



Didáctica de las ciencias con conciencia¹

Conscious Science Education

Rafael Porlán Ariza

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales, Universidad de Sevilla, España
rporlan@us.es

RESUMEN • En este artículo se hace un balance de los logros del pasado y los retos del futuro en el campo de la Didáctica de las Ciencias. Se aporta una visión de los consensos más importantes alcanzados por la comunidad investigadora y se sintetizan algunos elementos esenciales del paradigma emergente de la enseñanza de las ciencias coherentes con ellos (fines, fundamentos teóricos y prescripciones curriculares). Por último se analizan las dificultades para el cambio y se presentan propuestas para dinamizarlo desde una perspectiva científica, pero también ética y sociopolítica.

PALABRAS CLAVE: Didáctica de las Ciencias; Enseñanza de las ciencias; Investigación; Cambio; Obstáculos.

ABSTRACT • This paper evaluates the past achievements and future challenges on the field of Science Education. It tries to offer a panorama of the most important consensus achieved by the research community and it synthesizes some essential elements of the paradigm emerging from science teaching in line with them (goals, theoretical foundations and curriculum prescriptions). Lastly, it analyzes the difficulties to face change and it submits proposals in order to invigorate it from a scientific perspective, as well as from an ethic and sociopolitical point of view.

KEYWORDS: Science Education; Science teaching; Inquiry; Change; Obstacles.

1. El contenido del artículo coincide con la conferencia inaugural titulada *La investigación en didáctica de las ciencias y compromiso con el cambio educativo y social*, presentada por el Dr. Rafael Porlán Ariza en el X Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias que tuvo lugar en Sevilla en septiembre de 2017.

Recepción: septiembre 2018 • Aceptación: septiembre 2018 • Publicación: noviembre 2018

Porlán Ariza, R. (2018). Didáctica de las ciencias con conciencia. *Enseñanza de las ciencias*, 36(3), 5-22.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo se basa en la conferencia que impartí en el X Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias bajo el lema *Logros del pasado y retos del futuro*. Este propósito central está presente en esta versión escrita, de manera que el lector encontrará dos partes diferenciadas. Una primera, en la que se analizan los consensos que considero más importantes en relación con el *ser* y el *deber ser* de la enseñanza de las ciencias (Gil, Carrascosa & Martínez, 2000; Porlán, 1998). Y una segunda, en la que se profundiza en el dilema de por qué estos consensos no permean en la práctica y no tienen un mayor efecto transformador, y en la que defiendo que algunas de las razones que explican la separación entre investigación y acción docente tienen que ver con el papel que el subsistema escolar tiene en el sistema económico y social. De ahí el título del artículo, que anticipa una posición sobre el problema del cambio en la enseñanza de las ciencias, en el sentido de que es indisoluble de un compromiso con otros cambios paralelos: el de la educación y el del modelo socioambiental dominante (Gilbert, 2016; Zeichner, 1995). Parfraseando a Morin (1984), se plantea la necesidad de una *Didáctica de las ciencias con conciencia*, pues, a mi entender, la pregunta más relevante de nuestra tarea es: *¿Por qué y para qué hacemos lo que hacemos?*

Por otro lado, la reflexión que se presenta no parte de la división tradicional entre los niveles universitario y no universitario. En los últimos años he coordinado el Programa de Formación e Innovación Docente del Profesorado de la Universidad de Sevilla (FIDOP) (Porlán, 2017) y he tomado mayor conciencia de la importancia que la universidad tiene en el subsistema educativo. Por la universidad pasan todos los futuros docentes, y tengan o no formación específica como tales (los docentes universitarios no la tienen, lo que informa sobre el modelo educativo dominante), habrán vivido y reforzado el modelo transmisivo y tradicional durante las clases. Y aunque esto ocurre también en las demás etapas educativas, dada la imagen de la Universidad como lugar donde debe primar el rigor científico, esta institución tiene una gran responsabilidad en la reproducción de dicho modelo. Por tanto, al leer este texto no pensemos solo en los niveles no universitarios (como suele ser habitual) y tengamos también presente la educación superior.

Un apunte sobre la dualidad docencia e investigación. En la Red de Investigación y Renovación Escolar (IRES) a la que pertenezco (Grupo Investigación en la Escuela, 1991) es obligado que nuestras clases sean un lugar privilegiado de experimentación de las hipótesis didácticas que proponemos. Por un principio ético no queremos desdoblarnos en dos roles *incomunicados* y hacemos nuestro el modelo, tantas veces defendido, del *docente investigador* (Roth, 2007) o, en su versión universitaria, del *Scholarship of Teaching and Learning* (SoTL) (Felten y Chick, 2018). Por tanto, es deseable que el lector se sitúe ante el artículo no solo como investigador, sino también como docente (y como ciudadano), pues analizando lo que hacemos en las clases conectaremos con el sentido último de este escrito.

LO QUE SABEMOS EN EL ÁMBITO DE LA DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS

La investigación en Didáctica de las Ciencias, como toda investigación, se basa en la selección de problemas relevantes. Cuando digo problemas quiero decir variables del proceso de enseñanza-aprendizaje. Desde la tradición francesa se ha venido utilizando el concepto de *sistema didáctico* para describir las variables esenciales de dicho proceso y sus interacciones (Chevallard, 1985). En cualquier contexto de educación científica siempre habrá unas personas que tratan de aprender, otras que tratan de enseñar, un currículum vinculado a las ciencias y diversas interacciones entre estos tres vértices de un triángulo imaginario. Todo ello en contextos micro (aula), meso (institución y contexto próximo) y macro (subsistema educativo y sistema social) también en interacción. Este sencillo esquema nos permite situar cualquier investigación sin perder de vista el conjunto, algo muy necesario para evitar confundir la

parte con el *todo*. Pues bien, seguiré aquí esta lógica para sintetizar algunos logros y consensos relevantes de la investigación.

Sobre las personas que tratan de aprender

Quizá la afirmación coloquial que mejor resume este apartado es que los *estudiantes tienen ideas* y que dichas ideas tienen enorme interés desde el punto de vista didáctico. En términos académicos podemos decir que hoy reconocemos que son *sujetos epistémicos*, es decir, portadores de significados y capaces de reelaborarlos en las situaciones adecuadas. Esto es de vital importancia, pues cuestiona una de las teorías implícitas que fundamenta el modelo transmisivo: se enseña (o forma) *como si la mente del que aprende fuera un vaso vacío que hay que rellenar*. Para muchos, esta ha sido la primera línea de investigación potente de nuestra área y marcó su comienzo como disciplina emergente (Driver & Easley, 1978; Giordan, 1978). Pero también son portadores de intereses, necesidades y emociones vinculadas a la experiencia vivida, a la cultura de edad y a la de pertenencia, que constituyen su identidad como sujetos, formando todo ello un conjunto de variables que condicionan de manera determinante el proceso de aprendizaje (Pérez & De Pro, 2013).

Por tanto, sabemos que el modelo transmisivo de enseñanza de las ciencias funciona como si las personas que tratan de aprender no fueran sujetos epistémicos, sino *objetos receptores de significados externos*, de manera que los y las aprendices tratan de integrar en su mente dichos significados no tanto porque les encuentren sentido o les cuestionen sus creencias o les ayuden a resolver problemas novedosos, sino porque son *dados* en el marco de una estructura de poder basada, entre otros, en un mecanismo calificadorio y sancionador. Esta forma de hacer, lejos de alfabetizar y educar, provoca un proceso de alienación y sumisión por el cual la mayoría de los que aprenden se asumen como *ignorantes* frente a un saber externo que solo cobra valor por su utilidad para sobrevivir con éxito en el sistema y no por su mejor capacidad para explicar el mundo.

Al mismo tiempo, también sabemos que las representaciones de los estudiantes, y de una parte importante de la ciudadanía, están influidas por una visión simplificadora, estereotipada y mítica del mundo, propia de la *cultura de la superficialidad* dominante (García Díaz, 1998), y que esta influencia limita su evolución. Por tanto, nos encontramos con la paradoja de que la educación científica podría ser un medio privilegiado para promover el enriquecimiento del conocimiento común y, sin embargo, la obsesión por transmitir directamente infinidad de contenidos provoca justamente el efecto contrario. Tanto es así que las personas escolarizadas tenemos lo que podríamos denominar una *mente dual*. Por un lado, la mente que se activa en la experiencia, que es la que identificamos como propia, y por otro, la mente académica, que se activa funcionalmente en el contexto educativo con el objetivo de sobrevivir a las demandas de la institución. Esta mente dual suele funcionar en ámbitos bastante independientes (aunque siempre hay excepciones), activándose una u otra de forma involuntaria según el contexto.

Sobre las personas que tratan de enseñar

De la misma manera, reconocemos hoy que los que tratan (tratamos) de enseñar también piensan y sienten en relación con la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias y, como dijimos antes, lo que piensan y sienten es importante desde un punto de vista didáctico y formativo. Es decir, también son sujetos epistémicos, portadores y constructores de significados que condicionan cualquier proceso de cambio (Abell, 2007; Hashweh, 1985; Shulman, 1986; Van Driel, Berry & Meirink, 2014).

En la historia de nuestra disciplina, se tomó conciencia de esta evidencia cuando se empezaron a impulsar currículos de ciencias que tomaban en consideración las ideas de los alumnos y se observó

que el desarrollo de las clases no respondía a lo diseñado por los investigadores y reformadores, pues los docentes mediaban poderosamente en el proceso. Esto es así, entre otras cuestiones, porque los docentes poseemos un *conocimiento tácito profesional* desde antes de iniciar nuestro proceso de formación específico (en el caso de la universidad, es la única base de partida para la acción docente) (Porlán & Rivero, 1998). Y esto es algo peculiar. En ningún otro caso, salvo en situaciones como por ejemplo el ejercicio de la maternidad y la paternidad, las personas que van a ejercer una determinada función permanecen durante tanto tiempo, antes de ejercerla, interiorizando la manera de actuar de otros con el mismo rol. A este conocimiento adquirido por impregnación ambiental y de manera involuntaria (de ahí que no haya una responsabilidad propia de partida) es a lo que llamamos conocimiento tácito profesional. Y sabemos que dicho conocimiento es de gran importancia para el mantenimiento y reproducción de las pautas del modelo transmisivo, pues está constituido por *rutinas y esquemas de acción* que se activan de manera automática en contextos similares a aquellos en los que fueron aprendidos. Dicho de otra manera, ya somos docentes antes de formarnos como tales, pues ya tenemos grabados los esquemas propios de la cultura profesional mayoritaria y tradicional.

Como consecuencia, también sabemos que la formación inicial debería tener esto en cuenta, pues no solo no se parte de una mente en blanco, sino que la mente ya está programada para actuar de manera coincidente con el modelo de enseñanza de las ciencias que se pretende cambiar. Además, estas rutinas y esquemas de acción juegan un papel esencial en el funcionamiento de la mente, pues la liberan de tomar decisiones en contextos muy conocidos que requieren respuestas repetidas. No realizamos, por ejemplo, las acciones para conducir de una forma consciente, pues una vez interiorizadas y ejercitadas funcionan automáticamente y solo en situaciones inesperadas volvemos al nivel de la conciencia. Por tanto, las rutinas docentes aportan seguridad y evitan la pérdida de control. Si a esto le añadimos que la docencia es una actividad de riesgo emocional, pues la ejercemos con personas que nos pueden juzgar, tenemos los ingredientes que explican que las rutinas y esquemas de acción sean muy resistentes al cambio. Una rutina no se sustituye por un discurso, sino por otra rutina mejor, de ahí la poca utilidad de los cursos basados en la transmisión de un discurso alternativo y no en el análisis y reconstrucción de las pautas de acción en el aula.

El carácter tácito de este conocimiento no implica que no esté sustentado por concepciones teóricas, normalmente implícitas. El hecho de que el sujeto que activa los esquemas de acción no sepa qué supuestos están detrás de ellos no implica que no los tenga. En este caso, el conocimiento interiorizado es plenamente coherente con el modelo transmisivo-tradicional de enseñanza de las ciencias y, por tanto, con las concepciones ideológicas, epistemológicas, psicológicas y didácticas que lo sustentan (autoritarismo, absolutismo epistemológico, teoría del vaso vacío, enseñar es dar contenidos, etc.) (Porlán *et al.*, 2010). Por supuesto, la mayoría de los docentes no tienen conciencia de que esto es así, y la razón que poseen para justificar por qué hacen lo que hacen es el peso de la tradición. Podemos afirmar, por tanto, que la docencia se parece más a una actividad repetitiva y artesanal simple que a una tarea profesional compleja, en la que el conocimiento que se construye y se aplica está sometido a procesos de contraste crítico en función de criterios teóricos y empíricos (Abell, 2007; Porlán & Martín, 1991).

Todo lo anterior nos plantea la necesidad de una formación docente realmente profesionalizadora. Sabemos que dicha formación debe ser *en contexto*, es decir, vinculada a los ámbitos donde se ejerce la profesión. Y esto es así porque las rutinas y esquemas de acción preexistentes (y las creencias asociadas a estos) solo se activan y, por tanto, solo se pueden modificar eficazmente, en dichos contextos. De poco sirve transmitir un discurso sobre cómo debería ser la enseñanza de las ciencias al margen de los escenarios donde ha de convertirse en un *saber hacer situado*. Comprender, por ejemplo, que para enseñar ciencias es necesario partir de las ideas de los estudiantes no garantiza saber trasladar esto a un conjunto de pautas de acción coherentes en el aula. Es muy común que en los primeros envites, durante la acción, los docentes noveles se vean desbordados por tamaño reto y se activen las rutinas tradicionales

para no perder el control de la clase, y que, al poco, para superar la frustración, acaben asumiendo que las *teorías modernas* son irrealizables, y al cabo de algún tiempo más acaben *pensando cómo actúan* y no *actuando como pensaban*, con lo que el ciclo reproductivo se habrá completado y reforzado. Por tanto, el conocimiento docente debe ser un *conocimiento práctico profesional*, situado epistemológicamente en una encrucijada entre los conocimientos de las disciplinas que afectan a la enseñanza de las ciencias (las vinculadas a los contenidos y a las Ciencias de la Educación y a la integración de ambas en el ámbito de la Didáctica de las Ciencias) y el conocimiento en y para la acción (Porlán & Rivero, 1998).

Por último, pese a la contradicción entre la naturaleza epistemológica del conocimiento docente deseable y las características de los currículos formativos reales, los docentes en formación (sea inicial o permanente), como sujetos epistémicos que son, pueden interaccionar con esquemas de acción alternativos, así como con otros marcos teóricos de referencia y, por tanto, pueden cambiar progresivamente sus significados explícitos e implícitos y sus formas de actuar (Martínez-Chico, López-Gay & Jiménez-Liso, 2014; Tsai, 2006), aunque siempre en contextos de seguridad emocional y de acompañamiento experto y entre iguales.

Sobre la ciencia

Quizá, la afirmación que resuma mejor el punto en el que estamos es que *la naturaleza de la ciencia que se trata de enseñar habitualmente no coincide con la ciencia realmente existente*. Más bien es una idealización positivista y absolutista de esta (Kuhn, 1962). Se pretende transmitir una ciencia concebida como un producto absoluto, acabado y neutral y producida por un método objetivo infalible (Lederman, Lederman & Antink, 2013). Se suele ignorar su carácter relativo, evolutivo y sistémico (Toulmin, 1977). Se tiende a enfatizar el producto frente al proceso, obviando los problemas, las prácticas científicas y las controversias propias del desarrollo científico. Se llega a presentar como un conocimiento superior y mítico (gran paradoja) ajeno a los condicionamientos sociales, económicos y políticos (Strieder, Bravo & Gil, 2017), obviando el debate ético sobre los fines de la actividad científica y las grandes preguntas sobre el para qué se investiga lo que se investiga y al servicio de quién se debe realizar la actividad investigadora, ignorando, por ejemplo, que una parte importante de la investigación mejor financiada suele estar al servicio de grandes empresas tecnológicas, de armamento o farmacéuticas que convierten los productos en objeto de mercado sin reparar en las consecuencias para el conjunto de la población y la naturaleza.

Además, se intenta enseñar una ciencia descontextualizada de la vida diaria de los que aprenden, ignorando que la conexión entre diferentes epistemologías, el punto de encuentro entre el conocimiento común y el científico es precisamente el abordaje de problemas, preguntas y conjeturas que nos puedan llegar a interesar a todos (Harlen, 2015; Osborne, 2014). La consecuencia de esta fractura es la coexistencia social de grupos minoritarios muy especializados en el dominio de parcelas concretas del conocimiento científico y una ciudadanía empobrecida intelectualmente con creencias míticas, irracionales y simplistas sobre los fenómenos que les afectan, reduciéndose con ello la capacidad formadora y transformadora de una cultura científica al servicio de la mayoría social, que promueva la resolución no estereotipada de problemas, el espíritu crítico, el placer del conocimiento, la intersubjetividad constructiva, etc.

Sobre las interacciones

Apuntadas ya al analizar lo que sabemos sobre cada vértice del sistema didáctico, el espacio de este artículo no nos permite profundizar en todas ellas, aunque muchas se pueden inferir de lo dicho hasta ahora. No obstante, comentaremos algunas por su trascendencia.

Sabemos a través de la teoría de la comunicación que el modelo transmisivo de enseñanza de las ciencias responde a una visión ingenua y unidireccional de la comunicación humana. Esto es así por parte de la teoría implícita de que, en el contexto educativo, *todo mensaje que es bien emitido debe llegar sin alteraciones a la mente del receptor*, y si no es así solo hay dos causas posibles, y en ambas el receptor es responsable, *o ha cerrado el canal* (no ha estado atento) *o está averiado* (no tiene capacidad suficiente).

También sabemos que los contextos micro, meso y macro del sistema didáctico no están mediados por dinámicas participativas, democráticas y cooperativas, sino más bien por relaciones de poder (Gutiérrez, 2016). Los docentes lo ejercen sobre los estudiantes, los directores sobre los docentes y la administración sobre todos ellos, y no solo en su aspecto social (quién manda en cada nivel) sino también en su aspecto epistemológico, de manera que el saber del docente suele imponerse al del estudiante y el saber curricular, en su versión formateada como libro de texto, al saber de ambos. Todo ello sostenido por la inseguridad, la culpa y el condicionamiento conductual que los mecanismos calificadorios, el desprestigio social y las etiquetas morales provocan en los sujetos, generando, en muchos casos, la sumisión, simulación y desapego de los que aprenden y la frustración y estrés profesional de los que enseñan, y, como consecuencia última, la permanencia del conocimiento cotidiano simplificador y del conocimiento tácito profesional.

Sin embargo, como vengo insistiendo, a pesar de estos obstáculos, el sistema didáctico es potencialmente capaz de evolucionar hacia relaciones horizontales y multidireccionales entre sujetos epistémicos que enriquecen colectivamente su conocimiento y su acción, bajo la orientación y liderazgo del docente, en el marco de dinámicas coherentes con la declaración universal de los derechos humanos. Frente a las teorías innatistas, a la indefensión aprendida y a las visiones estáticas del mundo, sabemos que todo es dinámico y que los sujetos y sus relaciones pueden cambiar, y que podemos influir conscientemente en la orientación de dicho cambio.

EL PARADIGMA SIEMPRE EMERGENTE DE LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA

Algunos fines esenciales

Trataré de describir en lo que sigue una determinada visión, inevitablemente limitada, de lo que podemos denominar *el paradigma de una educación científica coherente con los avances de la investigación y la innovación*. Quizás el nombre suene grandilocuente, pero lo que se plantea no son cambios parciales que tratan de mejorar lo existente, sino cambios profundos basados en una cosmovisión radicalmente distinta al paradigma dominante (Porlán, 1993).

Evidentemente, esto no afecta solo a la enseñanza de las ciencias, como si el problema fuera solamente de una parte del subsistema educativo. Muy al contrario, y más allá de las peculiaridades propias, no es posible un cambio en nuestra área sin que, simultáneamente, cambie toda la educación, pues, en bastantes aspectos, los análisis expuestos son un caso particular de un mal común. Por tanto, la primera finalidad que debe pretender el nuevo paradigma es la de *contribuir a un cambio educativo global*, desde infantil hasta la universidad, siendo, en todo caso, la educación científica un medio privilegiado para conseguirlo.

Una segunda finalidad esencial se debe centrar en los sujetos que justifican el hecho educativo: los que tratan de aprender. El nuevo paradigma debe *prepararlos para el compromiso y la acción solidaria en la resolución de los grandes problemas y necesidades de nuestro mundo local y global y a favor de las mayorías sociales y del planeta* (Levinson, 2010; Santos & Mortimer, 2001; Vilches, Gil & Praia, 2011). Lógicamente, en cada nivel esta finalidad tiene que adoptar concreciones propias de la edad de los sujetos, pero ha de quedar explícito que el nuevo paradigma debe pretender el desarrollo personal y social

orientado hacia el compromiso con un nuevo modelo social y ambiental, basado en el bien común y en las convenciones aprobadas por los organismos supranacionales.

En este sentido, y en el caso de las instituciones (escuelas y universidad), su organización, funcionamiento y contenidos deben aspirar a ser *experiencias ejemplificadoras de la sociedad que queremos*, como nodos de transformación social y ambiental, modelos de democracia participativa y de cooperación, de justicia y de igualdad, implicadas con la comunidad en políticas para el bien común.

En el ámbito específico de la educación científica, el nuevo paradigma debe promover una *alfabetización científica crítica, desvelando los mitos y estereotipos sociales propios del pensamiento simplificador, impulsando el enriquecimiento del conocimiento de la ciudadanía y el desarrollo de la inteligencia y la acción colectiva para el bien común* (Harlen, 2015) y, por último, *favoreciendo una democracia epistemológica donde el conocimiento no sea un instrumento de dominación social*.

Algunos fundamentos teóricos de referencia

La enseñanza de las ciencias ha de ser un proceso de elaboración y reconstrucción individual y colectiva de los esquemas de significados y de los modelos de los que aprenden y de los que enseñan, tanto en su dimensión cognitiva como conductual (Johnson-Laird, 2005; Lombardi, 2010; Piaget, 1975), donde se producirán cambios y bloqueos de diferentes grados de intensidad y amplitud (Chi, 2008), que se deben analizar para poder orientar el proceso a través de estrategias de andamiaje (Astolfi, 1999; Van de Pol, Volman & Beishuizen, 2010; Wood, Bruner & Ross, 1976) y dentro de la zona de desarrollo próximo (ZDP) de los sujetos (Vigotsky, 1979).

Este proceso ha de estar basado en *contrastos relevantes y orientados* con otros significados y experiencias, desde una concepción multidireccional de la comunicación, con ajustes continuos, por parte de todos, entre lo que se emite y lo que se recibe, entre las intenciones y los hechos, aceptando como normales los *ruidos* y adaptaciones que se producen, pues la atención es discontinua y está condicionada por los significados, intereses y emociones desde los que se trata de interpretar la información (Aliberas, Gutiérrez & Izquierdo, 2017).

De vital importancia es la capacidad de escucha del que trata de enseñar. Lejos de la urgencia obsesiva por transmitir, el nuevo paradigma ha de promover la escucha y la observación inteligente, dando la palabra a los que tratan de aprender, porque cuando escuchamos re-conocemos y estamos en condiciones de comprender y aprender el proceso de acompañamiento en que debemos convertir la tarea de enseñar.

Además, este proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias alternativo ha de dar valor a los intereses, necesidades y propósitos propios de la edad de los que aprenden y de su contexto social y cultural, es decir, no puede ser un proceso meramente técnico y neutral, sino humano, democrático y comprometido, pues ha de servir para intervenir ya en la realidad presente.

Todo ello nos interpela sobre la dimensión emocional del ser humano, pues la emoción y la motivación pueden ralentizar, bloquear o acelerar los procesos constructivos (Mellado *et al.*, 2014; Mora, 2017; Otero, 2006). Una de las condiciones esenciales de la motivación es *dar sentido* a lo que se hace. No hay nada más desmotivador y alienante que *hacer* sin saber lo que se hace, ni por qué ni para qué se hace (Freire, 1975). Dar sentido, por tanto, activa la implicación y el esfuerzo. El interés nos lleva a la actividad.

Este proceso que venimos describiendo ha de tener como referencia la cultura científica, entendida como ha sido descrita, pero también los problemas sociales y ambientales relevantes, la cultura ciudadana más avanzada y comprometida con ellos, y el bagaje cultural y las ideas propias de los que tratan de aprender. Y estos referentes diversos han de ser *reelaborados e integrados didácticamente*, a la luz de las finalidades anteriormente expuestas, para convertirlos en un conocimiento epistemológicamente

diferenciado y específico: *el conocimiento escolar para la enseñanza de las ciencias*, llegando aún más lejos que el concepto de *transposición didáctica* (Chevallard, 1985), que propone integraciones parciales, o que el de *conocimiento didáctico del contenido* (Shulman, 1986), que incluso en sus versiones más actuales, es más una suma de componentes que un auténtico proceso de integración epistemológica de estos (García Díaz, 1998; Porlán, Rivero & Martín del Pozo, 1997).

Por último, el nuevo paradigma debe promover dos tipos de aprendizajes: los específicos, relativos a situaciones delimitadas, y los generales, relativos a conceptos, procedimientos, actitudes y capacidades aplicables en contextos diferentes. Es decir, debe superar cierto debate reduccionista sobre el denominado *aprendizaje situado*, según el cual lo que se aprende solo se activa en el contexto en que fue aprendido, y el *aprendizaje generalizable*, según el cual determinados aprendizajes pueden llegar a ser independientes de contexto, pues ambas afirmaciones, lejos de ser contradictorias, son expresiones de procesos mentales complementarios. El reto didáctico es trabajar los dos niveles de aprendizaje, cada uno de ellos de manera específica, y ambos de manera relacionada (Sanmartí y Marchán, 2015).

Vistos algunos de los grandes fines y de los fundamentos más importantes, pasaremos a describir de manera sintética sus repercusiones en las tres variables esenciales de cualquier propuesta curricular: los contenidos, la metodología y la evaluación.

Los contenidos como procesos y no como productos acabados

1. Los contenidos (los específicos y los generales) han de concebirse y diseñarse de dos maneras complementarias y coherentes entre sí: a modo de problemas, casos y proyectos relevantes, susceptibles de ser abordados por los que tratan de aprender, y como *sistemas de significados* que pretenden orientar el proceso de enseñanza-aprendizaje.
2. Han de elaborarse de manera genuinamente docente teniendo en cuenta, en la medida de lo posible, el análisis sociohistórico, epistemológico y didáctico de aquellas partes de las disciplinas científicas implicadas en el problema de investigación (Duit, 2006; García Díaz, 1998; Izquierdo, 2000; Quintanilla, 2005), con especial énfasis en los obstáculos epistemológicos (Bachelard, 1974), así como la cultura ciudadana y profesional relacionada y las ideas y modelos mentales de los estudiantes. Todo ello en coherencia con las finalidades expuestas.
3. Han de estar centrados en lo sustancial, relevante y organizador, a modo de *grandes ideas* (Harlen, 2015; Sanmartí & Marchán, 2015), para una auténtica alfabetización científica ciudadana, evitando la acumulación aditiva y fraccionada de todo el conocimiento producido. Planteándose preguntas como: ¿qué de las ciencias es relevante para la cultura común?, ¿qué conocimientos pueden organizar un conocimiento cotidiano enriquecido?, ¿qué conocimientos generales pueden trascender del conocimiento situado y ser el anclaje de una epistemología metacontextos? En el caso de la Universidad, obviamente, la perspectiva ha de estar más centrada en las disciplinas, pero teniendo en cuenta la repercusión social y profesional de estas.
4. Han de integrar la dimensión conceptual, procedimental, emocional y ética del ser humano (Harlen, 2015), superando la *jerarquía racionalista*, según la cual los conceptos son identificados como los contenidos por antonomasia.
5. Han de concebirse y representarse de una manera sistémica, es decir, como mapas de contenidos y problemas y no como *ladrillos de verdad* de un supuesto *muro del conocimiento*, pues los significados *son* las interacciones (García Díaz, 1998).
6. Han de diseñarse de manera dinámica, es decir, incorporando su carácter progresivo, entendiendo que un mismo problema admite diferentes niveles de respuestas de complejidad creciente (Harlen, 2015). Esto nos permitirá tener en cuenta el nivel de partida de los que aprenden, siempre diverso, e ir ajustando los mapas de contenidos y problemas a su evolución.

Una metodología investigativa

1. Basada en la formulación e investigación de *problemas, casos o proyectos* con potencialidad formativa al mismo tiempo que estimulantes, es decir, con capacidad para conectar y ampliar las necesidades y el interés de los que aprenden (Sanmartí & Marchán, 2015).
2. Que incluya *actividades autónomas* en las que los que aprenden, a partir de su experiencia, ideas y modelos mentales, puedan expresar y reelaborar hipótesis y propuestas tentativas, primero individuales y luego colectivas, en relación con los problemas de investigación (Crawford & Capps, 2016; Hmelo-Silver, Duncan & Chinn, 2007).
3. También *actividades de contraste* que, dentro de la ZDP de los estudiantes, aporten experiencias prácticas, datos y argumentos que ayuden a superar los obstáculos y dificultades de aprendizaje, y en las que el docente guíe los procesos de interpretación, reflexión y elaboración de modelos más complejos y potentes (Christodoulou, 2011; Reiser, Berland & Kenyon, 2012; Van der Valk & De Jong, 2009).
4. Que promueva *actividades para generalizar y aplicar* los nuevos aprendizajes y para actuar en coherencia con ellos (Sanmartí & Marchán, 2015).
5. Que integre *actividades de metarreflexión* basadas en la pregunta *¿en qué he cambiado y por qué?*
6. Con materiales, recursos y tecnologías diversas que faciliten el acceso a diferentes fuentes de información y el desarrollo de experiencias de campo, experimentales, audiovisuales, etc.
7. En un clima participativo y emocionalmente positivo, donde prime el respeto, la libertad y la negociación, donde cada opinión y cada prueba pueda ser defendida y debatida a la luz de argumentos y datos (Tobin, 2010).

Una evaluación investigativa y para el aprendizaje

1. Basada en el análisis de los modelos, ideas y obstáculos de los que aprenden a la hora de abordar los problemas de investigación. Diseñando, por ejemplo, cuestionarios abiertos centrados en dichos problemas, donde las respuestas representen las hipótesis individuales de los estudiantes y sean agrupadas en niveles de complejidad creciente, a modo de *escaleras de aprendizaje y evaluación*, en donde los escalones simbolicen dichos niveles y los saltos indiquen los obstáculos que hay entre un nivel y el siguiente (Porlán, 2017). Esto aportará información rigurosa sobre la diversidad de partida y la posible evolución del aprendizaje, y permitirá ajustar los contenidos y las actividades prediseñadas.
2. Siguiendo la evolución de los que aprenden a través de sus producciones, debates, diarios de clase, etc. Realizando *ajustes finos sobre la marcha* para adecuar el diseño a la progresión real (Belland, Burdo & Gu, 2015).
3. Analizando los modelos finales y comparando los resultados con los iniciales, llegando, así, a conclusiones rigurosas sobre la evolución de los aprendizajes, tanto del grupo como de cada sujeto, y sobre las posibles mejoras que deben introducirse en el diseño didáctico para el futuro.
4. Promoviendo la autoevaluación de los estudiantes, haciendo que aprendan a controlar y dirigir su proceso de aprendizaje, cambiando así sus ideas implícitas sobre este.
5. Valorando también el compromiso con la tarea y el desarrollo de los procedimientos y valores previstos.
6. Dando voz a los que aprenden para que analicen la propuesta de intervención y la actuación del docente, haciendo aportaciones de mejora y convirtiéndose también en sujetos de la evaluación.

UNA ESTRATEGIA PARA EL CAMBIO

El cambio que nunca llega

Los resultados de la investigación en la Didáctica de las Ciencias no han provocado hasta ahora cambios significativos en la educación científica. El nuevo paradigma descrito sigue siendo minoritario y no trasciende al subsistema educativo y a la sociedad, predominando más en el discurso académico que en las prácticas docentes.

En las estrategias de cambio, sean institucionales o espontáneas, no se suele tener en cuenta la importancia de los obstáculos que aparecen en el proceso (Cañal, Travé & Pozuelos, 2011), especialmente los que tienen que ver con el cambio de los docentes y con el papel que la escuela y la Universidad tienen en el sistema social, tanto en su versión de obstáculos externos (limitaciones legislativas, estereotipos sociales dominantes, condiciones laborales...) como de obstáculos internos (inseguridad del profesorado, rutinas automatizadas, etc.).

Desde mi punto de vista, difícilmente se extenderá el nuevo paradigma si no es en el marco de un cambio profundo del subsistema educativo y del sistema social que sustenta el modelo transmisivo tradicional, pues su existencia no es el resultado del azar y no depende solo de la profesionalidad y de la voluntad de los docentes, sino que es la consecuencia de un encaje coherente del primero en el segundo. Esto no quiere decir que no se pueda y se deba avanzar en su extensión, de manera que progresivamente sea percibido como una alternativa sólida, posible y avalada por resultados. En este recorrido es necesario clarificar las diferencias con respecto a lo que podríamos denominar la *alternativa innovadora neoliberal*. Es evidente que el fracaso educativo no solo es analizado por los colectivos de investigadores y docentes, sino que también hay sectores sociales dinámicos y poderosos que tratan de modernizar la educación, particularmente en el caso de la enseñanza de las ciencias, y de apropiarse del discurso innovador. No es casual que algunas de las iniciativas más difundidas bajo la etiqueta de la innovación estén impulsadas por grandes multinacionales financieras y del sector de la comunicación. Sin embargo, entendiendo que hay coincidencias en aspectos parciales, y sin menospreciar que en algunos escenarios pueda haber colaboraciones coyunturales, debemos tener claras las diferencias entre una innovación neoliberal y una transformadora. Básicamente me refiero a las siguientes: el culto a las competencias, entendidas como competitividad y emprendimiento; el énfasis en los recursos como fines en sí mismos y no como medios para la investigación de fenómenos relevantes, especialmente en el caso de los nuevos medios tecnológicos, de indudable valor, pero que no garantizan por sí solos un cambio en las finalidades educativas; la identificación de la innovación con el cambio metodológico, olvidando el necesario cambio en las finalidades, los contenidos y la evaluación para que haya aprendizaje de calidad, y la sobrevaloración de la dimensión personal sobre la dimensión social de la educación, vinculada a las nuevas modas de desarrollo individual (coach, *mindfulness*, etc.), que olvidan que para muchas personas el sufrimiento personal no es solo el resultado de la mala gestión que puedan hacer de sí mismos, sino de factores económicos, sociales y culturales que en buena medida no dependen de ellos (Díez Gutiérrez, 2018).

Ciclos de mejora y redes de experimentación

Para que sea posible el escenario de un nuevo paradigma de la educación científica reconocido y practicado con suficiente grado de visibilidad e influencia, el cambio ha de ser gradual y sostenido en el tiempo. Al ser un cambio cultural, que debe manifestarse en nuevas formas de hacer, no es posible que ocurra en el corto plazo. Más bien, la ansiedad por el cambio suele provocar su fracaso, por la envergadura de los retos y obstáculos que hay que afrontar. Los estereotipos sociales y los esquemas de

acción interiorizados no se cambian desde el voluntarismo o desde la mera difusión de una nueva idea, sino desde el convencimiento y la experimentación propia, al abrigo de programas, redes y colectivos (Delord, Porlán & Harres, 2017). Cuando la iniciativa es institucional tampoco funciona el atajo de la imposición normativa, casi siempre contradictoria, parcial y limitada económicamente. El cambio ha de hacerse desde y con las escuelas, la Universidad, los docentes y la comunidad educativa, y difundiendo con sentido, solvencia y rigor estas experiencias.

Ha de basarse en *ciclos de mejora docente* (CMD) graduales, limitados y continuos, y en equipos organizados en redes de experimentación, integrando los procesos de innovación, investigación y formación (Porlán *et al.*, 2010; Porlán, 2017). Los CMD tienen como característica básica el hecho de experimentar el nuevo paradigma en situaciones de aula (Luft & Hewson, 2014; Mosquera & Furió, 2008; Solbes *et al.*, 2018), tratando de modificar simultánea y coherentemente todas las variables del sistema didáctico (contenidos, metodología y evaluación) en un tiempo acotado. Frente a la estrategia de cambiar solo algún aspecto de la práctica pero sin tocar el resto (por ejemplo, introduciendo una metodología investigativa pero manteniendo los exámenes tradicionales), que suele provocar contradicciones insostenibles, los CMD se conciben como experimentos didácticos globales con los que poner a prueba cambios coherentes con el nuevo paradigma (Luft & Hewson, 2014), pero por un tiempo que no provoque excesivas dosis de inseguridad en los implicados. Además, deben contar con el tiempo previo suficiente para preparar el diseño didáctico: los mapas de contenidos y problemas, un cuestionario de diagnóstico inicial y final de las ideas de los estudiantes, el análisis de las respuestas a este para ordenarlas por niveles y obstáculos, un diseño de las secuencias de actividades que ayude a los que aprenden a construir respuestas más potentes sobre los asuntos planteados... (Crujeiras & Jiménez, 2018). También debe haber tiempo posterior para analizar y evaluar el aprendizaje comparando los niveles iniciales y finales de los estudiantes, de tal manera que sea el convencimiento del docente el que haga que se vaya ampliando el tiempo de experimentación en sucesivos CMD, hasta llegar a abarcar una materia completa. Todo ello con el acompañamiento experto adecuado y con el referente del conocimiento práctico profesional. Es fundamental que todo el proceso quede plasmado en materiales didácticos que describan y argumenten lo que se diseñó, lo que ocurrió, los avances conseguidos y las mejoras que se deben introducir en el futuro.

Los retos legales, sociales y políticos

Siendo verdad que las leyes no cambian por sí solas las culturas de los subsistemas sociales, también lo es que pueden facilitar u obstaculizar la transición de unos modelos a otros. Por tanto, cada día es más necesario un marco legislativo que, más que aportar un currículum cerrado y obligatorio, defina las grandes finalidades educativas comunes, regule la necesaria autonomía de la comunidad educativa local en los aspectos económicos, materiales y pedagógicos, dignifique la función docente (también la formación) al reconocer la capacidad investigadora en todos los niveles educativos y facilite la innovación, la cooperación y la diversidad de proyectos curriculares en contraste científico. En el plano estrictamente curricular, el marco legal debe delimitar de manera flexible grandes núcleos organizadores del currículum, siempre coherentes con las finalidades enunciadas, así como criterios metodológicos y de evaluación coherentes con los avances de la investigación en Ciencias de la Educación y, en nuestro caso, en la Didáctica de las Ciencias, dejando el desarrollo y la concreción en manos de la comunidad educativa y de los profesionales de la educación. Dicho marco normativo no debería ser el resultado de acuerdos exclusivamente políticos, sino la fase final de un amplio consenso social con la participación directa del profesorado, de la comunidad educativa y de los colectivos sociales interesados.

Mención aparte merece la imprescindible y profunda reforma de la formación inicial, vinculando a docentes expertos en esta, promoviendo la formación *en contexto*, superando la visión simplista de que

para enseñar basta con saber el contenido, avanzando hacia currículos formativos que superen la mera adición de disciplinas de todo tipo, estableciéndose núcleos organizadores basados en los problemas prácticos docentes y en el diseño, aplicación y evaluación de propuestas educativas (Zemba-Saul, 2009). De la misma manera, mencionar la importancia de vincular la formación inicial con una visión del desarrollo profesional como un continuo coherente que debe abarcar el acceso a la profesión docente, los primeros años de profesión y la formación continua.

Serán necesarios también incrementos presupuestarios significativos, con el objetivo de alcanzar una ratio adecuada para el cambio, remodelar espacios, incorporar, actualizar y mantener diversidad de recursos, establecer salarios dignos y coherentes con la importancia social de la función docente, estabilizar al profesorado, incentivar la experimentación, promover el cuerpo único de enseñantes, etc.

Los retos como investigadores (y docentes)

Es evidente que nuestro campo de acción es limitado. Sin embargo, también lo es que nuestras decisiones sobre qué y cómo investigar no son neutrales y pueden favorecer o no la estrategia de cambio esbozada. En este sentido, parece necesario que reflexionemos sobre las líneas estratégicas de investigación y sobre las maneras de investigar. Algunas propuestas que pueden alimentar este debate son:

1. Considerar la Universidad como un ámbito imprescindible para generar el cambio docente por su relevancia social, por ser el lugar de formación docente y por ser el ámbito con mayor influencia en la reproducción del paradigma transmisivo-tradicional.
2. Promover equipos, redes y proyectos de investigación vinculados a la innovación y a la formación, centrados en el trabajo cooperativo de docentes/investigadores de los diferentes niveles educativos y en la realización de CMD de progresiva complejidad.
3. Centrar las investigaciones en conseguir evidencias empíricas sobre los resultados del nuevo paradigma como la mejor manera de defender con rigor la necesidad de su extensión, tanto en relación con el aprendizaje científico de los estudiantes (Duschl, Maeng & Sezen, 2011; Hernández, Couso & Pintó, 2014) como con el aprendizaje profesional de los docentes (Schneider & Plasman, 2011; Talanquer, 2014).
4. Organizar actividades de difusión social y mediática sobre el cambio necesario en la enseñanza de las ciencias y en la educación, superando el aislamiento de la actividad investigadora.
5. Establecer alianzas con otros sectores implicados en el cambio educativo (sindicatos, organizaciones políticas, colectivos sociales, asociaciones de madres y padres de alumnos, sociedades científicas...), de manera que la dimensión del cambio pedagógico esté presente en las reivindicaciones sociales.

Se trata, en definitiva, de sellar un compromiso entre la investigación en Didáctica de las Ciencias y el cambio educativo, social y ambiental. Ya se señaló en la introducción que este artículo se basaba en la estrecha vinculación entre la Didáctica de las Ciencias y la conciencia. Nuestro marco de investigación tiene que ver con personas y grupos sociales, por tanto está indisolublemente unido a cuestiones éticas, políticas e ideológicas. Debemos establecer el compromiso explícito de que trabajamos para el bienestar de la mayoría social, para el enriquecimiento crítico de la ciudadanía, para que lo mejor del pensamiento científico se incorpore a la cultura común, superando el pensamiento mágico, la alienación cultural, el fatalismo y la ignorancia. Para ello debemos basarnos en los máximos consensos alcanzados hasta la fecha en el ámbito de los derechos humanos, de los derechos de las personas de menor edad y en los derechos de la Tierra, que señalan el camino de una ética universal (Gil y Vilches, 2017).

Somos investigadores y educadores, tenemos el privilegio y la responsabilidad de estar implicados en dos procesos potencialmente transformadores: el científico y el educativo. No podemos permanecer

neutrales, nuestros esfuerzos han de tomar la dirección estratégicamente más adecuada porque hoy más que nunca es necesaria la alfabetización científica que pretendemos y que solo se alcanzará plenamente en otro mundo posible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABELL, S. K. (2007). Research on Science Teacher Knowledge. En: S. K. Abell & N. G. Lederman (eds.), *Handbook of Research on Science Education*. New York: Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9780203824696>.
- ALIBERAS, J., GUTIÉRREZ, R., & IZQUIERDO, M. (2017). Introducción a un método para la conducción y análisis de diálogos didácticos basado en la evaluación de modelos mentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 35(2), 7-28.
<http://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2028>.
- ASTOLFI, J. P. (1999). *El error, un medio para enseñar*. Sevilla, Díada.
- BACHELLARD, G. (1974). *La formación del espíritu científico*. Buenos Aires, Siglo XXI.
- BELLAND, B. R., BURDO, R., & GU, J. (2015). A Blended Professional Development Program to Help a Teacher Learn to Provide One-to-One Scaffolding. *Journal of Science Teacher Education*, 26, 263-289.
<https://doi.org/10.1007/s10972-015-9419-2>.
- CAÑAL, P., TRAVÉ, G., & POZUELOS, F. J. (2011). Análisis de obstáculos y dificultades de profesores y estudiantes en la utilización de enfoques de investigación escolar. *Investigación en la Escuela*, 73, 5-26.
- CHEVALLARD, Y. (1985). *La transposition didactique: Du savoir savant au savoir enseigné*. Grenoble, La PenséeSavante.
- CHI, M. T. H. (2008). Threotypes of conceptual change: Belief revision, mental model transformation, and categorical shift. En: S. Vosniadou (ed.), *Handbook of research on conceptual change*. Hillsdale, NJ, Erlbaum.
- CHRISTODOULOU, A. (2011). *The science classroom as a site of epistemic talk: Two case studies of science teachers and their students*. Unpublished doctoral thesis, King's College London.
- CRAWFORD, B., & CAPPS, D. (2016). What knowledge do teachers need for engaging children in science practices? En: J. Dori, Z. Mevarech & D. Baker (eds.), *Cognition, Metacognition and Culture in STEM Education*. New York, Springer.
- CRUJEIRAS, B., & JIMÉNEZ, M. P. (2018). Influencia de distintas estrategias de andamiaje para promover la participación del alumnado de secundaria en las prácticas científicas. *Enseñanza de las Ciencias*, 36(2), 23-42.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2241>.
- DELORD, G.; PORLÁN, R., & HARRES, J. (2017). La importancia de los proyectos y redes innovadoras para el avance de la enseñanza de las ciencias: El caso de un profesor de la Red IRES. *Eureka*, 14(3), 653-665.
- DÍEZ, E. J. (2018). *Neoliberalismo Educativo*. Barcelona, Octaedro.
- DRIVER, R., & EASLEY, J. A. (1978). Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, 5, 61-84.
- DUIT, R. (2006). La investigación sobre la enseñanza de las ciencias: Un requisito imprescindible para mejorar la práctica educativa. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 11(30), 741-770.
- DUSCHL, R., MAENG, S., & SEZEN, A. (2011). Learning progressions and teaching sequences: a review and analysis. *Studies in Science Education*, 47(2), 123-182.
<https://doi.org/10.1080/03057267.2011.604476>.

- FELTEN, P., & CHICK, N. (2018). Is SoTL a signature pedagogy of educational development? *To Improve the Academy*, 37(1), 4-16.
<https://doi.org/10.1002/tia2.20077>.
- FREIRE, P. (1975). *Pedagogía del oprimido*. Madrid, Siglo XXI.
- GARCÍA DÍAZ, J. E. (1998). *El conocimiento escolar. Hacia una teoría alternativa sobre los contenidos escolares*. Sevilla, Díada.
- GIL, D., CARRASCOSA, J., & MARTÍNEZ-TERRADES, F. (2000). La Didáctica de las Ciencias: una disciplina emergente y un campo específico de investigación. En J. Perales y P. Cañal (Eds.), *Teoría y práctica de la Enseñanza de las Ciencias*. Alcoi, Marfil.
- GIL, D., & VILCHES, A. (2017). Educación para la sostenibilidad y educación en derechos humanos. *Teoría de la Educación*, 29(1), 79-100.
- GILBERT, J. (2016) Transforming Science Education for the Anthropocene: Is It Possible? *Research in Science Education*, 46(2), 187-201.
- GIORDAN, A. (1978). Una pédagogie pour les sciences expérimentales. Paris, Le Centurion.
- GRUPO INVESTIGACIÓN EN LA ESCUELA (1991). *Proyecto Curricular IRES (Doc. I, II, III y IV)*. Sevilla, Díada.
- GUTIÉRREZ, V. (2016). *La tiza envenenada. Coeducación en tiempo de colapso*. Madrid, Textos (in) surgentes.
- HARLEN, W. (2015). *Trabajando con las grandes ideas de la educación científica*. Red Global de Academias de Ciencias. www.interacademies.net/Publications/27786.aspx.
- HASHWEH, M. Z. (1985). An exploratory study of teacher knowledge and teaching: The effects of science teachers' knowledge of subject-matter and their conceptions of learning on their teaching. *Dissertation Abstracts International*, 46(12), 3672a (UMI n.º 8602482).
- HERNÁNDEZ, M. I., COUSO, D., & PINTÓ, R. (2014). Analyzing Students' Learning Progressions Through out a Teaching Sequence on Acoustic Properties of Materials with a Model-Based Inquiry Approach. *Journal of Science Education and Technology*, 2, 356-377.
<https://doi.org/10.1007/s10956-014-9503-y>.
- HMELO-SILVER, C. E., DUNCAN, R. G., & CHINN, C. A. (2007). Scaffolding and achievement in problem-based and inquiry learning: A response to Kirschner, Sweller, and Clark. *Educational Psychologist*, 42(2), 99-107.
<https://doi.org/10.1080/00461520701263368>.
- IZQUIERDO, A. M. (2000). Fundamentos epistemológicos de la didáctica de las ciencias. En: F. Perales & P. Cañal (eds.), *Didáctica de las ciencias experimentales. Teoría y práctica de la enseñanza de las ciencias*. Alcoy, Marfil.
- JOHNSON-LAIRD, P. N. (2005). Mental models in thought. En: K. Holyoak & R. J. Sternberg (eds.), *The Cambridge Handbook of Thinking and Reasoning*. Cambridge, Cambridge University Press.
- KUHN, T. E. (1962). *The structure of scientific revolutions*. Chicago, University of Chicago Press.
- LEDERMAN, N. G., LEDERMAN, J. S., & ANTINK, A. (2013). Nature of science and scientific inquiry as contexts for the learning of science and achievement of scientific literacy. *Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 1(3), 138-147.
- LEVINSON, R. (2010). Science education and democratic participation: An uneasy congruence? *Studies in Science Education*, 46(1), 69-119.
<https://doi.org/10.1080/03057260903562433>.
- LOMBARDI, O. (2010). Los modelos como mediadores entre teoría y realidad. En L. Galagovsky (coord.). *Didáctica de las ciencias naturales: El caso de los modelos científicos*. Buenos Aires: Lugar Editorial.

- LUFT, J. A., & HEWSON, P. W. (2014). Research on Teacher Professional Development Programs in Science. En: N. G. Lederman & S. K. Abell (eds.), *Handbook of Research on Science Education*. Abingdon, Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9780203097267.ch44>.
- MARTÍNEZ-CHICO, M., LÓPEZ-GAY, R., & JIMÉNEZ-LISO, R. (2014). ¿Es posible diseñar un programa formativo para enseñar Ciencias por Indagación basada en Modelos en la formación inicial de maestros? Fundamentos, exigencias y aplicación. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 28, 153-173.
- MELLADO, V., BELÉN, A., BRÍGIDO, M., MELO, L. V., DÁVILA, M. A., CAÑADA, F., CONDE, M. C., COSTILLO, E., CUBERO, J., ESTEBAN, R., MARTÍNEZ, G., RUIZ, C., & SÁNCHEZ, J. (2014). Las emociones en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 11-36.
<http://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1478>.
- MORA, F. (2017). *Neuroeducación: solo se puede aprender aquello que se ama*. Madrid, Alianza.
- MORIN, E. (1984). *Ciencia con consciencia*. Barcelona, Anthropos.
- MOSQUERA, J. C., & FURIÓ, C. (2008). El cambio didáctico en profesores universitarios de química a través de un programa de actividades basado en la enseñanza por investigación orientada. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, 22, 115-154.
- OSBORNE, J. (2014). Teaching Scientific Practices: Meeting the Challenge of Change. *Journal of Science Teacher Education*, 25, 177-196.
<http://doi.org/10.1007/s10972-014-9384-1>.
- OTERO, M. R. (2006). Emociones, sentimientos y razonamientos en Didáctica de las Ciencias. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, 1(1), 24-53.
- PÉREZ, A., & DE PRO, A. (2013). Estudio demoscópico de lo que sienten y piensan los niños y adolescentes sobre la enseñanza formal de las ciencias. En: V. Mellado, L. J. Blanco, A. B. Borrachero & J. A. Cárdenas (eds.), *Las emociones en la enseñanza y el aprendizaje de las Ciencias y las Matemáticas*. Badajoz, España.
- PIAGET, J. (1975). *Lequilibration des structures cognitives. Problème central du développement*. Paris, PUF.
- PORLÁN, R. (1993). *Constructivismo y Escuela. Hacia un modelo de enseñanza-aprendizaje basado en la investigación*. Sevilla, Díada.
- PORLÁN, R. (1998). Pasado, presente y futuro de la Didáctica de las Ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(1), 175-185.
- PORLÁN, R. (2017). *La enseñanza universitaria. Cómo mejorarla*. Madrid, Morata.
- PORLÁN & MARTÍN (1991). *El diario del profesor. Un recurso para la investigación en el aula*. Sevilla, Díada.
- PORLÁN, R., MARTÍN DEL POZO, R., RIVERO, A., HARRES, J., AZCÁRATE, P., & MICHELLE, P. (2010). El marco del profesorado de ciencias I: Marco teórico y formativo. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(1), 31-46.
- PORLÁN, R., & RIVERO, A. (1998). *El conocimiento de los profesores*. Sevilla: Díada.
- PORLÁN, R., RIVERO, A., & MARTÍN DEL POZO, R. (1997). Conocimiento profesional y epistemología de los profesores I: Teoría, métodos e instrumentos. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(2), 155-171.
- QUINTANILLA, M. (2005). Historia de la ciencia y formación del profesorado: Una necesidad irreducible. *Revista de la Facultad de Ciencias y Tecnología*. Número extra.
- REISER, B. J., BERLAND, L. K., & KENYON, L. (2012). Engaging Students in Scientific Practices of Explanation and Argumentation. *Science and Children*, 49(8), 8-13.

- RIVERO, A., SOLÍS, E., PORLÁN, R., MARTÍN DEL POZO, R., & AZCÁRATE, P. (2017). Cambio del conocimiento sobre la enseñanza de las ciencias de futuros maestros. *Enseñanza de las Ciencias*, 35(1), 29-52.
<http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2068>.
- ROTH K. J. (2007). Science Teachers as Researchers. En: S. K. Abell & N. G. Lederman (eds.), *Handbook of Research on Science Education*. New York, Routledge.
- SANMARTÍ, N., & MARCHÁN, I. (2015). La educación científica del siglo XXI. Retos y propuestas. *Investigación y Ciencia*, 31, 31-38.
- SANTOS, W., & MORTIMER, E. (2001). Tomada de decisão para ação social responsável no ensino de ciências. *Ciencia y Educación*, 7(1), 95-111.
<https://doi.org/10.1590/S1516-73132001000100007>.
- SCHNEIDER, R. M., & PLASMAN, K. (2011). Science Teacher Learning Progressions: A Review of Science Teachers' Pedagogical Content Knowledge Development. *Review of Educational Research*, 81(4), 530-565
- SOLBES, J., FERNÁNDEZ-SÁNCHEZ, J., DOMÍNGUEZ-SALES, M. C., CANTÓ, J., & GUIASOLA, J. (2018). Influencia de la formación y la investigación didáctica del profesorado de ciencias sobre su práctica docente. *Enseñanza de las Ciencias*, 36(1), 25-44.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2355>.
- STRIEDER, R. B., BRAVO, B., & GIL, M. J. (2017). Ciencia-tecnología-sociedad: ¿Qué estamos haciendo en el ámbito de la investigación en educación en ciencias? *Enseñanza de las Ciencias*, 35(3), 29-49.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.223>.
- SHULMAN, L. S. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14.
<https://doi.org/10.3102/0013189X015002004>.
- TALANQUER, V. (2014). Conocimiento didáctico del contenido y progresiones de aprendizaje. En: A. Garritz, M. G. Lorenzo & S. F. Daza-Rosales (eds.), *Conocimiento didáctico del contenido. Una perspectiva iberoamericana*. Saarbrücken, Academia Española.
- TOBIN, K. (2010). Reproducir y transformar la didáctica de las ciencias en un ambiente colaborativo. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(3), 301-313.
- TOULMIN, S. (1977). *La comprensión humana*. Madrid, Alianza.
- TSAI, C. C. (2006). Reinterpreting and reconstructing science: Teachers' view change stoward the nature of science by courses of science education, *Teaching and Teacher Education*, 22(3), 363- 375.
<https://doi.org/10.1016/j.tate.2004.06.010>.
- VAN DE POL, J., VOLMAN, M., & BEISHUIZEN, J. (2010). Scaffolding in teacher student interaction: A decade of research. *Educational Psychology Review*, 22(3), 271-296.
- VAN DER VALK, T., & DE JONG, O. (2009). Scaffolding Teachers in Open-Inquiry Teaching. *International Journal of Science Education*, 31(6), 829-850.
<https://doi.org/10.1080/09500690802287155>.
- VAN DRIEL, J. H., BERRY, A., & MEIRINK, J. (2014). Research on Science Teacher Knowledge. En: N. G. Lederman & S. K. Abell (eds.), *Handbook of Research on Science Education*. Abingdon, Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9780203097267.ch42>.
- VIGOTSKY, L. S. (1979). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Barcelona, Crítica.
- VILCHES, A., GIL, D., & PRAIA, J. (2011). De CTS a CTSA: Educacao por um futuro sustentável. En: W. Santos & D. Auler (eds.), *CTS e Educacao científica, desafio, tendências e resultados de pesquisa*. Brasília, UnB.

- WOOD, D., BRUNER J., & ROSS, G. (1976). The role of tutoring in problem solving. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 17, 89-100.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.1976.tb00381.x>.
- ZEICHNER, K. M. (1995), Reflections of a teacher educator working for social change. En: T. Russell & F. Korthagen (eds.), *Teachers Who Teach Teachers*. London, Falmer Press.
- ZEMBAL-SAUL, C. (2009). Learning to teach elementary school science as argument. *Science Education*, 93(4), 687-719.
<https://doi.org/10.1002/sce.20325>.

Conscious Science Education

Rafael Porlán Ariza

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales, Universidad de Sevilla, España
rporlan@us.es

This paper is based on the conference I gave on the 10th International Conference on Research in Science Education under the heading *Past Achievements and Future Challenges*. The first part of this paper delivers a vision on the most important consensus achieved by the research community on this area of knowledge. It specially analyzes the fact that, as compared with cases implied on the transmissive model, those trying to learn and those trying to teach are *epistemic subjects* capable of changing and building valuable meanings in connection with science teaching and learning, always under adequate context and support. It also claims that they can establish democratic and oriented positive interactions which can promote the enrichment of the common knowledge of the citizenry. Lastly, it offers an evolutionary view of science and highlights the fact that, far from being a neutral knowledge, this is strongly conditioned by the historical, social and economic context that produces it.

Secondly, this paper describes and argues some of the essential aspects of the emerging paradigm of science education. It proposes some goals centered on a real scientific literacy of the citizenry and on the needs and interests of the social majority, promoting the fulfilment of Human Rights, those of the children and of the planet Earth. It also adds the theoretical bases of that paradigm informed by a complex social-constructivist vision which is critical in the teaching-learning and teacher-training processes. Finally, in a strictly didactic and curricular area, it suggests a perspective on the contents as process and not as final products, highlighting the importance of systemic relations between them and with the social and environmental issues that are relevant. This is a guided research methodology for those trying to learn and an evaluation that is formative and *learning-oriented*.

Lastly, this paper analyzes the reason why the change of paradigm never seems to take place and does not have the effect it should, underlining the political and ideological obstacles that prevent this from happening. In order to revert this situation a phased and sustained approach is proposed, based on *Teaching Improvement Cycles* and on *Experimentation Networks* as a way to transmit teaching innovation, learning, and research. It also highlights the importance of centering the researchers' efforts on the collection of empirical evidence, showing the achievements of the new paradigm as the best way to thoroughly defend the need of its diffusion, both in relation with students' learning science and teachers' professional learning.