yo era una encarnación del demonio, que venía a increparles dónde estaba el sentido común que producía guerras atómicas y pesticidas. En estos tiempos (¿y todavía hoy?) se creía que la ciencia era “ajena a los valores” y que no estaba guiada por “emociones”.

Por supuesto, esta es la misma experiencia que suelen sentir los profesores cuando entran a su clase de ciencias. Bateson prepara el escenario cuidadosamente, y guía a sus alumnos a través de un problema sencillo:

Llevé conmigo dos bolsas de papel; de una de ellas saqué un cangrejo recién cocinado y lo puse sobre el escritorio, diciéndoles más o menos esto: “quiero que me den argumentos que me convenzan de que este objeto es el resto de una cosa viviente. Si quieren pueden imaginar que son marcianos y que en Marte están habituados a ver cosas vivientes, siendo ustedes mismos seres vivos; pero, desde luego, nunca han visto cangrejos o langostas. Hasta allí llegaron, tal vez llevados por un meteorito, un cierto número de objetos como éste. Deben examinarlos y llegar a la conclusión de que son restos de cosas vivas. ¿Cómo llegarían a esa conclusión?”

Al poner reglas en el relato, Bateson está guiando a los estudiantes al tipo de razonamiento socrático que desea realizar. Efectivamente, con la consigna de que “son marcianos”, los obliga a evitar toda explicación conocida que se base en la comparación, del tipo “eso está vivo porque es un cangrejo, y yo sé que están vivos”. Los resultados observados son muy interesantes:

Lo primero que observaron fue que es simétrico, o sea, que su lado derecho se parece al izquierdo... Luego observaron que una de sus tenazas era más grande que la otra. Así que no era simétrico. Alguien dijo “sí, una tenaza es más grande que la otra, pero ambas están formadas por las mismas partes”. ¡Ah, qué noble y hermoso pensamiento! ¡Cómo arrojó ese estudiante al tacho de la basura, con toda cortesía, la idea de que el tamaño podría tener una importancia primordial o profunda, y fue en cambio tras la pauta que conecta! Descartó una simetría a favor del tamaño a favor de una simetría más honda en las relaciones formales!

El rol de Bateson, o del docente, es el de facilitador: no provee datos sino que guía la discusión en el sentido deseado, sin invalidar ninguna de las opiniones que se vayan dando, sino brindando el marco para su discusión y, en todo caso, exponiendo las falencias lógicas de los argumentos (o, mejor aun, logrando que entre los mismos estudiantes se consideren dichas falencias), a través de la pregunta o el comentario mínimo que encauce el diálogo. En este ejemplo en particular, la descripción del “objeto cangrejo” lleva naturalmente a hablar de conceptos no solo de simetría sino también de homología/analogía.

En la modalidad de diálogo socrático debe quedar claro que a veces la pregunta planteada no exige una respuesta única o necesariamente aceptada; lo interesante es el proceso para llegar a las posibles explicaciones. El rol del docente es, una vez planteadas claramente las consignas del caso, estimular la discusión en y entre los grupos de trabajo y

ofrecer algunas pautas adicionales mientras el ejercicio se va desarrollando. Esta actividad tiene varios objetivos puntuales. Por una parte, promueve que los estudiantes discutan acerca de un punto particularmente polémico o de frontera dentro de los contenidos científicos de las materias. Asimismo, apunta a estimular la construcción de discursos lógicos con fuerte coherencia interna, la discusión grupal y el trabajo en equipo.

Una variante de este tipo de actividades es la realización de juicios científicos (esto es, a conceptos o personajes de la ciencia). Para que se formen como sujetos críticos y con capacidad de tomar decisiones fundamentadas es necesario que los estudiantes aprendan a discutir con bases sólidas las implicancias éticas y sociales de los avances de la ciencia, comprendiendo sus alcances y su impacto sobre diferentes aspectos de nuestra vida y la del resto de los habitantes del planeta. Se trata de delimitar claramente un problema (y es fundamental el planteamiento claro tanto del “juego” como de las premisas y hechos por considerar) y proponer un universo escenográfico en el que se recree un juicio “de película”, esto es, con fiscales y defensores, cada uno de los cuales presentará pruebas y testigos, interrogará y realizará alegatos; también se requiere la personificación de tales testigos y de un jurado que finalmente discutirá las evidencias presentadas.

La estrategia del juicio promueve que los estudiantes se pongan “en la mente del otro” a la hora de argumentar y contraargumentar, desarrollando su capacidad de detectar huecos lógicos en argumentos propios y ajenos. En este sentido, la simulación de un juicio en la clase ayuda a generar herramientas que también son útiles para los debates y la construcción conjunta, por parte de los alumnos, de ideas científicas o, más en general, de una capacidad crítica racional que les permita enfrentar las más diversas situaciones.

La elección del tema para la simulación de un juicio se puede hacer a partir de una noticia periodística, un caso tomado de la realidad y modificado para el trabajo en el aula o incluso una historia inventada. En cualquier caso, la “historia” abordará un tema que, en la estimación del docente, pueda resultar provocativo para los alumnos. Nuevamente, el diseño de la actividad es altamente flexible, ya que permite que sea realizada en una única clase o bien en una secuencia didáctica a lo largo del tiempo que se juzgue necesario. Los resultados valen la pena.<sup>54</sup>

<sup>54</sup> Como ejemplo puede consultarse el fascinante proyecto de la “comunidad de aprendedores”, en Brown, A.L. y Campione, J. C. “Guided Discovery in a Community of Learners”. En: *Classroom lessons: Integrative cognitive theory and classroom practice*, cap. 9, Cambridge, MIT Press, 1996.

### **Cómo saber que saben que saben**

Los docentes pueden realizar una secuencia didáctica brillante, pero siempre quedarán con la duda de qué es lo que aprendieron sus alumnos. Y aquí viene el tema tan temido (por docentes y alumnos, claro) de la evaluación en la clase de ciencias. Esta evaluación es una parte fundamental del diseño de las actividades del aula de ciencias, y seguramente tendrá características particulares que la diferencien de la que se lleva a cabo en otras asignaturas.

Los diseños curriculares y las evaluaciones tradicionales muchas veces no cumplen el objetivo de que los alumnos aprendan lo que queremos aprender, y eso puede no tener nada que ver con la capacidad didáctica o erudición del docente: simplemente no se logra el aprendizaje deseado. Además de la práctica tradicional y, sobre todo, las mañas que da la experiencia en cualquier práctica docente, tal vez un diseño que deliberadamente aborde objetivos de aprendizaje y no de enseñanza logre cumplir estos fines de manera más satisfactoria. Si somos sinceros, lo que tenemos en mente al diseñar una clase de ciencias es justamente qué queremos enseñar, o sea, qué queremos contar en el aula, y los recursos que utilizaremos para esa enseñanza. Sin embargo, podemos poner nuestros pensamientos patas arriba centrándonos en qué queremos que los alumnos aprendan –cómo es que se van a ir diferentes de como entraron al aula de ciencias. En la propuesta ya citada de Wiggins y McTighe (*Comprensión a través del diseño*), el proceso se basa en la comprensión de los alumnos. El segundo paso, proponen los autores, consistirá en establecer de qué manera los docentes podemos determinar si los alumnos han alcanzado o no estas comprensiones. ¿Qué tipo de conductas o comentarios o capacidades o actitudes nos mostrarán que los estudiantes realmente han logrado comprender lo que buscábamos que comprendieran? A partir de esto, y como paso final, se establecerá una secuencia de actividades.

El corazón de la propuesta se encuentra en el segundo paso, en establecer los criterios que nos van a decir si logramos nuestros objetivos o no antes de las actividades. Estos criterios son, de alguna manera, una suerte de “evaluación” y se refieren, como dijimos, a cosas que los docentes podemos ver y escuchar (o, en otras palabras, cosas que los alumnos dicen, hacen, escriben, etc.) que nos permiten darnos cuenta de eso que pasa

<sup>55</sup> Este apartado está basado en un texto preparado por G. Gellon y M. Furman para la diplomatura superior de enseñanza de las ciencias de FLACSO Argentina.

“dentro de sus cabezas”. Sin embargo, queremos tratar de evitar la palabra “evaluación” para no evocar su uso más tradicional por el que se entienden las “pruebas” clásicas con preguntas cerradas al final de una unidad.

Wiggins y McTighe denominan a este proceso *backwards design* o “diseño de atrás hacia adelante”. Esto alude al hecho de que los autores proponen cambiar la lógica de cómo la mayoría de los docentes planificamos las clases. Sugieren abandonar la secuencia objetivos-actividades-evaluación y pensar en el “cómo me voy a dar cuenta de que los alumnos aprendieron lo que yo quería que aprendieran” antes de pensar en cómo enseñar.

Aquí vale la pena aclarar que cuando hablamos de cambiar el foco de nuestra planificación hacia el aprendizaje de los alumnos no queremos decir que, entonces, el peso del éxito o el fracaso de una actividad va a estar centrado en ellos. De ninguna manera. La responsabilidad fundamental de guiar a los alumnos hacia los aprendizajes que nos proponemos recae en nosotros, los docentes, y en aquello que hacemos (y dejamos de hacer) para cumplir esos objetivos. Cuando decimos que es primordial ver qué hacen, dicen y escriben los alumnos en relación con los propósitos que nos planteamos, entonces, nos referimos por sobre todo a pensar qué hicimos bien y qué podemos hacer diferente la próxima vez que enseñemos.

El primer paso era, entonces, determinar qué conceptos queremos que los alumnos comprendan o aprendan a hacer. Esto involucra objetivos tanto cuantitativos como cualitativos, el recorte de los contenidos y el nivel de profundidad al que queremos llegar. Elegir el “adónde vamos” representa un desafío importante porque va a determinar qué se llevan los alumnos de la clase y, sobre todo, cómo lo enseñamos. Pero el cambio importante se da en el segundo paso, aquel destinado a darse cuenta de que los alumnos están aprendiendo lo que el docente quiere que aprendan. Esto requiere tener idea de las evidencias que deberían aportar los alumnos para que el docente pueda percatarse de qué está sucediendo “dentro de sus cabezas”. Por último viene el paso concreto de decidir qué hacer en clase. En este punto, Wiggins y McTighe cuentan los peligros del diseño carente de direccionalidad clara con un ejemplo en el que los alumnos deben dibujar las partes de una manzana, luego aprenden sobre los primeros plantadores y productores de manzanas en la región, cocinan un pastel de manzana y finalmente pintan una obra de arte colectiva sobre las manzanas y su cosecha. Ahora bien, ¿qué aprendieron los alumnos sobre las manzanas en toda esta secuencia? ¿Y qué pretendía el docente que aprendieran?

Si la secuencia se piensa al revés, a partir los objetivos de aprendizaje buscados, y se tienen en cuenta las evidencias de que este aprendizaje se está realizando, el diseño de la clase es más evidente, y permite imaginar los contenidos y metodologías a emplear en el aula. Es ir para atrás, pero pensando en salir adelante...

### **Si el aula no va hacia la ciencia...**

Recordemos la premisa principal de este documento. En general aparece la idea de que “la ciencia es otra cosa”, bastante diferente de lo que se suele enseñar en el aula. Eso que llamamos ciencia es, ante todo, una manera de entender el mundo, una forma de sacudirlo a preguntazos que, curiosamente, dan como resultado más y más preguntas. En otras palabras, entendemos la ciencia más como verbo que como sustantivo, un hacer permanente, que rompe con el principio de autoridad (aunque no con el de un acompañamiento guiado; he ahí el verdadero rol del docente en este caso) pero se subordina al de la experimentación y la demostración, aunque sea transitoria. Al menos estos son los preceptos que guían la investigación científica, esas ganas de saberlo todo, mucho, todísimo... y si hay algo claro es que no hay “dos ciencias”, una para los investigadores y otra para la escuela, sino una sola, con sus maravillas y sus frustraciones cotidianas.

El desafío es, entonces, cómo hacer ciencia en el aula. Ante esta sola mención, muchos docentes (y alumnos) huirán espantados, imaginando complicadas fórmulas, aceleradores de partículas o enciclopedias de datos y circuitos electrónicos. Sin embargo, esa ciencia que buscamos está en otra parte: en la indagación permanente, en alimentar las preguntas con experimentos y discusiones entusiastas; en suma, de *investigar*. Claro, los lugares tradicionales de ese investigar son los laboratorios, los gabinetes, los institutos, y no las aulas, en donde, a lo sumo, da para repetir una o dos secuencias experimentales por disciplina, ante el peso de que “dé bien”, o sea, como dicen el profesor y el libro (y el primero que pueda decir que los alumnos no le han venido con el argumento de que el experimento “dio mal” –como si un experimento pudiera “dar mal”– que tire la primera probeta). Una alternativa sería, sin ir más lejos, llevar el aula a esos lugares donde se investiga como profesión aunque, es cierto, no parece muy factible a esta altura del partido.<sup>56</sup>

<sup>56</sup> Sin embargo, una experiencia reciente entre el PEDECIBA uruguayo y la UNESCO realizó un interesante intento en este sentido, no con alumnos sino con maestros: becaron a cientos de profesores de ciencias de nivel medio para que asistieran durante tres meses a laboratorios de la Universidad de la República o institutos de investigación en Montevideo. Los resultados de esta iniciativa se están analizando actualmente.

Entonces, si el aula no va a los centros de la investigación, que la montaña vaya hacia el aula. Tal vez una alternativa sea la de sugerir algunas actividades para que los becarios de investigación y, eventualmente, los científicos jóvenes, participen directamente en el aula de ciencias del nivel medio.

### *¿Por qué los becarios (y los investigadores jóvenes)?*

No se sabe bien por qué, pero algo estamos haciendo bien en la educación superior en ciencias. Así como con las agencias de modelos, los científicos extranjeros asisten gustosos a nuestros congresos locales con el fin de hacer una especie de casting en el que seleccionan a los más jóvenes promisorios para ofrecerles un postdoc en sus laboratorios (después habrá que ver cómo hacer para que vuelvan, pero esa es otra historia). Por si fuera poco, a estos jóvenes científicos y científicas les suele ir muy bien afuera, y se destacan rápidamente en sus respectivas especialidades. Esto habla de la maestría de nuestros graduados en ciencias en sus disciplinas, que manejan realmente con soltura y nivel internacional (a veces más que sus propios supervisores, pero esa también es otra historia). Por otro lado, es innegable el entusiasmo que quienes se inician en su carrera profesional en ciencias ponen en sus tareas, en sus preguntas cotidianas y de largo plazo, en avanzar a tientas con ganas de que se les caigan las mandíbulas por el asombro de lo que vayan a encontrar. Asimismo, son ellos, los becarios e investigadores jóvenes, quienes todavía realmente quieren (y deben) cambiar el mundo y, es más, pueden hacerlo, muchas veces esgrimiendo la ciencia como una de sus principales armas. Por supuesto, otras generaciones podrán participar de estas actividades, pero las cualidades anteriores hacen de los más jóvenes los candidatos ideales para una etapa inicial.

Es cierto que no todos los becarios tienen buenas dotes docentes, pero no se les pide que sean docentes, sino guías y acompañantes tanto de los alumnos como de los profesores de ciencias de nivel medio. Más allá de sus aciertos o falencias frente al aula, será la oportunidad (tal vez única en muchos casos) de enfrentarse a un científico "de verdad", a sus preguntas y su modo de pensar el mundo.

Existen diversos interrogantes alrededor de esta propuesta, incluyendo la pregunta de si debe ser obligatoria o no. Es posible que luego de una cuidadosa planificación, este proyecto pueda implementarse en forma masiva, con la participación de todos los becarios, y no solo los de ciencias naturales (se parte de la base de que, más allá de sus diferencias metodológicas y discursivas, un investigador en derecho o arquitectura parte de la misma

cosmovisión científica que uno de ciencias naturales, o sea, un mundo que espera que le hagamos las preguntas adecuadas). En este sentido, es fundamental que este tipo de actividad pase a ser evaluable en las instancias periódicas que así lo ameriten. En un principio, dicha evaluación sería meramente cualitativa, o sea, se debería constatar en forma fehaciente que han cumplido con el mínimo de las tareas solicitadas. Con el tiempo se podrán tener criterios objetivos y predadores de éxito en estas actividades, que colaboren con la evaluación de estas.

La alternativa trivial es que sea una actividad electiva para aquellos investigadores y becarios que se sientan atraídos por la propuesta (que presumo que serán unos cuantos). Esta opción tal vez requiera incentivos específicos más allá de la evaluación (que aquí también se vuelve obligatoria), que podrán incluir suplementos salariales si se considera adecuado.

Pero bien, ¿qué harían estos becarios e investigadores jóvenes? Una de las actividades es simplemente ir a contar lo que hacen. Volvamos al entusiasmo que mencionábamos antes. Al cabo de los años uno aprende a desconfiar de los científicos que no cuentan con verdadera pasión sus tareas de investigación. La desconfianza también surge frente a aquellos de quienes no comprendemos absolutamente nada, por más alejadas que estén sus disciplinas de la nuestra. A esta altura, es dudoso que la mayoría de los mortales lleguemos a comprender los fundamentos últimos de la mecánica cuántica, pero se puede fruncir el ceño cuando no se logra comprender en forma general la pregunta que esos científicos han elegido como su zanahoria personal.

Entonces, ese contar lo que hacen presupone que lo harán con entusiasmo contagioso, con las trabas y tartamudeos de quienes no están necesariamente acostumbrados a otro tipo de público, pero enfocado desde las preguntas que se han formulado, cómo las han ido modificando, con qué dificultades se han encontrado, cómo es su día (incluidas las bromas y las comidas del laboratorio). No se trata de “hablar en fácil”; las ciencias tienen su lenguaje riguroso y unívoco que, más allá de las metáforas y analogías que se utilicen, debe respetarse y comprenderse. Se trata de hacer el esfuerzo de compartir en el aula con las mismas ganas que un becario cuenta un póster en un congreso, o convence a su supervisor de realizar algún experimento un tanto arriesgado.

Por supuesto, este “contar” debe estar acompañado por actividades previas y posteriores en el aula, por un ambiente propicio a las preguntas y discusiones, tareas en las que el disertante podrá colaborar activamente.



El otro camino es que los participantes se involucren de manera más activa con la ciencia en el aula. Todo investigador (aun el más cuántico de los cuánticos, para volver al ejemplo anterior) guarda en su galera trucos y actividades que ejemplifican su tarea con mayor claridad que el discurso. En este sentido, vale remitirse al precepto de que primero viene el concepto, luego la explicación. Y antes que el precepto viene la pregunta.

Insistimos: los mejores preguntones son, nuevamente, los becarios de investigación, que podrán colaborar con una secuencia de actividades original y entretenida para arribar a conceptos que luego, sí, podrán tener su explicación correspondiente (o quedar con signos de interrogación, lo cual, en el fondo, no es nada malo). Más allá de la mirada que se debe tener hacia los contenidos curriculares científicos, se puede ofrecer una cierta flexibilidad en las temáticas que los tutores elijan para esta tarea, siempre y cuando cumplan con mostrar los diferentes aspectos de la ciencia: su obligado empirismo, la necesidad de construir modelos (mentales o de plastilina), la obligatoriedad del debate y la discusión de los resultados y sus interpretaciones.





---

## Un Ministerio que da consejos...

Recientemente el Ministerio de Educación de la Nación Argentina (en ese momento también encargado de la gestión de la ciencia y la tecnología) encomendó a una comisión la redacción de una serie de recomendaciones para la mejora de la enseñanza de las ciencias naturales y la matemática.<sup>57</sup>

Veamos primero causas y características de esta novedad. La causa evidente fue el muy mal desempeño de los alumnos del país en algunas evaluaciones recientes en ciencias naturales, matemática, comprensión de textos y otras menudencias. Esto no necesariamente podría adscribirse al tipo de evaluación, que sigue pautas y consensos internacionales bastante claros e interesantes.<sup>58</sup> No vamos a adentrarnos ni en la evaluación ni en los resultados, ya que no son centrales para este documento; baste decir que, además del mal desempeño, llamó la atención la inequidad educativa que arrojaron los datos (medidos como la dispersión entre los mejores y los peores resultados de las pruebas). Asimismo, es tristemente reconfortante saber que no estamos solos: los pocos países de la región que se presentaron a esta evaluación resultaron parejamente desfavorecidos en el resultado (tal vez con la excepción de Chile, que obtuvo posiciones ligeramente mejores en el *ranking* mundial).

<sup>57</sup> La Comisión estuvo integrada por Rebeca Guber, Pablo Jacovkis, Diego Golombek, Alberto Kornbliht, Patricia Sadovsky, Pedro Lamberti, Francisco Garcés, Alejandro Jorge Arvía y Julia Salinas. En representación del Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología, participaron el entonces secretario de Educación, Juan Carlos Tedesco, el ex secretario de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, Tulio Del Bono, la directora del Instituto Nacional de Formación Docente, María Inés Vollmer, la directora nacional de Gestión Curricular, Laura Pitman, la directora nacional de Información y Evaluación de la Calidad de la Educación, Marta Kisilevsky, así como especialistas y técnicos de dichas Direcciones Nacionales. El trabajo de la Comisión se desarrolló entre los meses de febrero y septiembre de 2007.

<sup>58</sup> OCDE. PISA 2006, Marco de la Evaluación. Santillana, España, 2007.

Como sea, frente a estos números, había que hacer algo, aunque fuera a mediano y largo plazo; así fue que se convocó a los comisionados para colaborar con las tareas del ministerio, específicamente en el planeamiento de la educación en ciencias.

Lo revolucionario del caso es que no solo se recurrió a especialistas en enseñanza de las ciencias o gestores de la educación sino, principalmente, a científicos en actividad. Y esto no es meramente simbólico: como de la unión entre la pólvora y el libro,<sup>59</sup> de la de los científicos y los maestros puede surgir una mirada nueva sobre la enseñanza de las ciencias. Pero además, denota una preocupación genuina sobre el rol que la formación científica tiene en los ciudadanos, cualquiera que sea su profesión o clase social.

Según el informe, se trata “de una educación que contribuya además a la alfabetización científica del conjunto de la población, de manera que todos los ciudadanos podamos estar en condiciones de interesarnos en, e indagar sobre, distintos aspectos del mundo que nos rodea; poder tomar decisiones informadas acerca de cuestiones que afectan la calidad de vida y el futuro de la sociedad; de interesarse por, e involucrarse en, los discursos y debates sobre ciencias; y de arribar a conclusiones basadas en razonamientos válidos que incluyan, cuando corresponda, la interpretación de evidencia empírica”. Esto está a tono con las declaraciones de la UNESCO, de la National Science Foundation y otras instituciones que, palabras más, palabras menos, afirman que en estos tiempos que corren y nos corren, lo que vale es el conocimiento, y dentro de este universo, la ciencia y la tecnología ocupan un lugar preponderante.

La Comisión hizo suyo el enfoque de que la manera de encarar la enseñanza de la ciencia es indisoluble de la manera en que se producen las ideas científicas “en su estado natural”. Ahora bien, este énfasis en los procesos de construcción del conocimiento de ninguna manera tiene que llevarnos a la conclusión de que debemos desterrar las clases expositivas tradicionales y abocarnos total y completamente a clases de laboratorio. El problema de la educación en ciencias no es solo la falta de experimentos en el aula. Uno podría pensar que si hacemos experimentos el aspecto empírico tendrá que estar presente, pero esto no es así. Es totalmente posible realizar experimentos y experiencias de laboratorio en forma mecánica, repitiendo recetas; y si bien en una clase práctica los estudiantes pueden familiarizarse con aparatos y procedimientos, esto no garantiza la

60 Raúl González Tuñón (1939). *La luna con gatillo*.

comprensión conceptual. La genuina actividad mental involucra el hacerse preguntas, indagar, compartir las ideas propias, ser capaz de defenderlas y cuestionar las de otros. Si hablamos del rol activo del estudiante, nos referimos a la actividad cognitiva y no al mero hacer. Una clase teórica puede referir claramente y sin ambigüedades a la evidencia empírica que sostiene esta idea o aquel modelo. Esta actitud, sin experimento alguno, es ya un enorme paso adelante hacia la incorporación del aspecto empírico de la ciencia en el aula.

Todos estos cambios comienzan por el principio, es decir, por el docente. Más allá de necesarios cambios cosméticos a corto plazo, la única forma de modificar el presente es pensando en el futuro –en nuestro caso, planeando la formación de quienes van a ser maestros y profesores de ciencias en un futuro mediano y de largo plazo–. Es cierto: el problema principal radica en la relativa falta de conocimientos científicos actualizados en la formación de los docentes. Pero, como dice el informe, “conocer la materia a enseñar significa dominar no solo los contenidos científicos, sino también los problemas que originaron su construcción, las dificultades para construirlos, las orientaciones metodológicas empleadas en la construcción de los conocimientos y la influencia de las interacciones sociales sobre dicha construcción. Según el nivel de la enseñanza en el cual se desempeñe, el docente debe conocer también los desarrollos científicos recientes y sus perspectivas, así como saber seleccionar contenidos adecuados que sean asequibles a los alumnos y susceptibles de interesarlos y, en definitiva, ser capaz de promover la curiosidad y la capacidad de aprender a lo largo de toda la vida”.

Esta falla tiene al menos dos consecuencias: los pibes no aprenden o aprenden mal y, tal vez más grave, desarrollan anticuerpos contra las ciencias, lo que se traduce en una gran disminución de la vocación científica entre los estudiantes. Algunos de los argumentos son que la ciencia “es muy difícil” o, lo que es más común, “que no hay trabajo para los científicos”. Ambos argumentos son fácilmente refutables: por un lado, es cierto que hay dificultades en el estudio de las ciencias, pero tal vez no más que en otros ámbitos de la educación superior. Estudiar una carrera científica requiere un gran esfuerzo, pero los beneficios intelectuales son igualmente considerables. Por otro lado, al menos en ciertas disciplinas científicas hay una acuciante falta de graduados, a los que les resulta muy fácil conseguir buenos trabajos. En nuestra región se necesitan ingenieros, químicos, geólogos, meteorólogos, mucho más que lo que cualquier asesor en orientación vocacional pueda imaginarse. Pero todo esto va mucho más allá de las vocaciones universitarias: se

trata de una crisis de racionalidad, que genera una sociedad fácilmente manipulable por quienes cortan el bacalao (científico o no).

El documento de la comisión abunda en detalles diagnósticos y se detiene en particular en la situación a nivel de formación de formadores, claramente deficiente en las áreas de ciencias naturales y matemática (un hecho común a toda la región). Más aun, existe una amplia disparidad institucional: es un hecho conocido que los institutos de formación docente varían mucho en cuanto a la calidad de sus egresados, y las áreas de ciencias no son una excepción a esta regla.

Decíamos que para aprender a pescar hacen falta, además de peces, elementos tales como redes y anzuelos. Para enseñar ciencias desde una perspectiva netamente experimental hacen falta insumos para realizar los experimentos, otra necesidad que en toda la región demuestra oleadas de inversión alternadas con otras de pobreza, en la que los únicos experimentos posibles ocurren en el espacio entre las dos orejas de los docentes y de los alumnos.

Pero no solo de diagnósticos y quejas viven las comisiones. El objetivo principal era acordar una serie de recomendaciones para el mejoramiento de la enseñanza de las ciencias, y vale la pena trazar aquí un resumen de lo propuesto. Las recomendaciones están divididas en secciones, como las referidas a la formación inicial, a la formación continua y el desarrollo profesional, a los contenidos y métodos de enseñanza, los equipamientos y los recursos didácticos, la articulación con el sistema de investigación en ciencia y tecnología, las actividades de divulgación científica y, por supuesto, la provisión de fondos específicamente para el área:<sup>60</sup>

### ***Recomendación 1***

Se recomienda fortalecer los Institutos de Formación Docente (IFD) a partir del desarrollo de sus proyectos institucionales y la dotación de recursos didácticos, pedagógicos y tecnológicos que permitan mejorar la enseñanza de las ciencias y la matemática.

### ***Acciones sugeridas***

**1.1. *Financiamiento de proyectos institucionales de mejora.*** Promover, evaluar y financiar proyectos institucionales de mejora para los IFD que permitan abordar las distin-

60 El documento completo puede consultarse en [http://www.me.gov.ar/doc\\_pdf/doc\\_comision.pdf](http://www.me.gov.ar/doc_pdf/doc_comision.pdf) o [http://www.oei.es/salactsi/mej\\_de\\_la\\_ense.pdf](http://www.oei.es/salactsi/mej_de_la_ense.pdf)

tas problemáticas desarrolladas en el diagnóstico. El MECyT deberá considerar la provisión de asistencia técnica para la elaboración de proyectos, el apoyo y acompañamiento en la implementación, y el seguimiento de los resultados.

**1.2. Fortalecimiento de institutos como “centros de referencia”.** Constituir determinados IFD en centros de referencia para el resto de los institutos de su jurisdicción. Entre sus funciones tendrán la formación de docentes de calidad en las disciplinas científicas, la inclusión de modelos de residencia pedagógica adecuados a las disciplinas, la realización y difusión de investigaciones de campo centradas en las escuelas, acciones de articulación con las escuelas receptoras de residentes y vínculos con las universidades. La identificación de dichos institutos deberá favorecer una adecuada distribución territorial.

### ***Recomendación 2***

Se recomienda que las distintas jurisdicciones apoyen la formación profesional y la especialización de los docentes en ejercicio y de los formadores de formadores de manera de contribuir al mejoramiento de la enseñanza de las ciencias y la matemática.

### ***Acciones sugeridas***

**2.1. Promoción de estudios de posgrado y especializaciones.** Ofrecer becas de formación para docentes en ejercicio y para formadores de formadores, en universidades e instituciones académicas y de investigación seleccionadas para tal fin.

**2.2. Diseño de acciones de desarrollo profesional que impacten en la calidad y efectividad de la formación,** considerando criterios como: la incorporación de metodologías y recursos de enseñanza que incluyan procesos de experimentación, la ampliación y profundización de conocimientos en las respectivas disciplinas, la inclusión de variables identificadas como buenas prácticas para distintos contextos escolares y la adopción de modelos de capacitación “en servicio”, entre otras cuestiones.

### ***Recomendación 3***

Se recomiendan la revisión y actualización permanente de los contenidos y los métodos de enseñanza de manera que el tratamiento de temáticas socialmente significativas y con validez científica resulte convocante para los alumnos y alumnas y favorezca mejores aprendizajes.

### ***Acciones sugeridas***

**3.1. Presencia efectiva de las ciencias naturales desde los primeros años del nivel primario.** Asegurar una adecuada carga horaria destinada efectivamente a la enseñanza de las ciencias naturales desde los primeros años del nivel primario.

**3.2. Fortalecimiento de la autonomía de los docentes y promoción de espacios colectivos de trabajo.** Habilitar a los docentes a ejercer la autonomía suficiente para decidir colectivamente en las respectivas instituciones acerca de la selección, recorte, combinación y adecuación de los contenidos curriculares, de manera de priorizar las cuestiones más potentes para que los alumnos comprendan aspectos esenciales de cada una de las disciplinas.

**3.3. Ejercicio de la Comisión de Renovación Curricular.** Promover la constitución de la Comisión creada por la nueva Ley de Educación Nacional para la renovación y actualización de los contenidos curriculares, priorizando el trabajo sobre los contenidos correspondientes a las ciencias y la matemática.

**3.4. Creación de un observatorio de enseñanza de las ciencias naturales y la matemática.** Monitorear los procesos de enseñanza y aprendizaje de las ciencias y la matemática en todos los niveles del sistema, para permitir la continuidad en la implementación de las medidas aquí propuestas.

**3.5. Promover y fortalecer espacios de investigación en educación en ciencias naturales y matemática** de modo que incida en la mejora de la enseñanza y aprendizaje de las disciplinas.

### ***Recomendación 4***

Se recomienda que el énfasis en el método experimental para la enseñanza de las disciplinas científicas, tanto en el nivel primario y secundario como en la formación docente, sea apoyado garantizando un adecuado equipamiento a todas las instituciones educativas.

### ***Acciones sugeridas***

**4.1. Equipamiento de laboratorios en las instituciones educativas.** Diseñar un programa de construcción y equipamiento de laboratorios de ciencias en las instituciones, financiado y guiado por el MECyT, que dé prioridad a aquellas que atienden alumnos de



sectores más vulnerables, y asegurar la incorporación de prácticas de enseñanza adecuadas en todos los niveles.

**4.2. Diseño y elaboración de material didáctico.** Promover la elaboración de material didáctico entre instituciones de educación formal y no formal (escuelas de educación técnica, museos de ciencias, otras instituciones) para la enseñanza de las ciencias como señal del marco epistemológico que el MECyT quiere encarar para su mejoramiento.

**4.3. Los trabajos prácticos y la formación docente.** La selección de instituciones para el desarrollo de estudios de posgrado y especializaciones, mencionados en el punto 2.1 de las recomendaciones de este informe, priorizará aquellas que ofrezcan trabajos prácticos y de campo en sus cursos y materias.

#### **Recomendación 5**

Se recomienda que las autoridades educativas generen iniciativas que aseguren la calidad de los libros de texto existentes en el sistema.

#### **Acciones sugeridas**

**5.1. Creación de un comité de análisis y recomendación de libros de texto.** Convocar un equipo de especialistas (incluyendo científicos, especialistas en enseñanza de las ciencias y docentes) para el análisis de la situación actual de los libros de texto con el objetivo de elaborar y difundir recomendaciones, tanto en relación con su disponibilidad como con su utilización en las instituciones educativas.

**5.2. Publicación de libros de texto.** Elaborar nuevos libros de texto desde el MECyT sobre la base de las recomendaciones producidas por la Comisión sugerida en el punto anterior, destinados tanto a escuelas de nivel primario y secundario como a IFD, en las áreas de matemática y ciencias naturales. Distribuir y promover su uso.

#### **Recomendación 6**

Se recomienda la promoción de actividades que integren el trabajo en las escuelas de nivel primario y secundario, y el trabajo de los científicos.

#### **Acciones sugeridas**

**6.1. Actividades en escuelas de nivel primario y secundario como parte de la carrera del becario o el investigador.** *Visitas periódicas de becarios e investigadores jóvenes*

a escuelas primarias y secundarias locales a través de charlas de becarios en el aula y participación activa de becarios en el diseño, realización y seguimiento de una experiencia científica concreta, de manera conjunta con el docente. *Visitas periódicas de alumnos a laboratorios*: con el objetivo de contribuir al intercambio, se propone la visita de alumnos y docentes a laboratorios de instituciones de educación superior. (Ver capítulo 3 para un detalle y expansión de esta propuesta).

**6.2. Convocar a investigadores en ciencias y en enseñanza de las ciencias y de las matemáticas para oficial de consultores/lasesores en enseñanza de las ciencias** en los establecimientos educativos de nivel primario y secundario.

### **Recomendación 7**

Se recomienda valorizar la enseñanza de las disciplinas científicas a través de acciones de difusión y la divulgación del conocimiento científico.

#### **Acciones sugeridas**

**7.1. Periodismo científico.** Fomentar la aparición de *nuevos medios dedicados a la divulgación científica*, en particular aquellos destinados a lectores en edad escolar y docentes en formación y en ejercicio; contemplar la llegada a las escuelas de un *compilado periódico de noticias científicas*; y fomentar la realización de más ciclos de ciencia desde el *medio televisivo* y la apropiación de estos por parte de los docentes de ciencias y sus alumnos.

**7.2. Libros de divulgación científica.** Promover la aparición de *nuevos textos y colecciones de divulgación científica de elaboración local*, y distribuir una selección de calidad en forma masiva en las bibliotecas escolares. Diseñar un *concurso nacional de textos de divulgación científica* para docentes de ciencias.

**7.3. Publicidad científica.** Realizar una fuerte campaña de publicidad de la ciencia, de sus ventajas, de sus realidades, de sus oportunidades laborales y la fascinación del descubrimiento como modo de vida, mostrando otros aspectos de la ciencia que aquellos arquetípicos.

**7.4. Designación del “Año de la Enseñanza de las Ciencias”.** Declarar el año 2009 como Año de la Enseñanza de las Ciencias, con el fin de aunar esfuerzos que fomenten la realización de diversos eventos científicos y de divulgación.<sup>61</sup>

**7.5. Institucionalización de las políticas de divulgación científica.** Crear un programa nacional de divulgación científica, de carácter interministerial, para promover la realización, coordinación e integración de actividades de divulgación científica a nivel nacional tendientes a la alfabetización científica de la población en general.

### **Recomendación 8**

Se recomienda la promoción de iniciativas extracurriculares que logren atraer a los alumnos hacia el mundo de las ciencias y la matemática.

### **Acciones sugeridas**

**8.1. Realización de olimpiadas y ferias de ciencias.** Promover estas iniciativas en tanto actividades que contribuyen a que niños, niñas y jóvenes adquieran gusto y entusiasmo por estas disciplinas, así como a la formación continua de los docentes.

**8.2. Museos de ciencias.** Implementar acciones que promuevan a los museos de ciencias como un instrumento para el mejoramiento de la enseñanza de las ciencias y la matemática.

**8.3. Campamentos y clubes de ciencias.** Promover otras iniciativas como los campamentos científicos, la realización de prácticas de laboratorio por parte de los estudiantes de nivel medio en centros de investigación, y los clubes de ciencias.

### **Recomendación 9**

Se recomienda prever la disposición de recursos financieros en forma prioritaria, continua y sostenida en el tiempo, que asegure el cumplimiento de las metas establecidas por la Comisión, a través de los mecanismos que se consideren más adecuados.

### **Acciones sugeridas**

Considerar una partida presupuestaria específica para el mejoramiento de la enseñanza de las ciencias y la matemática, dados los altos costos involucrados en algunas de las acciones aquí sugeridas.

<sup>61</sup> Esto constituye uno de esos milagros a los que no estamos acostumbrados. En una de las reuniones de la Comisión surgió la propuesta del "Año de la enseñanza de las ciencias" y todos pensamos que era una loca idea tirada casi al azar entre un café y una masita. Lo cierto es que todos nos sorprendimos cuando, poco después, se anunció que efectivamente, 2008 sería tal año para la República Argentina, con todas sus consecuencias fácticas y simbólicas.

#### IV Un Ministerio que da consejos...

Hasta aquí las propuestas y recomendaciones, que es útil volcar en este documento, ya que constituyen el fruto de un trabajo en común entre científicos y educadores. Seguramente solo algunas verán la luz en el futuro próximo, pero serán muy bienvenidas y, tal vez, imitadas en otros países de la región, para acompañar lo que ya se está haciendo o planeando. Un futuro sin ciencias, y sin que se pueda disfrutar ampliamente de la enseñanza de las ciencias en todos los niveles, no es un futuro.



---

## *Finale con ciencia*

Decíamos entonces que las preguntas son fundamentales en la enseñanza de las ciencias. Una de las más temidas en el aula es el famoso “¿y con eso qué?” o “¿para qué sirve esto, profe?”. Obviamente, la respuesta de que “los va a hacer mejores personas” no suele ser de lo más satisfactoria, y muchas veces echamos mano del consabido “lo vamos a ver más adelante”.<sup>62</sup> Y el más adelante, sabemos, no llega nunca.

Por otro lado, la mayoría de las preguntas que introducimos en el aula son aquellas que nuestros estudiantes no se han hecho ni se harían jamás, por lo que es complicado generar un interés genuino en su resolución.

Volvamos al concepto de enseñar ciencias como una preparación para instancias superiores. En términos de paradigmas científicos, estaríamos preparando a nuestros alumnos para la llamada “ciencia normal”, o sea, los conceptos establecidos en las diversas disciplinas para la época y coyuntura específica. Así, nos quedaríamos con una ínfima proporción de estudiantes a los cuales estaría realmente dedicada esta educación científica. Obviamente, entonces, el diseño del currículo en ciencias debe basarse en otras necesidades y otros públicos más amplios.

El asunto de por qué y para qué enseñar ciencias en la escuela es relevante desde muchos puntos de vista.<sup>63</sup> Entre otras cosas, nos lleva directamente a la cuestión de los contenidos

<sup>62</sup> Tal vez ese más adelante se refiera a la etapa universitaria, como afirman Furió, C., Vilches, A., Guisasola, J. y Romo, V. “Finalidades de la enseñanza de las ciencias en la secundaria obligatoria. ¿Alfabetización científica o preparación propedéutica?”. *Enseñanza de las Ciencias*, 19 (3), 365-376, 2001. Pero eso, claro, excluye a una buena proporción de estudiantes y, sobre todo, no satisface el objetivo principal de la enseñanza de las ciencias.

<sup>63</sup> Acevedo Díaz, J. A. “Reflexiones sobre las finalidades de la enseñanza de las ciencias: educación científica para la ciudadanía”. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 1: 3-16, 2004.

y los métodos y, por supuesto, a quién debe decidir qué es lo relevante para la ciencia escolar. De nuevo, muy diferente será el considerar una finalidad propedéutica, que implicará recortes disciplinarios específicos en la preparación para los estudios superiores, que una alfabetizadora y decididamente más universal. En este sentido pueden pensarse múltiples finalidades posibles de la enseñanza de las ciencias, con objetivos dispares que sin duda llevan a prácticas completamente diferentes.<sup>64</sup>

1. Ciencia para proseguir estudios científicos.
2. Ciencia para tomar decisiones en los asuntos científico-tecnológicos.
3. Ciencia para trabajar en las empresas.
4. Ciencia para seducir al alumnado (más relacionado con divulgación que con educación en ciencias).
5. Ciencia útil para la vida cotidiana.
6. Ciencia para satisfacer la curiosidad.
7. Ciencia como cultura.

En términos simplistas, esta multiplicidad de objetivos podría dividirse en dos grandes familias: enseñar ciencias para algo concreto (en términos laborales o de estudios superiores) o enseñar ciencias porque sí (una manera un tanto irónica de decir que el proceso es válido en sí mismo, y que la función alfabetizadora cubre horizontes más amplios y hasta inexplorados).

La historia del concepto de “alfabetización científica” (*scientific literacy*) tal vez se remonte a cierta época a mediados del siglo xx cuando los Estados Unidos vieron zozobrar su supremacía en el área de la ciencia y la tecnología (el bombazo que representó la puesta en órbita del Sputnik por parte de la Unión Soviética fue muy fuerte, y tuvo amplias consecuencias en la sociedad norteamericana). Uno de los subproductos de este cambio cultural fue el derrame que tuvo sobre las actividades de educación y difusión de las ciencias: si queremos ganarles a los rojos, decían, habrá que empezar por el principio: educar a la población en principios científicos que luego se traduzcan en logros

<sup>64</sup> Aikenhead, G. S. “Review of Research on Humanistic Perspectives in Science Curricula”, 2003. [http://www.usask.ca/education/people/aikenhead/ESERA\\_2\\_2.pdf](http://www.usask.ca/education/people/aikenhead/ESERA_2_2.pdf).

tecnológicos concretos.<sup>65</sup> Si la educación del siglo XIX se centró en una alfabetización a secas, la del siglo XX (sobre todo a partir de su segunda mitad) puso un mayor énfasis en la formación de una ciudadanía responsable y preparada para afrontar los cambios culturales, científicos y tecnológicos en marcha (de ahí a que lo haya logrado hay un largo trecho).<sup>66</sup>

Entonces, si la finalidad de la ciencia en la escuela es formar ese tipo de ciudadanos, esto conlleva un cambio radical en los contenidos y métodos de enseñanza, que incorporen muchos de los conceptos vertidos en este documento (y, por supuesto, en numerosos artículos y libros sobre el tema). El problema, nuevamente, es el abismo entre las buenas intenciones y las realidades del aula, que mantienen la tradición enciclopédica de que, pese a lo que podría considerarse en forma intuitiva, es relativamente más sencillo para el docente que el hecho de abrir el juego y entregarse a la búsqueda del conocimiento científico junto con los alumnos.

Si la función propedéutica de la ciencia escolar deja afuera a casi todos los alumnos "normales", lo bueno del enfoque alfabetizador es que es absolutamente inclusivo, lo que comprende además a los futuros aprendices de científicos, tan ciudadanos como el que más. Asimismo, no debe olvidarse que la alfabetización científica no se agota en la escuela, ni mucho menos, sino que incluye la educación no formal, la educación continua y, sobre todo, los diferentes modos de comunicación pública de la ciencia.<sup>67</sup>

Dentro de este esquema, la presentación de la ciencia dentro de un contexto social (como pretende el enfoque "ciencia, tecnología y sociedad") resulta fundamental para una comprensión cabal de sus alcances y límites. De este modo, entender las relaciones sociales de la actividad científica y tecnológica, así como la ya descrita "naturaleza de la ciencia", estará a la par del aprendizaje de los contenidos básicos del área.

De cualquier manera, y como reflexión final, fomentar la enseñanza de las ciencias en todos los niveles educativos es imaginar un futuro. Como sugieren Millar y Osborne,<sup>68</sup> las cuatro preguntas principales de la educación científica actual, pero con una mirada hacia delante, son las siguientes:

<sup>65</sup> Bybee, R. W. *Achieving scientific literacy: From purposes to practices*. Portsmouth, Heinemann, 1997.

<sup>66</sup> Fourez, G. "Scientific and Technological Literacy". *Social Studies of Science* 27, 903-936, 1997.

<sup>67</sup> Ver <http://folk.uio.no/sveinsj/Literacy.html> y [http://folk.uio.no/sveinsj/STE\\_paper\\_Sjoberg\\_UNESCO2.htm](http://folk.uio.no/sveinsj/STE_paper_Sjoberg_UNESCO2.htm)

<sup>68</sup> Millar, R. y Osborne, J. F. *Beyond 2000: Science Education for the Future*. Londres, King's College, 1998.

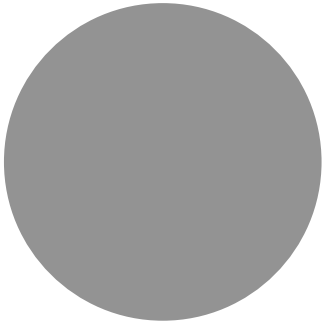
1. ¿Cuáles son los éxitos y fracasos de la educación en ciencias actualmente?
2. ¿Qué tipo de educación científica necesitan los jóvenes de hoy en día?
3. ¿Cuáles serían el contenido y la estructura de un modelo adecuado y factible para el currículo de ciencias para todos los jóvenes?
4. ¿Qué problemas traería la implementación de tal currículo, y cómo se resolverían?

En el fondo, la discusión apunta a la disparidad entre los contenidos actuales, los intereses de los alumnos y las necesidades reales de los Estados y las diversas regiones del mundo. Los asuntos científicos y tecnológicos, como hemos visto, cobran una importancia creciente en nuestra vida cotidiana, y demandan una población con la preparación suficiente como para entender de qué tratan los debates contemporáneos; no solo eso: también deben tomar cartas en el asunto. Más allá de las herramientas de formación continua y de las estrategias de comunicación pública de la ciencia que (sanamente) se adopten, lo cierto es que todo comienza en el aula –y, en nuestro caso, en el aula de ciencias, que debiera ser cuna de preguntas y pasiones–. La falta de introducción de una agenda científica en el aula no se puede compensar con ninguna actividad o iniciativa posterior; la ventana de la curiosidad se cierra más temprano que tarde.

Tal vez en nuestros países esta necesidad sea aun más acuciante debido al relativo retraso que existe en el área: la enseñanza de las ciencias solía (¿suele?) ser relegada a un segundo plano, tanto por docentes y directivos como por alumnos. Más allá de la necesidad imperiosa de *hacer ciencia* en la escuela, el fantasma de los requerimientos tecnológicos inalcanzables para este fin puede eliminarse fácilmente, dado que lo que se requiere es un cambio completo en el enfoque de la enseñanza, más allá de la sana revisión de contenidos o de la necesaria renovación de material educativo. En este sentido, la vieja y nunca bien ponderada germinación del poroto –acaso la única experiencia científica que se realizaba en niveles educativos básicos durante mucho tiempo– puede ser rescatada si se logra mirar con nuevos ojos, inquisidores y curiosos. No invertir en la enseñanza de las ciencias equivale a invertir en la pobreza intelectual y material, y es un lujo que no podemos darnos.

La ciencia es un arma cargada de futuro.





---

## Apéndice: desfile de modelos

En esta sección presentamos algunos ejemplos de estrategias implementadas para la enseñanza de las ciencias, que siguen algunos de los preceptos comentados en este documento. La lista es obviamente muy breve, y solo presenta algunos casos dentro de un universo de experiencias que vale la pena conocer antes de implementar un camino propio.

**“La main à la pâte” (“La mano en la masa”) - <http://www.lamap.org/>**

De la mano del premio Nobel Georges Charpak, este programa se inició en 1996 coordinado por la Academia Francesa de Ciencias, con el apoyo del Instituto Nacional de Investigación Pedagógica y la École Normale Supérieure (París), en conjunto con el Ministerio de Educación de Francia. Este programa nacional (al que desde un comienzo han adherido otros notables investigadores franceses como Pierre Lena e Yves Quéré) persigue desarrollar la educación científica y tecnológica en la escuela primaria y hasta el jardín de infantes. La idea es implementar el aprendizaje por investigación e indagación desde el comienzo mismo de la escolaridad, aprovechando la curiosidad y creatividad de los niños y fomentando una actitud crítica frente al mundo. El éxito del programa se mide no solo en sus logros locales sino también en su exportación a otros países en todo el mundo. Es un programa completo, que sugiere tareas para el aula, organiza talleres para docentes, publica documentos y libros, implementa proyectos de colaboración, etcétera.

**Proyecto de Alfabetización Científica - <http://redteleform.me.gov.ar/pac>**

Es una versión local del programa francés “La mano en la masa”, y está dirigido específicamente a la enseñanza de la ciencia en la educación básica. El objetivo es muy amplio:

promover, valorar y divulgar la ciencia y la tecnología, así como mejorar la educación científica en todos los niveles y modalidades para contribuir a la formación de ciudadanos alfabetizados científicamente y despertar vocaciones científicas. Pero yendo a lo concreto, la idea central es transformar las escuelas primarias en centros de promoción, divulgación y valoración de la ciencia, y así recuperar su potencial educativo. Se ha implementado en forma muy exitosa en las provincias de Corrientes y Chaco.

Existen variaciones de "La mano en la masa" en varios países latinoamericanos, incluyendo el programa "Pequeños científicos", en Colombia. (<http://pequenoscientificos.uniandes.edu.co/>), "A mão na massa" en Brasil ([educar.sc.usp.br/mm](http://educar.sc.usp.br/mm)) y el programa ECBI en Chile ([www.ecbichile.cl](http://www.ecbichile.cl)).

#### **"La ciencia en tu escuela" - <http://www.lacienciaentuescuela.amc.edu.mx/>**

Se trata de un programa de la Academia Mexicana de Ciencias (con el apoyo de la Secretaría de Educación Pública) que tiende a mejorar la actitud de los profesores de educación básica y media hacia las matemáticas y las ciencias, así como la actualización de los conocimientos en estas disciplinas. También implica vincular científicos y estudiantes de ciencias con docentes, dado que realizan su trabajo social directamente en las escuelas. Entre sus acciones hay estudios de posgrado, conferencias y materiales de estudio sobre contenidos actualizados de ciencias y matemática.

#### **Aprendizaje basado en problemas - <http://www.udel.edu/pbl/>**

Es un programa de la Universidad de Delaware (Estados Unidos) que propone diversos métodos para la enseñanza de las ciencias basada en la resolución de problemas "de la vida real". Sus autores sugieren que el método desarrolla el pensamiento crítico y analítico, y les permite aprovechar en forma óptima los recursos educativos a su alcance.

#### **Proyecto Galileo (Harvard University) - <http://galileo.harvard.edu/>**

Es un proyecto de investigación sobre la educación en ciencias, particularmente en el área de la física, en el que se insertan diversos científicos incluyendo al grupo de Eric Mazur, de Harvard. Si bien en este momento se ha convertido, en parte, en una iniciativa comercial (venden material educativo, incluyendo DVDs), las bases del proyecto son las de un aprendizaje guiado por colegas y por expertos, así como la participación activa de los estudiantes en la clase de ciencias.

## **Proyecto Scale-Up - [www.ncsu.edu/per/scaleup.html](http://www.ncsu.edu/per/scaleup.html)**

El nombre viene de la sigla (en inglés) de “actividades centradas en el estudiante en clases numerosas”. Si bien se refiere principalmente a estudios universitarios en ciencias, propone una serie de técnicas y estrategias educativas para la enseñanza de las ciencias en cursos numerosos (más de 100 alumnos) de cualquier nivel. Propone fomentar el trabajo colaborativo entre los estudiantes, con uso de computadoras y experiencias de laboratorio.

## **Aprendizaje por casos**

[www.bioquest.org/lifelines/](http://www.bioquest.org/lifelines/)

<http://ublib.buffalo.edu/libraries/projects/cases.case.html>

<http://www.educared.org.ar/enfoco/lapuntadelovillo/>

<http://brighamrad.harvard.edu/education/online/tcd/tcd.html>

Estos sitios proponen una serie de casos para ser utilizados en el aula de ciencia en diversos niveles educativos. Los estudiantes resuelven situaciones realistas (si bien complejas) aplicando el conocimiento adquirido de manera creativa y hasta lúdica. En muchos ejemplos los casos se basan en situaciones directamente relacionadas con historias reales de investigación científica.

## **Aprendizaje por indagación**

[www.plantpath.wisc.edu/fac/joh/bbtl.htm](http://www.plantpath.wisc.edu/fac/joh/bbtl.htm)

[www.bioquest.org/](http://www.bioquest.org/)

<http://campus.murraystate.edu/academic/faculty/terry.derting/ccli/cclihomepage.html>

[www.dnai.org](http://www.dnai.org)

Estos sitios proveen algunos ejemplos especialmente útiles para el aprendizaje por indagación en el aula, con temáticas concretas que van de la física a la biología molecular.

## **The Teacher Scientist Network (La red de docentes-científicos)**

<http://www.tsn.org.uk>

Es una iniciativa local del área de Norfolk en el Reino Unido, que busca asociar a docentes con científicos de manera de facilitar una enseñanza de la ciencia con contenidos

actualizados y relevantes. De paso, postulan que con esto se abandona el estereotipo del científico excéntrico, y logran una buena interacción con el alumnado. Los científicos visitan la escuela periódicamente y colaboran en el desarrollo de investigaciones escolares.

**Instituto Docente del Exploratorium - <http://www.exploratorium.edu/ti/>**

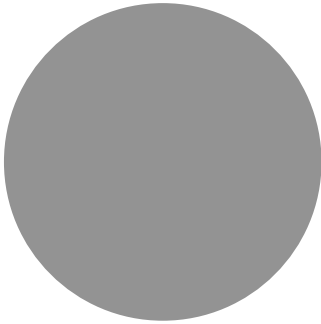
El Exploratorium de San Francisco es posiblemente el pionero en cuanto a museología interactiva en ciencias, y es un ejemplo de enseñanza informal que ha sido copiado hasta el hartazgo en diversos países (con total anuencia de la institución, ya que publica el “receptor” para repetir las diversas exhibiciones y módulos). Desde hace más de veinte años el museo tiene un instituto asociado en el que se dictan cursos y diseñan experiencias para el uso de docentes de ciencias de nivel primario y secundario. Las actividades están basadas en la experimentación permanente y la construcción de modelos y un enfoque puramente práctico. Entre otros eventos, realizan una escuela de verano que ya es un clásico, y para la cual incluso ofrecen becas a los docentes interesados.

**Algunas revistas (en español) sobre enseñanza de las ciencias:**

*Enseñanza de las Ciencias* - [ensciencias.uab.es/](http://ensciencias.uab.es/)

*Revista Electrónica sobre Enseñanza de las Ciencias* - [saum.uvigo.es/reec/](http://saum.uvigo.es/reec/)

*Revista Eureka de Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* - [www.apac-eureka.org/revista/](http://www.apac-eureka.org/revista/)



---

## Bibliografía

- Aguilar, T. *Alfabetización científica y educación para la ciudadanía*. Madrid, Narcea, 1999.
- Carlino, P. *Escribir, leer y aprender en la universidad*. Buenos Aires, Fondo de Cultura Económica, 2005.
- Carretero, M. *Construir y enseñar las ciencias experimentales*. Buenos Aires, Aique, 1997.
- Comisión Nacional para el Mejoramiento de la Enseñanza de las Ciencias. Informe Final. Ministerio de Educación, 2007.
- De la Herrán, J. *Física y música*. México, ADN Editores, 2007.
- Fourez, G. *Alfabetización científica y tecnológica*. Buenos Aires, Colihue, 1997.
- Fumagalli, L. *El desafío de enseñar ciencias naturales*. Buenos Aires, Troquel, 1993.
- Furman, M. y Zysman, A. *Ciencias naturales: aprender a investigar en la escuela*. Buenos Aires, Novedades Educativas, 2001.
- García, H. y García, L. *La química en el arte*. México, ADN, 2007.
- Gellon, G., Rosenvasser Feher, E., Furman, M. y Golombek, D. A. *La ciencia en el aula: lo que nos dice la ciencia sobre cómo enseñarla*. Buenos Aires, Paidós, 2005.
- González Casanova, P. y Roitman Rosenmann, M. *La formación de conceptos en ciencias y humanidades*. México, Siglo XXI, 2006.
- Handelsman, J., Houser, B. y Kriegel, H. *Biology Brought to Life: A Guide to Teaching Students to Think Like Scientists*. Nueva York, McGraw-Hill, 2002.
- Harcombe, E. S. *Science Teaching/Science Learning*. Nueva York, Teachers College Press, 2001.
- Jacquard, A. *La ciencia para no científicos*. México, Siglo XXI Editores, 2005.
- Levinas, M. L. *Ciencia con creatividad*. Buenos Aires, Aique, 2007.
- Lightman, A. *The discoveries*. Nueva York, Vintage Books, 2005.
- Litwin, E. *Tecnología educativa*. Buenos Aires, Paidós, 1995.

Mancuso, R. *Clubes de ciencias*. Porto Alegre, CECIRS, 1996.

Millar, R. y Osborne, J. F. *Beyond 2000: Science Education for the Future*. Londres, King's College, 1998.

Minnock Santa, C. y Alvermann, D. *Una didáctica de las ciencias. Procesos y aplicaciones*. Buenos Aires, Aique, 1994.

OCDE. PISA 2006, Marco de la Evaluación. España, Santillana, 2007.

Pozo, J. I. y Gómez Crespo, M. A. *Aprender y enseñar ciencia*. Madrid, Ediciones Morata, 1998.

Rela, A. *Física y artefactos domésticos*. Buenos Aires, Ed. Angström, 1994.

Wagensberg, J. *El gozo intelectual*. Barcelona, Tusquets, 2007.