



Enseñando ciencia CON CIENCIA

Coordinadores

Digna Couso
M. Rut Jiménez-Liso
Cintia Refojo
José Antonio Sacristán



Esta obra ha sido publicada gracias a la iniciativa e impulso de la FECYT y de la Fundación Lilly.

Las opiniones expresadas en los contenidos son las de los autores y no reflejan necesariamente los puntos de vista de la Fundación Lilly, FECYT y Penguin Random House Grupo Editorial.

© 2020, los autores

© 2020 Fundación Lilly
Avenida de la Industria, 30
28108 Alcobendas (Madrid)
Tel. +34 91 781 5070
fl@fundacionlilly.com

© 2020 FECYT
C/ Pintor Murillo, 15
28100 Alcobendas (Madrid)
Tel. +34 91 425 09 09
comunicacion@fecyt.es

e-NIPO: 831200251

ISBN: 978-84-010-5931-5

Diseño y maquetación: Imagen & Producto

Imprime: Penguin Random House Grupo Editorial

Primera edición: febrero 2020

Cómo citar:

Couso, D., Jimenez-Liso, M.R., Refojo, C. & Sacristán, J.A. (Coords) (2020) *Enseñando Ciencia con Ciencia*. FECYT & Fundación Lilly. Madrid: Penguin Random House.



ÍNDICE

PRÓLOGO	4	PARTE 3: enseñar ciencias es preparar personas para participar en una sociedad democrática con valores	87
INTRODUCCIÓN	8	3.1 Ciencia en todo y para todos. Susanna Tesconi y Bárbara de Aymerich	88
PARTE 1: aprender ciencias es conectar ideas personales con otras más potentes y fructíferas	13	3.2 La ciencia con ciencia entra, pero sin estereotipos de género. Marta Macho-Stadler	100
1.1 Aprender ciencias es reconstruir las ideas personales por medio del diálogo con otras personas y otros conocimientos. José Ignacio Pozo	14	3.3 Aprender ciencias es acercarlas a nuestro entorno y aprender a leer un mundo complejo con ellas. Jordi Domènech y Juan José Sanz Ezquerro	110
1.2 Qué sabemos de la importancia del valor del error y de su gestión para el aprendizaje. Neus Sanmartí	24	PARTE 4: aprender ciencia es una experiencia emocional y afectiva	121
1.3 Pruebas desde la neurociencia para la mejora del aprendizaje. José Ramón Alonso	39	4.1 Pruebas de la neurociencia sobre el papel de las emociones para la educación. David Bueno	122
PARTE 2: aprender ciencias es cambiar la forma de generar y validar el conocimiento	52	4.2 Alfabetización científico-ambiental basada en evidencias y educación para la sostenibilidad. José Gutiérrez Pérez	132
2.1 Aprender ciencia escolar implica aprender a buscar pruebas para construir conocimiento. M. Rut Jiménez-Liso	53	PARTE 5: enseñamos ciencias de acuerdo a nuestras creencias sobre cómo se aprende mejor	144
2.2 Aprender ciencias involucra aprender ideas potentes de la ciencia: la modelización ayuda a la explicación-predicción de fenómenos. Digna Couso	63	5.1 El impacto de los “neuromitos” en la formación y el desempeño profesional. Marta Ferrero	145
2.3 ¿Cómo sabemos lo que sabemos? Mediante la argumentación y el uso de pruebas, herramientas para aprender y desarrollar el pensamiento crítico. Marilar Jiménez Aleixandre	75	5.2 La formación inicial y permanente de docentes de ciencias como proceso a largo plazo fundamentado en la investigación. Ana Rivero y Francisco López	153

PRÓLOGO

La Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT), institución dependiente del Ministerio de Ciencia e Innovación, tiene entre sus objetivos estratégicos fomentar la educación científica de todos los ciudadanos con el fin de aumentar su conocimiento, interés y participación en la ciencia.

Los datos de la Encuesta de Percepción Social de la Ciencia y la Tecnología 2018, que FECYT realiza cada dos años, no dejan lugar a dudas sobre la necesidad de reforzar las acciones de divulgación y de educación científica: una mayoría de los ciudadanos (51,2%) cree que es difícil comprender la ciencia y cuatro de cada diez españoles (40,6%) considera, que el nivel de educación tecnocientífica que ha recibido es bajo o muy bajo.

Esta misma encuesta también pone de manifiesto que —en una parte considerable de la población— existe confusión a la hora de analizar de manera crítica la información relacionada con la ciencia.

La campaña de sensibilización y comunicación #coNprueba, puesta en marcha por el Gobierno de España, a través del Ministerio de Ciencia e Innovación, tiene como objetivo principal promover una sociedad

más crítica e informada en ciencia y salud, que apueste por el conocimiento, la evidencia y el rigor científico.

Es importante impulsar el pensamiento racional crítico y ello implica que la propia forma de educar en la escuela se apoye en la mejor evidencia científica disponible.

En la actualidad, en nuestro país existe una importante brecha entre la investigación y las prácticas educativas. El conocimiento relevante para comprender el aprendizaje proviene de diversas disciplinas que abordan desde los procesos cognitivos implicados en él mismo hasta los afectivos o culturales. Este hecho, sumado a las propias características de la investigación y la enseñanza, así como la idiosincrasia de cada aula y grupo de estudiantes, hace que trasladar los resultados de la investigación al aula no resulte una tarea sencilla.

Para reducir la brecha entre investigación y práctica debemos tratar de integrar la experiencia profesional de los docentes con la evidencia proveniente de la investigación, por lo que el papel de los profesores resulta crucial.

Las estrategias educativas basadas en la evidencia pueden contribuir, en gran medida, a mejorar los resultados de los estudiantes y a una optimización de los recursos destinados a aquellas, proporcionando una enseñanza científica equitativa y de calidad centrada en los resultados.

En FECYT hemos puesto en marcha una línea de trabajo dirigida a acercar las aplicaciones de la ciencia del aprendizaje y la práctica que se desarrolla en las aulas. Esta iniciativa, que cuenta con la colaboración de investigadores en pedagogía, neurociencia, psicología, didáctica, formadores, profesores de primaria y secundaria, persigue varios objetivos.

Uno de ellos es mejorar el conocimiento de los educadores, dotándoles de las habilidades críticas necesarias para comprender y evaluar la calidad de la investigación en el ámbito de la educación.

Por otra parte, queremos relacionar a los distintos agentes educativos (profesores, académicos, investigadores, responsables políticos, formadores de profesores, padres, etc.) con el fin de mejorar la comunicación y colaboración entre ellos.

Y, por último, queremos ayudar a los educadores a tomar conciencia de los sesgos existentes en su propia comprensión del aprendizaje y la educación, desterrando algunos mitos extendidos en el ámbito educativo. Todo ello implica empoderar a los educadores para que puedan tomar decisiones independientes e informadas sobre lo que ha demostrado obtener mejores resultados.

Esta perspectiva supone, por tanto, que los educadores puedan tomar decisiones guiadas por la mejor evi-

dencia disponible, aumentando así su independencia profesional, a menudo sometida a modas interesadas o “innovaciones” educativas sin fundamento que calan en la sociedad y menoscaban su autoridad.

Esta publicación tiene por objetivo identificar aquellas estrategias educativas que cuentan con una amplia evidencia científica que esperamos sirvan de ayuda al profesorado. Disponer de evidencia transferible a la práctica educativa y usar dicha evidencia para tomar decisiones en el ámbito de la educación puede permitir, en último término, promover la implementación de estrategias y políticas educativas avaladas por resultados y, por tanto, más efectivas y menos permeables a intereses ideológicos o económicos.

El reconocido científico y divulgador Carl Sagan decía que cada esfuerzo por clarificar lo que es ciencia y generar entusiasmo popular sobre ella es un beneficio para nuestra civilización global. Por ello, confío en que esta publicación sea de gran utilidad para la comunidad educativa en aras de mejorar la cultura científica de la sociedad.

Paloma Domingo García

Directora general

Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT)

Enseñar ciencia es enseñar a pensar. Es enseñar a buscar la verdad, a mirar el mundo con ojos diferentes, a sorprenderse con lo cotidiano, a entender que muchas de las cosas que damos por hechas probablemente son distintas a como creemos que son, a diferenciar entre creencias y pruebas, a estimular la curiosidad; a mostrar que avanzamos gracias a los errores, que aprender matemáticas no es memorizar fórmulas, o que los científicos son personas normales.

Nuestro sistema educativo es un reflejo de nuestra cultura, y viceversa. Nos guste o no, España es un país que ha vivido de espaldas a la ciencia. La famosa frase “que inventen ellos”, pronunciada con cierta ironía por Miguel de Unamuno, pretendía reflejar nuestro desinterés histórico por la ciencia y la tecnología. Nuestra cultura científica es baja, al igual que los son las aportaciones científicas que España ha realizado al mundo a lo largo de la historia. Desgraciadamente, la ciencia no interesa, y fruto de ese desinterés es la escasa inversión dedicada a la investigación en comparación con los países de nuestro entorno.

Pero no es bueno caer en el derrotismo, sino todo lo contrario. La situación descrita debe ser un aliciente para identificar las causas del problema y poner en marcha soluciones. Y podemos afirmar, sin temor a equivocarnos, que una parte del problema está en un sistema educativo en vías de modernización, que no ha conseguido hacer perder el miedo a la ciencia, ni

fomentar todas las vocaciones científicas que nuestra sociedad necesita para tener un futuro mejor.

Afortunadamente, poco a poco, este panorama está cambiando. Estamos dando los primeros pasos, los más importantes, que consisten en concienciarnos de la existencia del problema y de la necesidad de poner soluciones. Este libro nace de la convicción de que en España es posible mejorar la enseñanza de las ciencias en la educación primaria y secundaria. Contamos con magníficos profesores que, en muchos casos, no tuvieron la oportunidad de aprender los métodos más idóneos para enseñar ciencia. Por fortuna, hoy sabemos que hay formas de enseñar la ciencia que funcionan y otras que no funcionan. El objetivo de este proyecto es poner al alcance de los profesores españoles una guía sobre los métodos más idóneos para enseñar ciencia. El objetivo es enseñar ciencia con ciencia.

Desde su creación hace 20 años, la Fundación Lilly ha tenido como objetivo prioritario mejorar la situación de la ciencia en España. Los premios Fundación Lilly de Investigación Biomédica se encuentran entre los más prestigiosos del país. Pero somos conscientes de que no es suficiente con reconocer la labor de nuestros mejores científicos. Sabemos que la estructura de la ciencia tiene la forma de un montón de arena y que solo es posible elevar su nivel si se amplía la base de sustentación. Por este motivo, durante los últimos

años se ha puesto en marcha el proyecto **Citas con la Ciencia**, cuyo objetivo es mejorar la cultura científica en la sociedad. Asimismo, este libro, **Enseñando ciencia con ciencia**, que forma parte de dicho proyecto, es sin ninguna duda nuestra iniciativa más ambiciosa y en la que, por su potencial alcance, hemos puesto más ilusión.

Los capítulos que forman este libro son fruto de la labor de un grupo de trabajo excepcional, compuesto por profesionales referentes en su campo de conocimiento y coordinados por Digna Couso y M. Rut Jiménez-Liso, dos expertas en docencia de la ciencia, que asumieron el reto de dirigir una obra con dos características difíciles de aunar: el rigor científico y la sencillez. En cada uno de los capítulos, los autores referencian cuáles son las pruebas existentes para cada una de las recomendaciones que proponen, al tiempo que plantean ejercicios que faciliten llevarlas a la práctica por parte de los docentes. Queremos agradecer a todos los autores su esfuerzo, su dedicación y la enorme ilusión que han puesto en el proyecto.

También queremos agradecer a la FECYT (Fundación Española de Ciencia y Tecnología), con quien la Fundación Lilly comparte tantos objetivos, su apoyo a esta iniciativa y la posibilidad de coordinarla conjuntamente. Somos conscientes de que un proyecto de esta envergadura requiere colaboración, no solo en su realización, sino también en su difusión. La labor de

FECYT, será crítica para que los conocimientos vertidos en el libro lleguen a sus destinatarios finales, que son los alumnos españoles.

Es urgente enseñar ciencia con ciencia. No se trata tan solo de generar más vocaciones científicas entre las nuevas generaciones de alumnos y alumnas. Inculcar los valores de la ciencia sirve, sobre todo, para formar ciudadanos más críticos, personas que, en un mundo inundado por la demagogia y las noticias falsas, sean capaces de pensar por sí misma y elegir con criterio y libertad. Enseñar ciencia con ciencia es fomentar la mentalidad científica de la sociedad, un requisito indispensable para el avance de nuestra cultura y nuestra democracia. Enseñar ciencia es, en definitiva, enseñar a pensar.

José Antonio Sacristán

Director de la Fundación Lilly



INTRODUCCIÓN

Desde hace unos años vivimos y esperamos tiempos de grandes cambios a nivel económico, social, medioambiental, y por ende también educativo. Nunca antes han tenido semejante repercusión mediática tanto los resultados educativos como las propuestas para mejorarlos, generándose un estado de opinión permanente entre padres, madres, docentes, legisladores, periodistas, etc. Esta preocupación social generalizada parece querer encontrar la receta mágica educativa que consiga perfeccionar el sistema educativo y desarrollar el máximo potencial de los escolares. La educación ha pasado a ser un tema de conversación recurrente con opiniones no siempre fundamentadas o acertadas.

Junto con esta presión social, hay un creciente empoderamiento de la profesión docente hacia un movimiento de mejora y de búsqueda de la calidad de la docencia. Es habitual encontrar en las redes sociales publicaciones donde los docentes comparten materiales propios, metodologías y reflexiones, así como cursos que les interesan o comentarios de noticias relacionadas con la mejora de la enseñanza en general y de las ciencias en particular.

En este escenario, los docentes más veteranos sienten cómo se cuestiona su trabajo diario y continuo a favor de metodologías, tecnologías o recursos novedosos que no siempre son innovadores ni responden a sus demandas de mejora del aprendizaje en las aulas. Y los docentes noveles, que suelen egresar de los títulos de educación inseguros y con escasas experiencias vividas de buenas prácticas de aula que les sirvan de modelo a seguir, se suelen apuntar a modas educativas no siempre avaladas por la investigación existente. En este escenario de confrontación cada docente parece tener que elegir entre ser un profesional anticuado o moderno, cuando la elección debiera centrarse en qué estrategias, innovadoras o no, le permiten generar el máximo potencial de aprendizaje en todo su alumnado.

Por eso el título de este manual, *Enseñando ciencia con ciencia*, en la primera de sus posibles acepciones quiere hacer hincapié en la necesidad de conectar la práctica docente de enseñanza de las ciencias con la abundante investigación científica existente en el ámbito. Este cuerpo de investigación interdisciplinario, que aglutina resultados de la neurociencia, la psicología del aprendizaje, la pedagogía y, sobre todo, la didáctica de las ciencias, nos aporta pruebas científicas y consensos sobre lo que hoy día sabemos que funciona y no funciona en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias.

El objetivo es orientar la docencia hacia una práctica más científica, es decir, fundamentada en aquellos principios o ideas consensuados por la comunidad educativa porque los avala la abundancia de resultados sobre su eficacia para el aprendizaje de las ciencias.

Al ser la educación un fenómeno altamente cultural y contextual, se requiere que cada docente pueda adaptar a su estilo propio, a las necesidades de su alumnado y a las demandas de su entorno aquellos principios e ideas avalados desde la investigación. En este sentido, con enseñanza de las ciencias más “científica” no nos referimos a una enseñanza de las ciencias prescriptiva, basada en protocolos estandarizados que el docente debe aplicar a rajatabla. Tampoco nos referimos a una enseñanza de las ciencias altamente reactiva, que sugiera replantearse irreflexivamente la acción docente en base a cada nuevo resultado de la investigación cognitiva, educativa y didáctica.

La enseñanza de las ciencias basada en pruebas hace referencia a una práctica educativa altamente reflexiva que, en lugar de ignorar el conocimiento fiable, validado y consensuado, asume un compromiso con la actualización didáctica y se muestra abierta a nuevos cuestionamientos.

Esta conexión investigación-práctica docente afecta tanto a la enseñanza de las ciencias desde infantil hasta los niveles universitarios como a la propia

investigación sobre enseñanza y aprendizaje. Una enseñanza de las ciencias basada en pruebas, además de usar y difundir los resultados obtenidos, interpela a la propia investigación para generar más pruebas donde las evidencias son insuficientes o inexistentes. Esta doble dirección entre investigación y práctica docente robustece y obliga a aterrizar en el aula a la investigación, la condiciona a ser capaz de producir pruebas capitalizando estudios anteriores y a desarrollar productos compartidos y consensos construidos conjuntamente con los docentes que guían las situaciones diversas de aula.

El equipo de trabajo interdisciplinar e internivelar, conformado por docentes e investigadores de didáctica de las ciencias, neurociencia, psicología o pedagogía, que participa en este manual asume el reto de realizar un doble esfuerzo de vinculación entre investigación y aula: identificar problemáticas de la enseñanza de las ciencias generalizables, y al mismo tiempo aportar pruebas de calidad sobre aquello que funciona en diferentes contextos.

Este manual tiene como objetivo principal acercar los resultados de la investigación interdisciplinar relacionada con la educación científica a los docentes para que se animen a aplicarlos en sus aulas o, en el caso de los muchos y muchas que ya lo hacen, para que se sientan respaldados y reforzados con pruebas obtenidas de decenas de años de investigación en enseñanza

de las ciencias. Con ello, pretendemos que los docentes ávidos de mejorar su práctica se convierten en el motor del cambio educativo idóneo en el que los resultados de investigación les sirvan de guía y, para los que ya están en ello, de respaldo de la mejora de la calidad de la educación científica.

Y, pensando en este objetivo de utilidad, cada capítulo comienza con una breve introducción para continuar con dos partes bien diferenciadas: una primera sección titulada “Sabías que...”, donde desgranamos las grandes ideas que surgen de la investigación y sus implicaciones para la enseñanza de las ciencias; y una segunda de “Edu-mitos”, que hace referencia a creencias, bulos y/o ideas simplificadoras que hay que ayudar a modificar en el bagaje docente. Al identificarlas con la palabra mito no queremos bajo ningún concepto minusvalorar la importancia y profundidad de estas ideas, pues con ello estaríamos contribuyendo a asegurar su persistencia. Solo nos hemos tomado esta licencia para conectar con algunas de las creencias más habituales del profesorado que debemos repensar y poner en conflicto, porque se contradicen parcialmente con aquello que la investigación didáctica ha demostrado. Cada capítulo concluye con las reseñas bibliográficas de una selección de investigaciones que sustentan las ideas incluidas y que esperamos sirvan de conexión con muchas más investigaciones reseñadas en ellas.

El libro consta de cinco partes, con trece capítulos agrupados en ellas. En la primera parte, queremos incidir en las principales pruebas de la investigación sobre el aprendizaje de las ciencias; en concreto, la necesidad de conectar ideas personales con otras más potentes y fructíferas. Este bloque lo hemos dividido en tres capítulos: en el primero José Ignacio Pozo sintetiza la vasta producción científica sobre las ideas personales y la necesidad de su reconstrucción mediante el diálogo con otras personas y otros conocimientos. Para este cometido se hace imprescindible un cambio en la evaluación; en concreto, Neus Sanmartí incide en para qué se evalúa y cómo se evalúa. El bloque destinado al aprendizaje concluye con el capítulo de José Ramón Alonso, sobre las pruebas de la neurociencia para la mejora del aprendizaje.

El sentido común nos hace generar ideas personales de nuestro contacto con el mundo que nos rodea. Aprender ciencias requiere, además de la revisión de esas ideas, un cambio en la forma de generarlas y validarlas. Ya podemos aclarar aquí la segunda acepción del título de este manual, *Enseñando ciencia con ciencia*, pues la mejor forma de aprender ciencias es practicando sus formas de hacer, hablar y pensar en el aula. A ello dedicaremos el segundo bloque, con tres capítulos dedicados a las principales prácticas de la ciencia: la indagación (M. Rut Jiménez-Liso), la modelización (Digna Couso) y la argumentación (Marilar Jiménez Aleixandre).

El cambio en la forma de generar y validar conocimiento que proporciona la ciencia debe preparar a las personas para participar en una sociedad democrática con valores (bloque 3) y a ello hemos dedicado los siguientes tres capítulos. Primero reconociendo, como señalan Susanna Tesconi y Bárbara de Aymerich, que la ciencia está en todo y es para todos y todas. Y desde una perspectiva de equidad esto implica, como señala Marta Macho, ser conscientes de los estereotipos de género presentes en la actividad científica y sus implicaciones en el aula. El objetivo final, tanto para la educación como para la divulgación científica, es, como proponen Juan José Sanz y Jordi Domènech la necesidad de acercar la ciencia a todas las personas para ayudarla a navegar en este complejo mundo de forma informada.

En el cuarto bloque de capítulos nos centramos en la parte emocional y afectiva del aprendizaje de las ciencias, donde David Bueno destaca las pruebas que la neurociencia aporta a la educación científica sobre emociones, y José Gutiérrez señala las evidencias para una educación para la sostenibilidad ligada a la conexión afectiva con el planeta.

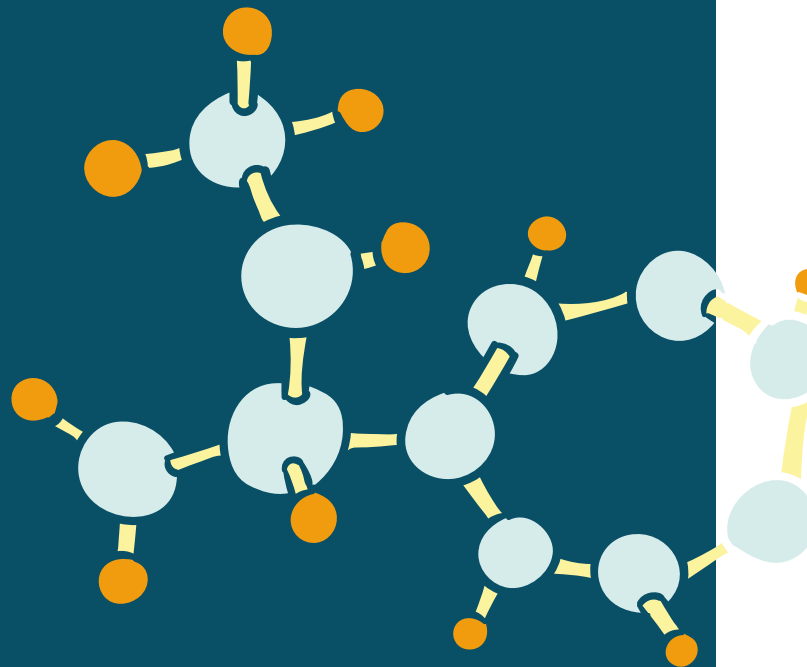
Como hemos indicado al principio de esta introducción, queremos que este manual sea un instrumento útil para los docentes interesados en mejorar el aprendizaje de las ciencias de su alumnado y, cómo no, también

para que lo compartan con otros docentes y se produzcan procesos de formación colectiva. Para este fin hemos incluido el quinto bloque, con un primer capítulo donde Ana Rivero y Francisco López destacan que la formación docente (aprender a ser docentes) es un proceso de desarrollo profesional a largo plazo también fundamentado en investigación. El manual termina con el capítulo de Marta Ferrero, que zarandea los principales mitos que los docentes están recibiendo sobre la neuroeducación como invitación a continuar actualizándose y a consumir investigación de manera crítica y reflexiva.

Somos conscientes de que este manual no es exhaustivo y se podría ampliar por diferentes vertientes. La complejidad del fenómeno de enseñar y aprender, en general y ciencias en particular, hace que siempre que se aborde se deba escoger el foco, dejando aspectos importantes de lado. En esta ocasión hemos seleccionado aquellos aspectos que, a juicio de las coordinadoras y de las expertas y expertos participantes, nos parecía que eran fundamentales para un primer acercamiento a la enseñanza de las ciencias basada en pruebas. Desde nuestra perspectiva, se trata de aspectos sobre los que se goza de suficiente aval y consenso desde la investigación, y que son de gran utilidad para los docentes y los formadores de docentes/educadores.

A pesar de las limitaciones de esta publicación, nuestra aspiración con ella es ambiciosa. Deseamos que sirva para (re)iniciar una conversación que tenemos pendiente en enseñanza de las ciencias, tanto a nivel de docencia como de investigación, sobre qué sabemos realmente y qué implicaciones tiene esto que sabemos. Esperamos que en esta conversación participen un mayor número y diversidad de voces, incluyendo a docentes, padres-madres, administración, investigadores, etc., que nos ayuden a caminar hacia el objetivo de fundamentar nuestra práctica de aula en algo más que anécdotas, intuición y experiencia previa.


M. Rut Jiménez-Liso
Digna Couso





01

APRENDER CIENCIAS
ES CONECTAR IDEAS
PERSONALES CON
OTRAS MÁS POTENTES
Y FRUCTÍFERAS



Aprender ciencias es
reconstruir las ideas
personales por medio del
diálogo con otras personas
y otros conocimientos

JUAN IGNACIO POZO

En el presente capítulo nos centraremos en rebatir la metáfora según la cual los alumnos son una *tabula rasa* y llegan al aula sin ningún conocimiento, por lo que la función de la educación científica es ante todo proporcionarles esos saberes que no tienen. Uno de los datos más consolidados de la investigación sobre el aprendizaje y la enseñanza de la ciencia es que los alumnos, como el resto de las personas, tienen creencias intuitivas firmemente arraigadas, en muchos casos sin ser conscientes de ellas, sobre muchos de los fenómenos y los conceptos que estudia la ciencia. Por tanto aprender ciencia no es tanto repetir lo que dicen los científicos como cambiar esas representaciones previas, ligadas al sentido común y a la forma que su cuerpo interactúa con los objetos, tanto físicos como sociales. Se argumentará que la enseñanza de la ciencia debe ayudar no solo a explicitar esas creencias personales o intuitivas, sino también a reconstruirlas o cambiarlas por medio de un diálogo con otras formas de saber y pensar más complejas. Para ello se requerirá diseñar actividades que promuevan la reflexión sobre las relaciones entre unas ideas y otras, apoyándose en la interacción en pequeños grupos, mediante estrategias de aprendizaje cooperativo.



SABÍAS QUE...

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Todas las personas, ya desde la cuna, actuamos como científicos intuitivos y tenemos creencias sobre todo lo que sucede a nuestro alrededor.^{1,2}

- Dado que los alumnos tienen ya creencias sobre buena parte de los fenómenos que estudian, es necesario diseñar actividades de aula para activar esas creencias y trabajar a partir de ellas.³
- Sin embargo, buena parte de esas creencias intuitivas son implícitas, es decir, los alumnos no saben que las tienen, pero perciben el mundo y actúan en él de acuerdo con ellas.⁴
- El origen de esas creencias intuitivas es la forma en que nuestro cuerpo, ya desde la cuna, percibe, siente y actúa en el mundo: son las llamadas representaciones encarnadas o incorporadas.^{5,6}
- Por tanto, las actividades para trabajarlas no deben servir tanto para que los profesores las conozcan, ya que para ellos hay catálogos muy completos⁷, sino para que los propios alumnos tomen conciencia de ellas.³



SABÍAS QUE...

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Estas formas intuitivas de pensar, representarse el mundo e indagar sobre él son diferentes de las que ha elaborado la ciencia.^{1,4,6}

- La ciencia intuitiva en ocasiones lleva a predicciones erróneas, pero en otras no. Lo que diferencia a la ciencia intuitiva de la ciencia establecida no son tanto sus predicciones como las formas de acceder a ese conocimiento (sus formas de pensar o sus métodos) y de interpretarlas (las teorías que elabora la ciencia por medio de su propio lenguaje y sus formalizaciones).
- La ciencia intuitiva se basa en el aprendizaje implícito⁵, que nos proporciona respuestas ciertas, seguras, a preguntas que ni siquiera nos hemos llegado a hacer (podemos predecir si un objeto que se mueve hacia nosotros nos va a golpear sin necesidad de preguntarnos cómo se mueve). La ciencia formal es sobre todo un modo de preguntar y poner en duda de forma explícita las respuestas que vamos encontrando, siempre inciertas y provisionales.

Aunque sea errónea desde el punto de vista teórico, la ciencia intuitiva es muy útil y eficaz para interactuar con el mundo en la vida cotidiana: lleva a predicciones y acciones correctas desde el punto de vista de su propia experiencia.⁴

- La ciencia intuitiva tiene una función pragmática: es válida porque que tiene éxito, es útil en la vida cotidiana. La ciencia formal va más allá y sirve para comprender, para responder a preguntas que empiezan con un “por qué”.
- Por tanto, para que los alumnos duden de sus intuiciones hay que enfrentarles a problemas, nuevas situaciones que no puedan predecir correctamente, o requerirles que expliquen y den sentido a sus intuiciones (por ejemplo, qué podemos hacer para que los objetos, las bolas de nieve, o los pájaros del videojuego *Angry Birds*, caigan más lejos).⁶

Para ayudar a los alumnos a cambiar su ciencia intuitiva no hay que forzarles a abandonarla por errónea, sino a reconstruirla al dialogar con el conocimiento científico, en un proceso de integración de saberes.⁹

- La ciencia intuitiva no se abandona nunca del todo, ya que es fruto de cómo nuestro cuerpo interactúa con el mundo y de nuestro sentido común¹⁰. Los científicos y los profesores de ciencias también usan su ciencia intuitiva: a pesar de saber que temperatura y calor no son sinónimos siguen usando “qué calor hace” en vez de “qué temperatura más elevada hace en esta habitación”.
- Por tanto, el objetivo de la educación científica no debe ser que los alumnos abandonen del todo sus intuiciones, sino que sepan dudar de ellas, repensarlas y explicarlas desde modelos teóricos más complejos.
- Se trata de que los alumnos reinterpreten y expliquen lo que sienten y perciben diariamente a partir del conocimiento científico que van adquiriendo, y no, como suele suceder, al revés: que reinterpreten las ideas científicas en función de su experiencia (atribuyendo propiedades macroscópicas a las partículas, o confundiendo fenotipo y genotipo, o calor y temperatura).⁷



SABÍAS QUE...

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Para que los alumnos tomen conciencia de sus intuiciones y las puedan repensar, la mejor vía es compararlas con las de otros, dialogar en el aula con el conocimiento científico y con las ideas de otros compañeros.

- Frente a una enseñanza monológica, en la que la voz de los docentes *explica* el conocimiento establecido, los espacios dialógicos (en los que se cruzan varias voces y se interpelan unas a otras, fomentando la contratación de ideas y la argumentación) son más eficaces para un aprendizaje dirigido a la comprensión y a la reconstrucción de la ciencia intuitiva de los alumnos.¹¹

El aprendizaje cooperativo produce mejores resultados que el aprendizaje individual o la competición entre los alumnos.¹²

- Cuando el trabajo en grupo da lugar a verdadera cooperación con los compañeros, produce mejores aprendizajes no solo en las relaciones sociales, sino que también promueve la comprensión y un aprendizaje más autónomo.
- No basta con hacer que los alumnos trabajen en grupo, sino que hay que fomentar la cooperación entre ellos mediante estrategias didácticas específicas (que se detallarán al final de esta parte).¹³

Finalmente, al igual que los alumnos tienen una ciencia intuitiva que deben repensar, los profesores tenemos una psicología y una pedagogía intuitiva (el conjunto de creencias que se detallan seguidamente) que también debemos repensar.¹⁴

- El sentido común, compartido a partir de esas experiencias corporales, no solo genera creencias sobre el mundo natural, sino también sobre el social, incluidas las experiencias de enseñanza y aprendizaje. Al igual que tenemos una ciencia intuitiva muy arraigada, tenemos también una psicología y una pedagogía implícita, que, sin darnos cuenta, rige muchas de nuestras acciones docentes.
- Si no logramos tomar conciencia de esas creencias implícitas sobre el aprendizaje y la enseñanza de la ciencia, probablemente perpetuaremos modelos docentes tradicionales de escasa eficacia para el aprendizaje.



- ✘ Los alumnos son una *tabula rasa*, no tienen conocimientos científicos, así que nuestra función es darles los conocimientos de los que carecen.**¹⁵

 - Dado que ya tienen conocimientos o ideas previas, en gran medida implícitas, nuestra función es ayudarles a tomar conciencia de ellas y analizarlas críticamente, para cambiarlas.^{3,6}
 - Proporcionar el saber establecido no es suficiente para que los alumnos comprendan la ciencia, ya que para ello deben repensar su ciencia intuitiva.^{4,6}
 - Si enseñamos la ciencia disociada de las experiencias cotidianas en que se asienta esa ciencia intuitiva, en el mejor de los casos los alumnos usarán los conocimientos científicos en el aula para superar las evaluaciones, pero no para dar sentido a sus experiencias cotidianas, donde seguirán usando sus ideas intuitivas.^{3,4,6}

- ✘ Las ideas intuitivas de los alumnos son erróneas y por tanto cuando las manifiestan en clase debemos corregirlas de inmediato, para evitar que sus compañeros las den por buenas y se contagien de ellas.**

 - Si corregimos de inmediato las ideas “erróneas” de los alumnos, tenderán a ocultarlas y de esta forma difícilmente las cambiarán.
 - Los errores en ciencia suelen ser muy productivos; no solo informan de las dificultades conceptuales de los alumnos, sino que explorar esos errores ayuda a superarlos, en lugar de a evitar cometerlos por miedo a una evaluación negativa.¹⁶
 - Deben ser los propios alumnos, con la guía de los docentes, los que, a través del diálogo, acaben por reconstruir esas diversas ideas para llegar a un conocimiento más complejo.⁹

- ✘ Los alumnos solo pueden pensar sobre los conocimientos científicos cuando tienen ya desarrolladas formas de pensamiento abstractas.**¹⁵

 - Es más bien al revés. El pensamiento abstracto o científico es una construcción social que solo surge en la medida en que los alumnos se enfrentan a situaciones que lo requieren. Si no les hacemos pensar como científicos nunca llegarán a hacerlo.¹⁷
 - Adaptando las tareas, las preguntas y las invasiones a cada momento del desarrollo, se puede hacer ciencia a todas las edades. Incluso los niños de preescolar pueden formular y comprobar hipótesis en contextos delimitados.¹⁸



EDU—MITOS

LO QUE LA INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA HA DEMOSTRADO

✘ El trabajo en grupo diluye la responsabilidad individual y solo los más interesados aprenden.

- Eso es así cuando el trabajo en grupo no se apoya en la cooperación y no fomenta la construcción conjunta de significados. La cooperación es una situación en la que la solución encontrada por el grupo es mejor que cada una de las aportaciones individuales de sus componentes.^{13,19}
- El trabajo cooperativo fomenta la responsabilidad con los compañeros, favoreciendo que los alumnos adquieran un sentido de competencia²⁰ y se impliquen más en la tarea sobre todo si tienen un cierto grado de autonomía en sus decisiones.²¹

✘ Basta con ponerles a trabajar en grupo para que los alumnos aprendan cooperativamente.

- La mayor parte de los aprendizajes en equipo no implican cooperación, sino que mantienen un modelo tradicional de división social del trabajo, en el que cada participante hace una tarea distinta, que luego se suma a las demás, en lugar de multiplicarse a través de la cooperación.
- Hay que enseñar específicamente estrategias de cooperación, diseñando actividades que fomenten y entrenen su uso, que deben ser supervisadas por los docentes.^{13,21}

✘ Al agrupar a los alumnos es mejor hacerlo en grupos homogéneos en los que todos tienen el mismo nivel porque así avanzan juntos.

- Las agrupaciones heterogéneas favorecen un mejor aprendizaje al obligar a explicitar y contrastar puntos de vista distintos, niveles de conocimiento y/o capacidades diferentes.²²
- La diversidad es riqueza²³. Cuando los alumnos en un grupo se ponen fácilmente de acuerdo el aprendizaje tiende a ser escaso.
- En un grupo con alumnos con capacidades diversas, los menos capaces aprenden de los que tienen un conocimiento más avanzado, pero estos a su vez aprenden también al tener que ponerse en el punto de vista de sus compañeros y ayudar a su aprendizaje.^{13,23}



Activar de forma explícita las ideas previas de los alumnos favorece el aprendizaje de conceptos científicos: jugando al *Angry Birds*⁸

Cuando los alumnos se enfrentan a cualquier situación en la que están implicados conceptos científicos, ya sea en el aula o fuera de ella, tienden a actuar, sin ser conscientes de ello, en función de sus ideas o creencias intuitivas sobre ese fenómeno. Hay muchas investigaciones que muestran que cuando se facilitan, mediante alguna actividad o tarea, esas ideas de forma explícita y se hace que los alumnos reflexionen sobre ellas, el aprendizaje de los conceptos implicados mejora. Veamos una de estas situaciones.

En un estudio⁸ se intentó comprobar si jugar al célebre videojuego *Angry Birds* mejora la comprensión de los conceptos de cinemática que están implicados en él.

En la investigación, realizada con alumnos de 1º de Bachillerato que estaban en ese momento estudiando esas nociones como parte de su currículo, se crearon cuatro grupos experimentales: los alumnos del grupo (1) jugaban sin recibir ninguna instrucción adicional; los del grupo (2) recibían la instrucción de que, tras jugar, debían explicar por escrito a un

supuesto compañero qué variables influían en que el pájaro/proyectil llegara más lejos, para lo que debían responder a un cuestionario y argumentar sus respuestas; los del grupo (3) hacían esta misma tarea pero en equipo, por parejas; y había un grupo (4) de control, que no jugaba.

De forma muy resumida, los resultados mostraron que los alumnos de los grupos 2 y 3, que tenían que pensar en qué variables creían que influían, reflexionar sobre ellas y explorar en el juego su efecto, mejoraban más su comprensión de los conceptos implicados (que había sido medida previamente en todos los grupos) que los alumnos que no jugaban (grupo 4), pero también que los que se limitaban a jugar sin activar explícitamente sus ideas previas. Además de mostrar que el juego en sí mismo (intentar pasar cuantas más pantallas mejor) no hace aprender, sino que se requiere jugar con metas de aprendizaje, este estudio ilustra cómo activar las propias ideas y reflexionar sobre ellas conducen a un mejor aprendizaje de conceptos científicos.

Sin embargo, el estudio fracasó en otra de sus hipótesis, que era que los alumnos que jugaban explicando lo que pasaba en parejas (grupo 3) tendrían un mayor aprendizaje que los que jugaban solos (grupo 2). Y es que los alumnos del grupo 2 jugaban juntos, pero no cooperaban porque no habían sido instruidos adecuadamente para ello.



Algunas ideas-guía para fomentar la cooperación en el trabajo en grupo

La propia cultura educativa y las prácticas sociales tienden a fomentar el individualismo, en el marco de una cultura taylorista¹⁵ basada en la división social del trabajo, que tan bien ilustrara Chaplin en su genial parodia en **Tiempos modernos**.

Esta tendencia al individualismo y la división social del trabajo se manifiesta incluso cuando se les invita a trabajar en grupo: con frecuencia suman sus aportaciones pero no colaboran. Por tanto, si queremos que ese trabajo en equipo conduzca a una verdadera colaboración —definida como la construcción conjunta de significados— es necesario diseñar actividades que cumplan una serie de requisitos, entre los que, de forma muy sumaria, debemos destacar:^{22,13}

- Hacer grupos de 3-4 alumnos, que permiten que todos participen y tengan voz, pero sin que las relaciones intrapersonales se vuelvan demasiado complejas o la voz individual se diluya.
- A ser posible que los grupos sean heterogéneos, ya que así se enriquece la conversación y el diálogo entre perspectivas y competencias diversas.

- Fijar una meta clara pero que no pueda ser alcanzada directamente solo por una persona, o en la que puedan surgir con facilidad puntos de vista diferentes que habrá que explicitar y contrastar.
- Asegurar que la responsabilidad individual no se diluye en el grupo, supervisando el trabajo de cada grupo; también puede ser una estrategia útil exigir que antes de la discusión grupal cada alumno deba realizar la tarea individualmente para construir un punto de vista propio desde el que dialogar con otras ideas.
- Proporcionar modelos y estrategias de las habilidades sociales implicadas en conductas cooperativas, ilustrando claramente qué patrones son cooperativos y cuáles no. Para ello se pueden usar diversos tipos de tareas o juegos que favorezcan la diferenciación entre distintos roles en la interacción social dentro del grupo.¹³
- Evitar que los grupos asuman estrategias **tayloristas**, en la que cada cual hace lo que sabe hacer mejor, pero no se implican en una construcción conjunta del significado en una verdadera cooperación. Para ello hay de nuevo muchas estrategias didácticas que pueden utilizarse en el aula¹³.
- Supervisar tanto las interacciones sociales que se producen dentro del grupo como el propio diálogo sobre los contenidos científicos trabajados, con el fin de optimizar ambos aprendizajes.

REFERENCIAS

1. Gopnik, A.; Meltzoff, A. y Kuhl, P. (1999). *The scientist in the crib*. Nueva York: William Morton.
2. Spelke, E. (1994). Initial knowledge: Six suggestions. *Cognition*, 50 (1-3), 431-445.
3. Cubero, R. (2000). *Cómo trabajar con las ideas de los alumnos*. Sevilla: Díada.
4. Pozo, J. I. y Gómez Crespo, M. A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia: del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid: Morata.
5. Pozo, J. I. (2017). Learning beyond the body: from embodied representations to explicitation mediated by external representations / Aprender más allá del cuerpo: de las representaciones encarnadas a la explicitación mediada por representaciones externas. *Infancia y Aprendizaje*, 40 (2), 219-276. <http://dx.doi.org/10.1080/02103702.2017.1306942>.
6. Bransford, J. D.; Brown, A. L. y Cocking, R. R. (2000). *How people learn: Brain, mind, experience, and school: Expanded edition*. Washington, DC: National Academy Press.
7. Driver, R.; Squire, A.; Rushworth, P. y Wood-Robinson, V. (1994). *Dando sentido a la ciencia en secundaria: investigaciones sobre las ideas de los niños*. Madrid: Visor, 1999.
8. De Aldama, C. y Pozo, J. I. (2019). Do you want to learn Physics? Please play Angry Birds (but with epistemic goals). *Journal of Educational Computing Research*. <http://dx.doi.org/10.1177/0735633118823160>.
9. Linn, M. C. (2006). The Knowledge Integration Perspective on Learning and Instruction, R. K. Sawyer (ed.). *The Cambridge handbook of the learning sciences* (pp. 243-264). Nueva York; Cambridge University Press.
10. Pozo, J. I.; Gómez Crespo, M. A. y Sanz, A. (1999). When conceptual change does not mean replacement: different representations for different contexts. Schnotz; Vosniadou y Carretero (eds.). *New Perspectives on conceptual change* (págs. 161-174). Oxford: Elsevier.
11. Asterhan, C. S., y Schwarz, B. B. (2007). The effects of monological and dialogical argumentation on concept learning in evolutionary theory. *Journal of educational psychology*, 99(3), 626.
12. Springer, L.; Stanne, M. E. y Donovan, S. S. (1999). Effects of small-group learning on undergraduates in science, mathematics, engineering, and technology: A meta-analysis. *Review of educational research*, 69(1), 21-51.
13. Monereo, C. y Durán, D. (2002). *Entramados: métodos de aprendizaje cooperativo y colaborativo*. Barcelona: Edebé.
14. Pozo, J. I.; Scheuer, N.; Pérez Echeverría, M. P.; Mateos, M.; Martín, E. y de la Cruz, M. (eds.) (2006). *Nuevas formas de pensar la enseñanza y el aprendizaje: las concepciones de profesores y alumnos*. Barcelona: Graó.
15. Moreno, R. (2006). *Panfleto antipedagógico*. Barcelona: El lector universal.
16. Pozo, J. (2016). *Aprender en tiempos revueltos. La nueva ciencia del aprendizaje*. Madrid: Alianza.
17. Duckworth, E. (1981). O se lo enseñamos demasiado pronto y no pueden aprenderlo o demasiado tarde y ya lo conocen: el dilema de "aplicar a Piaget". *Infancia y aprendizaje*, 4(2), 163-177.
18. Sodian, B.; Zaitchik, D. y Carey, S. (1991). Young children's differentiation of hypothetical beliefs from evidence. *Child development*, 62(4), 753-766.

19. Gillies, R. M. (2016). Cooperative learning: Review of research and practice. *Australian Journal of Teacher Education*, 41(3). <http://dx.doi.org/10.14221/ajte.2016v41n3.3>.
20. Hänze, M. y Berger, R. (2007). Cooperative learning, motivational effects, and student characteristics: An experimental study comparing cooperative learning and direct instruction in 12th grade physics classes. *Learning and instruction*, 17(1), 29-41.
21. Johnson, D. W. y Johnson, R. T. (1999). Making cooperative learning work. *Theory into practice*, 38(2), 67-73.
22. Johnson, R. T. y Johnson, D. W. (1986). Cooperative learning in the science classroom. *Science and children*, 24(2), 31-32.
23. Durán, D. (2006). Tutoría entre iguales, la diversidad en positivo. *Aula de innovación educativa*, 153, 7-11.



1.2

Qué sabemos de la importancia del valor del error y de su gestión para el aprendizaje

NEUS SANMARTÍ





La evaluación se asocia tradicionalmente a la calificación, a “poner notas”, pero su función más importante es la de aprender, es decir, la de identificar cómo se va progresando en la construcción del conocimiento, y qué es lo que conviene revisar y cómo. Habitualmente somos los docentes los que realizamos este proceso, en el marco de la llamada evaluación formativa, pero han de ser los propios aprendices los que realicen el análisis y tomen las decisiones. Está comprobada la poca utilidad de pasarse horas en lo que llamamos “corregir”¹, ya que de hecho han de ser los propios estudiantes los que lo hagan y, normalmente, no lo hacen a partir de nuestras “correcciones”.

Aprender requiere ir evaluando constantemente. La investigación ha demostrado ampliamente que todos los aprendices, a cualquier edad y en relación a cualquier temática, parten de ideas previas, a menudo alternativas a las del conocimiento científico actual. El aprendizaje comporta cambiar estas ideas, a partir de buscar pruebas, de discutir con otros sobre su posible validez y de reconstruirlas, es decir, de la aplicación de procesos de indagación, argumentación y modelización. Todo ello requiere ir evaluando-regulando la calidad de las pruebas, de los argumentos y de los modelos teóricos en que se fundamentan. Los estudiantes que aprenden se caracterizan por que son capaces de realizar este proceso autónomamente, es decir, reconocen si sus ideas y prácticas

son coherentes y están bien fundamentadas, en qué aspectos no acaban de ser idóneas y qué hacer para cambiarlas^{2,3,4,5,6}, mientras que los que no aprenden nunca saben si las tareas están bien realizadas y cómo avanzar, o bien necesitan constantemente la ayuda de una persona adulta que se lo indique. Es evidente que autoevaluarse es un proceso que requiere tiempo y la aplicación de estrategias que lo posibiliten. Además, se ha de aplicar de forma coherente por todo el profesorado de un centro escolar. No tendría sentido pedir a los estudiantes que se evaluaran sin que se les ayudara a reconstruir también su forma de aprender y, por tanto, habrán de cambiar también muchas de nuestras concepciones y prácticas docentes⁷. Se ha investigado, por ejemplo, qué es lo que caracteriza a los estudiantes que lo han aprendido a hacer de forma autónoma (unos pocos), y se ha podido comprobar que, cuando se enseña a todos a aplicar estrategias similares, los resultados que se obtienen (incluso en pruebas externas) son muy buenos.⁸

En el presente capítulo nos centraremos en *caracterizar estas prácticas y en sus implicaciones en la enseñanza de la ciencia*, con la finalidad de que los estudiantes comprueben que la evaluación les es útil para aprender, lo que a los docentes nos orienta en cómo ayudarles en su aprendizaje y para ambos puede ser una actividad muy gratificante.



SABÍAS QUE...

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

La evaluación tiene como objetivo básico el aprendizaje y no la calificación.⁹

- Aprender comporta evaluar-regular los obstáculos y dificultades que se van generando al realizar distintas actividades.
- Todos los estudiantes tienen ideas para explicar los fenómenos, generalmente alternativas a las de la ciencia actual, que habrán de ir regulando (revisando) a lo largo del proceso de aprendizaje.
- Sin una evaluación que favorezca la autorregulación de los aprendices no habrá un buen aprendizaje y, consecuentemente, buenos resultados.¹⁰

Evaluar puede y ha de ser útil y gratificante, tanto para los estudiantes como para los docentes.

- La evaluación ha de generar emociones positivas si se quiere que promueva aprendizajes significativos en los estudiantes.
- Requiere aplicarla de forma que comprueben que les es útil para aprender.
- Y también que los profesores la percibamos como una actividad que ayuda a nuestros estudiantes a superar sus dificultades y ser autónomos aprendiendo, y a nosotros mismos a mejorar nuestra docencia.

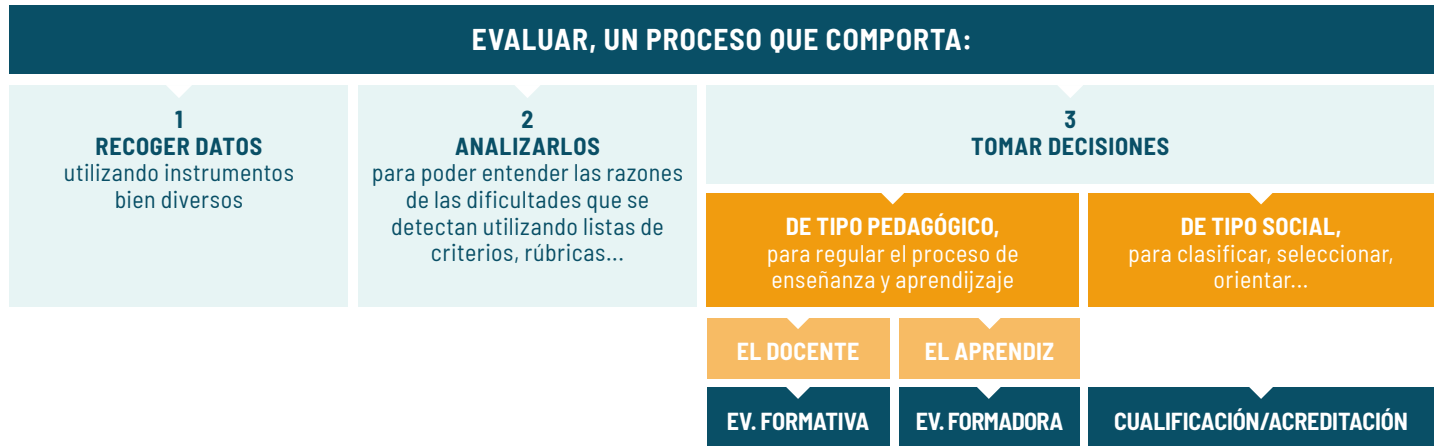
Evaluar es un proceso.

- La evaluación comporta aplicar diferentes acciones. Es necesario que cada una de ellas se plantee de forma coherente con su finalidad.
- En primer lugar, se han de recoger datos, que pueden ser de fuentes muy diversas: cuestionarios, escritos, exposiciones orales, mapas y esquemas de todo tipo, videos, entrevistas, observaciones...
- En segundo lugar, los datos se han de analizar con la finalidad de entender las razones que explican los progresos y las dificultades detectadas (si no se entiende por qué no se entiende no se podrá revisar). Para ello son útiles las listas de criterios (de cotejo, *checklist*) y las rúbricas, siempre que se disponga de buenos datos.
- Finalmente se toman decisiones. La gran mayoría tendrían que ser las relacionadas con qué hacer para avanzar y, en algunos pocos casos, para calificar resultados. Esta fase es la más importante, ya que en ella se concretan propuestas que han de ser útiles para hacer progresar a *todos* los estudiantes.



SABÍAS QUE...

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS



Una evaluación útil para aprender ha de promover la autoevaluación y coevaluación.¹¹

- Solo puede corregirse quien ha de cambiar su pensamiento o práctica, y de ahí la importancia de la autoevaluación.
- Los docentes no “corregimos”, sino que ayudamos a los estudiantes a que sean capaces de hacerlo, es decir, a autoevaluarse.
- Los aprendices, a partir de aplicar procesos de coevaluación entre ellos, pueden dar retroalimentaciones personalizadas a los compañeros y, al hacerlo, también reafirman sus ideas y reconocen en qué mejorarlas.

La clave en todo proceso de evaluación es el **feedback** (retroalimentación).^{12,13}

- La retroalimentación ha de posibilitar una buena toma de decisiones a cada alumno. Requiere centrar los comentarios (de los docentes, compañeros o familiares) en posibles ideas a tener en cuenta para mejorar una tarea concreta, y no en características del estudiante —su nivel de esfuerzo, estudio, atención...—.
- Las dificultades se regulan una a una y cuando aparecen, aunque siempre es mejor prevenir que curar. Son idóneas las retroalimentaciones que anticipan las causas de posibles errores, y verlos como algo normal en el proceso de aprender.
- Se ha de cuidar el lenguaje. Decir “muy bien” es tan mala práctica como decir “muy mal”, y si se formulan preguntas han de favorecer que el estudiante analice en qué pensó al hacer la tarea y no tanto en decir cómo hacerla bien.



SABÍAS QUE...

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Para ser capaz de autoevaluarse se requieren unas condiciones que se han de integrar al proceso de aprendizaje.¹⁴

- Se han de reconocer los objetivos de aprendizaje (de una tarea, unidad didáctica, proyecto...). Requiere, por parte del docente, compartirlos y promover la evaluación-regulación de la representación que construyen los alumnos.¹⁶
- Se han de anticipar y planificar las acciones necesarias para realizar un determinado tipo de tarea. Regular si se planifican adecuadamente es más importante que comprobar los resultados de la actividad.
- Se han de representar los criterios de evaluación que posibilitan analizar la calidad con que se realiza la actividad. También requiere compartirlos y evaluar-regular la representación que construyen los alumnos.

CONDICIONES PARA QUE UN APRENDIZ SE PUEDA AUTORREGULAR A LO LARGO DE SU PROCESO DE APRENDIZAJE

Se ha de representar los objetivos y motivos de la actividad

- ¿Cuál es el problema/reto planteado?
¿De qué tipo es?
- ¿Cuál es el motivo de su planteamiento?
¿Por qué es importante?
¿Qué aprendemos?
- ¿Qué conocimientos anteriores necesito "activar"?

Ha de anticipar y planificar en qué pensar y qué hacer para alcanzar los objetivos

- ¿En qué hemos de pensar para dar respuesta a este tipo de problemas?
¿Cuál es el producto final esperado?
¿Qué estrategias tendríamos que aplicar?
¿Qué operaciones/pasos necesitamos realizar?

Se han de representar los criterios para evaluar la calidad del proceso y de los resultados

- ¿En qué nos fijamos para saber si estamos realizando adecuadamente la actividad?
¿Qué diferencias hay entre lo previsto y el resultado?
¿Qué incoherencias o errores hemos detectado?
¿Cuáles pueden ser sus causas?

- Estas condiciones han formar parte del diseño didáctico, de forma que aprender y evaluar sean de hecho un único proceso.



SABÍAS QUE...

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

La evaluación pone de manifiesto la diversidad de los estudiantes y ha de favorecer el aprendizaje de todos.

- Los estudiantes son diversos al inicio de un proceso de aprendizaje y al final. No se puede pretender que todos aprendan lo mismo y al mismo ritmo.
- En el aula se han de crear espacios para regular distintos tipos de dificultades y para estimular a los estudiantes que son capaces de dar respuesta a tareas complejas. Todo ello favoreciendo la coevaluación y ayuda entre iguales.
- También las actividades para comprobar resultados de aprendizaje han de ser diversas (y no necesariamente realizadas el mismo día), con la finalidad de que todos puedan demostrar sus logros.

Las actividades para comprobar resultados de aprendizaje han de ser contextualizadas, productivas y complejas.¹⁷

- Es importante que los propios aprendices recojan evidencias de lo que han aprendido y puedan comparar sus conocimientos iniciales con los finales. Con esta finalidad es útil el uso del portafolios.
- Las preguntas o retos a plantear para evaluar resultados tienen que relacionarse con la resolución, argumentación o actuación en relación a un problema, hecho o fenómeno real (auténticos), distinto de los trabajados en el aula. No lo serían las demandas que solo requieren recordar nombres o ideas simples, incluso en el caso de los estudiantes con más dificultades.
- Han de posibilitar comprobar si se es capaz de indagar autónomamente, por lo que en algunos casos la actividad habrá de ser experimental (no solo de papel y lápiz). Se pueden plantear retos diversos en función del nivel de complejidad y grado de autonomía (con más o menos ayudas), teniendo en cuenta la diversidad de los aprendices.

La calificación del grado de competencia de un estudiante requiere de la aplicación de criterios coherentes con la visión del aprendizaje.

- Evaluar el grado de competencia requiere de la aplicación de criterios muy distintos de los tradicionales. Habitualmente se considera que un estudiante ha aprendido a un nivel mínimo cuando responde a la mitad de las preguntas en un examen o realiza un trabajo de calidad media. Pero estos criterios de calificación no nos dicen si es competente.
- Tampoco tiene demasiado sentido llegar a evaluar a un estudiante concluyendo que tiene un 6,5 o un 4,3 de competencia, ya que es imposible precisar tanto. Habitualmente se distinguen 4 niveles de competencia y en el caso de estudios muy costosos, como es el caso de PISA, se llega a 6.
- Al requerir la competencia un aprendizaje complejo (interrelacionar saberes diversos) y no ser útiles los sistemas habituales de calificación, se han generado nuevos instrumentos. El más conocido es la "rúbrica".





SABÍAS QUE...

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

La calificación del grado de competencia de un estudiante requiere de la aplicación de criterios coherentes con la visión del aprendizaje.

- Para definir una rúbrica, es necesario situar en la primera columna las acciones que se habrán consensuado al planificar la actividad, y en las siguientes se gradúan los distintos niveles de logro.
- Para concretar estos niveles se puede tener en cuenta el grado de pertinencia, creatividad, transferencia y autonomía, entre otras variables. Por ejemplo, ante un nuevo problema o reto, algunos alumnos necesitan ayuda para afrontarlo, y, a partir de aplicar guiones o plantillas dados o sugerencias de compañeros, docentes u otras personas, pueden dar una respuesta idónea y aplicar un buen proceso. En este caso, hablaríamos de un alumno competente, aunque a nivel básico. En cambio, el alumno que es capaz de ayudar a compañeros será un experto y competente a nivel máximo.

La comunicación con las familias de los procesos de evaluación tiene la finalidad de compartir todo aquello que pueda promover un mejor aprendizaje de sus hijos.

- Los cambios en los objetivos de un aprendizaje científico que se deducen de los currículos orientados al desarrollo de la competencia científica se han de compartir con los familiares de los estudiantes. Su percepción inicial es la de su escolaridad y habrán de poder entender en qué y por qué han cambiado.
- La relación familia-escuela ha de pasar de la visión de “informar” de los progresos de los hijos a la de compartir y participar en su proceso de aprendizaje. Los familiares piden saber cómo ayudarles mejor.
- Esta nueva relación exige un cambio en la concepción y práctica de la elaboración de informes y entrevistas. Será importante la participación de los propios aprendices en su preparación y realización, de forma que se favorezca el diálogo entre alumnos-familias-docentes, a partir de la identificación y análisis de evidencias de aprendizajes. La finalidad es poder tomar decisiones conjuntamente, para avanzar en el aprendizaje de los chicos y chicas.

La evaluación deber ser gratificante, aunque es sabido que a menudo genera emociones negativas que es necesario aprender a gestionar.¹⁸

- Las emociones negativas son tan importantes como las positivas para aprender, siempre que se sepan gestionar¹⁹. La evaluación es la actividad escolar que genera más emociones negativas, tanto a los docentes como a los aprendices, y el reto es que el proceso llegue a ser gratificante.
- Un cambio necesario respecto a prácticas tradicionales es llegar a reconocer que el error es el medio para aprender²⁰. Si la primera vez que se realiza una tarea se hace correctamente, no se aprende nada (ya se sabía hacer). Requiere la creación de un clima de aula en el que se puedan expresar y compartir las dificultades sin temor.
- Toda evaluación comporta poner en acción valores; entre otros, que los estudiantes puedan vivenciar la cooperación (y no la competencia), la solidaridad y la empatía (y no el individualismo), la honestidad (y no la trampa o favoritismos), y la equidad (no se puede tratar igual a todos cuando somos tan diversos y con posibilidades de aprendizaje distintas).



- ✗ Dedicar tiempo a hablar de las ideas previas y a compartir objetivos es perder un tiempo que se necesita para aprender las ideas de la ciencia.**

 - Aprender ciencias exige revisar las ideas previas del alumnado, generalmente alternativas de la ciencia actual. Se necesita dudar sobre ella y al hacerlo se reconocen los objetivos de aprendizaje, que muchas veces se explicitan en las preguntas que serán objeto de investigación.
 - Comporta plantear alguna buena pregunta, abierta, conectada con la experiencia del alumnado, que posibilite que afloren sus ideas personales.
 - A partir de las respuestas, todas válidas e interesantes, se generan dudas e interés por aprender cuál puede ser la explicación más idónea, y se empieza a compartir objetivos.

- ✗ El error se ha de penalizar.**

 - Se debe cambiar la visión del error como algo malo a ocultar y disimular, ya que si no se expresa no se podrá revisar.
 - El profesorado debe favorecer un clima de confianza en el aula²¹ para que el error sea percibido como algo normal y necesario para aprender.

- ✗ Devolver los trabajos “corregidos” con comentarios y calificaciones ayuda a mejorar los aprendizajes de los estudiantes.**

 - Solo puede corregirse quien se ha equivocado. Los compañeros, docentes y otros adultos sólo pueden ayudar a la corrección del que aprende.
 - Si las ayudas (*feedback*) van acompañadas de calificaciones, su efecto en el aprendizaje es nulo. Los alumnos solo leen los números o letras, y no los comentarios.²²
 - Si solo se incluyen comentarios, son algo útiles para los estudiantes que ya han hecho el trabajo bastante bien, pero no para los que tienen más dificultades (no los entienden).²³

- ✗ Cuando los estudiantes se coevalúan tienden a favorecer a sus amigos y a penalizar a sus “enemigos” y si se autoevalúan se califican alto.**

 - En general, las calificaciones resultado de autoevaluaciones y coevaluaciones son similares a las del profesorado, e incluso menores.
 - Depende de si se han compartido bien los criterios de evaluación, y la finalidad principal de la evaluación: reconocer qué se hace bien ya y en qué aspectos se ha de mejorar.
 - También es importante que se vivencien en el aula valores como los de cooperación, solidaridad, respeto a la diferencia...²⁴



✗ Más controles y exámenes favorecen que los estudiantes se esfuercen y aprendan más.

- Diversos estudios demuestran que no se confirma esta hipótesis²⁵. Los alumnos que ya obtienen buenos resultados y son competitivos mejoran algo, pero no los que no cumplen estas condiciones.
- Actividades puntuales (no necesariamente exámenes escritos), en las que los estudiantes ponen a prueba qué han aprendido y en qué grado a partir de dar respuesta a nuevos problemas o situaciones, sí que favorecen el aumento de la autoestima y el interés por continuar aprendiendo (motivación intrínseca).
- Tiene sentido plantear estas actividades cuando se valora qué se ha aprendido o los mismos estudiantes lo deciden. Por tanto, no tiene por qué ser el mismo día para todos y con las mismas actividades.

✗ Una prueba “objetiva” (muchas preguntas de respuesta corta) posibilita comprobar objetivamente el aprendizaje de los estudiantes.

- La mayoría de las llamadas pruebas objetivas evalúan más la comprensión lectora que los conocimientos de ciencias. También muchas de las pruebas para evaluar la competencia (por ejemplo, PISA) se fundamentan en una buena lectura de la situación planteada.
- Para tener datos “objetivos” de aprendizajes es conveniente triangular²⁶ sus fuentes; es decir, diversificarlas. Una idea se puede expresar por escrito, oralmente, por medio de imágenes, gestos..., y hay alumnos que se comunican mejor a través de un medio que de otros.

✗ Una calificación objetiva es el resultado de promediar muchos trabajos y pruebas realizadas por cada alumno.

- Lo normal y deseable es que un estudiante sea poco competente al inicio de su proceso de aprendizaje y lo sea mucho más al final. La media entre sus respuestas al inicio del proceso y al final no es un buen indicador de resultados.
- La evaluación de la competencia exige valorar muchas variables. Un estudiante que ha aprendido algún conocimiento científico, pero no lo sabe aplicar para analizar pruebas o para argumentar alguna propuesta de actuación, no es competente.
- La objetividad en la evaluación de los aprendizajes proviene más de la triangulación evaluadora que de disponer de muchos datos. La triangulación puede ser entre profesores, el propio estudiante, compañeros, familiares e incluso otras personas. Por ejemplo, un monitor de comedor puede aportar valoraciones sobre el grado de competencia de un alumno al aplicar conocimientos sobre una nutrición saludable.



EDU—MITOS

LO QUE LA INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA HA DEMOSTRADO

✘ Si un estudiante no aprueba ha de repetir curso, tanto para que pueda recuperar lo que no aprendió como para transmitir al resto de compañeros que para pasar curso se han de esforzar.

- Los estudios demuestran que, estadísticamente, a partir de repetir curso los alumnos “desaprenden”²⁷, y no superan sus dificultades de partida.
- Este hecho no contradice que para algunos estudiantes puede ser útil la repetición si se dan unas condiciones: recibir ayuda para gestionar emocionalmente lo que se vive como un fracaso, promover una integración afectiva en el nuevo grupo que conlleve aceptación y disposición de ayuda por parte de los nuevos compañeros y compañeras, y realizar actividades de aprendizaje diferentes de las del curso anterior.
- La motivación a promover en el aula se ha de fundamentar en el gusto por aprender ciencias, es decir, por investigar, explicar fenómenos y argumentar puntos de vista de forma fundamentada en el conocimiento y en las pruebas, y no en la obtención de una calificación.



EJEMPLO PRÁCTICO PARA SECUNDARIA

(14-15 años. Profesora: Pila Gracia)

¿Qué pasaría en un ecosistema si desapareciera una especie?



A partir del estudio publicado por Greenpeace, "El largo viaje del atún"
<http://archivo-es.greenpeace.org/espana/es/reports/El-largo-viaje-del-atun/index.html>, se planteó un ABP con la finalidad de construir conocimiento alrededor del concepto de cadenas tróficas. Inicialmente se visualizó el vídeo <https://www.youtube.com/watch?v=kosZQqNC-o4>, que sirvió para debatir ideas iniciales y las preguntas que plantearon los estudiantes. Se evaluó el interés de cada una a partir del criterio: "¿Cuál podía posibilitar tener argumentos para argumentar de forma fundamentada sobre el problema?". La que se consensó fue: "¿Qué podría pasar si desaparecieran los atunes del mar?". Este proceso promovió que se compartiera el objetivo de aprendizaje.

Posteriormente, por equipos, los estudiantes buscaron datos y pruebas sobre qué comen los atunes, quién se los come a ellos, la fuente de la energía y su transferencia en cada nivel trófico, etc, y fueron esquematizando la cadena trófica y poniendo etiquetas respecto a si se trataban de consumidores (y de qué nivel) o productores. Como resultado de este trabajo, por parejas, pasaron del caso concreto de los atunes a la generalización, a partir de diseñar una base de orientación o esquema que recogía en qué habían de pensar para poder responder a la pregunta: "¿Qué pasaría si desapareciera una de las especies de una cadena trófica?". Los productos fueron diversos y se promovió una coevaluación entre parejas. Los estudiantes tenían que dar y recibir un *feedback* de los compañeros y, a partir de él, revisar su base de orientación inicial. Un ejemplo de producción final fue:

- ACCIONES**
1. Identificar los componentes de una cadena trófica.
 2. Identificar la especie que desaparece.
 3. Ver a qué nivel trófico pertenece.

4a. Si es productor, mirar las especies que se lo comen. Así sabremos cuáles son las afectadas.

5a. Identificar quién se come a los herbívoros. También resultarán afectados.

4b. Si es consumidor, mirar qué especies come. Estas especies crecerán en número.

5b. Identificar las C2 que se comían. También resultarán afectadas.

6c. Si una C2 comía solo esta especie, podría desaparecer.

6c'. Si las C2 comían otros alimentos, disminuirá su número.

Finalmente se propuso poner a prueba su grado de aprendizaje. Primero se consensaron los criterios de evaluación de realización de la tarea, a partir de las acciones recogidas en la base de orientación, y después los de calidad (¿cómo sabremos si las distintas partes de la tarea están bien?).

Finalmente se plantearon diferentes casos, algunos que exigían realizar una transferencia lejana respecto al ejemplo de los atunes y otros más cercana, para dar pie a que cada alumno pudiera escoger la que creyera que podría responder mejor sabiendo que unas eran de más nivel que otras. Ejemplos de los dos extremos fueron qué pasaría si desaparecieran las encinas de un bosque mediterráneo y las sardinas del mar.

Reflexionando sobre esta experiencia, se puede reconocer que aprender y evaluar son un único proceso, y que para que sea efectivo es fundamental que se compartan objetivos de forma explícita, se aprenda a generalizar a partir de concretar en qué pensar o hacer siempre que se tenga que aplicar lo que se está aprendiendo, y se compartan los criterios para evaluar si se está aplicando de forma idónea.



EJEMPLO PRÁCTICO PARA PRIMARIA

(7-8 años. Profesora: Neus Garriga)

¿Cómo funcionan los juguetes?



Después de las fiestas de Navidad, los niños y niñas llevan juguetes al aula, los comparten y juegan. En esta exploración inicial surgen preguntas, muchas relacionadas con su funcionamiento. La maestra les propone que piensen sobre cuáles son las partes de su juguete, qué se le ha de “dar” para que funcione, qué “hace” el juguete y cómo lo hace, qué cambios observa en el juguete y por qué cree que pasan. Estas ideas previas (evaluación inicial) las recoge en un gráfico, individual para cada alumno, y en otro para el grupo clase.

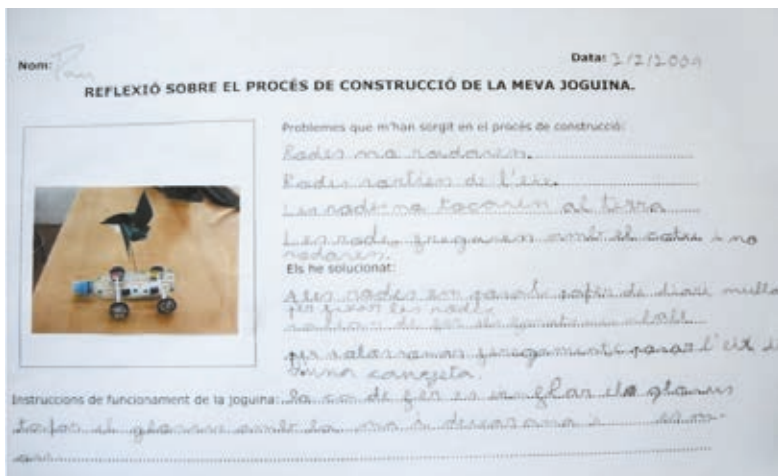
Los niños y niñas explicaron y compararon las ideas, reconociendo que eran diversas, y empezaron a cuestionarlas (empiezan a compartir objetivos). Este proceso los llevó a querer saber más sobre su funcionamiento y decidieron centrarse en las que funcionaban al darles cuerda. Se imaginaron cómo eran por dentro y las desmontaron para observarlas, comprobaron cómo se movían y recogieron datos sobre la relación entre nº de vueltas al darle cuerda y tiempo de funcionamiento, probando otras formas de hacerla mover sin darle cuerda, etc.

Al mismo tiempo, cada alumno revisaba sus ideas iniciales cuando le parecía adecuado, añadiendo nuevas o cambiándolas. Este resumen, personal y colectivo al mismo tiempo, le ayudaba a pensar en aspectos a tener en cuenta para explicar el funcionamiento. Su compañero o compañera le proponía aspectos en los que mejorar.

En la parte final de su trabajo cada alumno diseñó un coche con materiales reciclados.

Los diseños iniciales los evaluaron antes de ponerlos en práctica y después. Muchos no funcionaban y tuvieron que tomar decisiones sobre cómo mejorarlos. Los cambios que proponían y sus razones se ponían por escrito para favorecer la interiorización.

También investigaron de qué dependía que un coche se desplazara más lejos que otros a partir de experimentar con variables como el peso, el diámetro de las ruedas o el rozamiento, y de nuevo evaluaron-regularon qué mejorar del diseño que habían aplicado.



Finalmente se evaluaron los resultados del proceso de aprendizaje a partir de plantearles una situación real: *“Los compañeros de 6º también quieren construir coches, pero a diferencia de los nuestros utilizarán la energía eléctrica para desplazarse. A partir de tu experiencia, ¿qué les recomendarías para que no se encontraran con los mismos problemas que vosotros y funcionarán bien?”*. Y posteriormente, en gran grupo, explicaron oralmente sus propuestas a estos alumnos (y más tarde los de 6º les mostraron y explicaron sus juguetes eléctricos).

Como colofón al proyecto, cada alumno comparó el esquema inicial de sus ideas con el suyo final y el de todo el grupo, y analizó la respuesta a la pregunta final, utilizando una rúbrica que se había consensuado con

toda la clase. Todo el proceso del grupo clase se recogió en un diario de la clase, que redactaban los propios alumnos, y que aún forma parte de su memoria “externa”.

Reflexionando sobre esta experiencia, de nuevo se puede reconocer que aprender y evaluar son un único proceso. Las actividades que se van realizando siempre se evalúan-regulan, muchas veces a partir de coevaluaciones en pareja o en pequeño grupo, hecho que requiere dedicar casi tanto tiempo a la realización de cada tarea como a su regulación. Puede parecer tiempo perdido, pero es necesario si se quiere que el aprendizaje sea significativo.

REFERENCIAS

1. Butler, R. (1988). Enhancing and undermining intrinsic motivation; the effects of task-involving and ego-involving evaluation on interest and performance. *British Journal of Educational Psychology*, 58.
2. Black, P. y Wiliam, D. (1998). *Assessment and Classroom Learning*. *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice*, 5(1), 7-74.
3. Hattie, J. (2009). *Visible learning. A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. Nueva York: Routledge.
4. Hattie, J. (2017). *"Aprendizaje visible" para profesores*. Madrid: Ed. Paraninfo.
5. Schraw, G.; Crippen, K. J. y Hartley, K. (2006). Promoting self-regulation in science education: Metacognition as part of a broader perspective on learning. *Research in Science Education*, 36(1-2), 111-139.
6. Hodgson, C. (2010). *Assessment for Learning in Primary Science. Practices and benefits*. NFER Review. <https://www.nfer.ac.uk/publications/aas02/aas02.pdf>.
7. Perrenoud, P. (1993). Touche pas à mon évaluation! Pour un approche systémique du changement. *Mesure et évaluation en éducation*, 16 (1,2), 107-132.
8. Nunziati, G. (1990). Pour construire un dispositif d'évaluation formatrice. *Cahiers Pédagogiques*, 280, 47-64.
9. William, D. (2011). *Embedded Formative Assessment*. Bloomington (EUA): Solution Tree Press. Sanmartí, N. (2007). *Evaluar para aprender. 10 Ideas clave*. Barcelona: ed. Graó.
10. William, D.; Lee, C.; Harrison, C. y Black, P. (2004). Teachers developing assessment for learning: impact on student achievement *Assess. Educ. Princ. Policy Pract.*, 11(1), 49-65.
11. Hattie, J. (2009). En relación a esta variable Hattie cita 5 metaestudios:
 - Mabe/West (1982): Validity of self-evaluation of ability. <http://psycnet.apa.org/journals/apl/67/3/280/>.
 - Falchikov/Boud (1989): Student Self-Assessment in Higher Education. <http://rer.sagepub.com/content/59/4/395.short>.
 - Ross (1998): Self-assessment in second language testing. <http://ltj.sagepub.com/content/15/1/1.short>.
 - Falchikov/Goldfinch (2000): Student Peer Assessment in Higher Education <http://rer.sagepub.com/content/70/3/287.short>.
 - Kuncel/Crede/Thomas (2005): The Validity of Self-Reported Grade Point Averages, Class Ranks, and Test Scores. <http://rer.sagepub.com/content/75/1/63.short>.
12. Hattie, J. y Timperley, H. (2007). The Power of Feedback. *Rev. Educ. Res.*, vol. 77 (1), 81-112.
13. Black, P. y Harrison, C. (2001). Feedback in questioning and marking: the science teacher's role in formative assessment. *School Science Review*, 82, 301, 55-61.
14. Kohn, A. (2001). Cinco razones para dejar de decir "¡muy bien!". <http://www.alfiekohn.org/parenting/muybien.htm>.
15. Gardner, M. (2019). The Benefits of Sharing Our Planning With Students. <https://www.edutopia.org/article/benefits-sharing-our-planning-students>.
16. Sanmartí, N. y Marchán-Carvajal, I. (2014). ¿Cómo elaborar una prueba de evaluación escrita? *Alambique*, 78, 1-10.
17. Bueno, D. (2019). Entrevista: Las emociones son cruciales para el aprendizaje. *Educación 3.0*.

18. Desautels, L. (2016). *How Emotions Affect Learning, Behaviors, and Relationships*. <https://www.edutopia.org/blog/emotions-affect-learning-behavior-relationships-lori-desautels>.
19. Astolfi, J. P. (1999). *El error, un medio para enseñar*. Colección Investigación y Enseñanza, nº 15. Sevilla: Díada Editora.
20. Jiménez Aleixandre, M. P. (1988). Entrevista a Rosalind Driver. *Cuadernos de Pedagogía*, 155, 32-35.
21. Butler, R. (1988). Enhancing and undermining intrinsic motivation; the effects of task-involving and ego-involving evaluation on interest and performance. *British Journal of Educational Psychology*, 58.
22. Veslin, O. y Veslin, J. (1992). *Corregir des copies*. París: Hachette Éducation.
23. Black, P. y Harrison, C. (2001). Self- and peer-assessment and taking responsibility: the science student's role in formative assessment. *School Science Review*, 83, 302, 43-49.
24. Hattie, J. (2017). *"Aprendizaje visible" para profesores*. Madrid: Ed. Paraninfo.
25. <https://mariae22.wordpress.com/2009/05/02/tecnicas-de-analisis/>





— 1.3

Pruebas desde la
neurociencia para la
mejora del aprendizaje

JOSÉ RAMÓN ALONSO

El cerebro es el órgano del aprendizaje. Entender cómo funciona, cómo aprendemos y desaprendemos, qué es la memoria, cómo se establece un hábito, cómo nos afecta la alimentación o el sueño, son aspectos clave para que aprender sea una experiencia positiva, agradable y efectiva.

La educación trata de mejorar el aprendizaje, incorporar habilidades y aptitudes, desarrollar comportamientos positivos, y la neurociencia nos ayuda a comprender los mecanismos mentales implicados en estos procesos. Hay por lo tanto un espacio común, un campo que puede y debe transformar la educación. La actividad cerebral está afectada por la genética, la crianza, la alimentación, las horas de sueño, el impacto de enfermedades, el ejercicio físico y la educación, entre otros. Conocer el impacto de estas circunstancias puede ayudar a conseguir los mejores resultados en el aula y, además, debe proteger a profesores y estudiantes de ser víctimas de engaños e ideas sin fundamento.

La neurociencia nos ayuda a conseguir el mejor impacto a las horas de educación y de estudio, nos ayuda a valorar la enseñanza artística, la música, la poesía y la lectura en general y la educación física. La educación es la clave de nuestro desarrollo personal, de nuestra salud, de nuestro nivel socioeconómico, de nuestra participación en la sociedad y de nuestra felicidad. Necesitamos estar preparados y dispuestos para aprender a lo largo de toda la vida. La educación es la mejor herramienta que ha creado el cerebro humano.

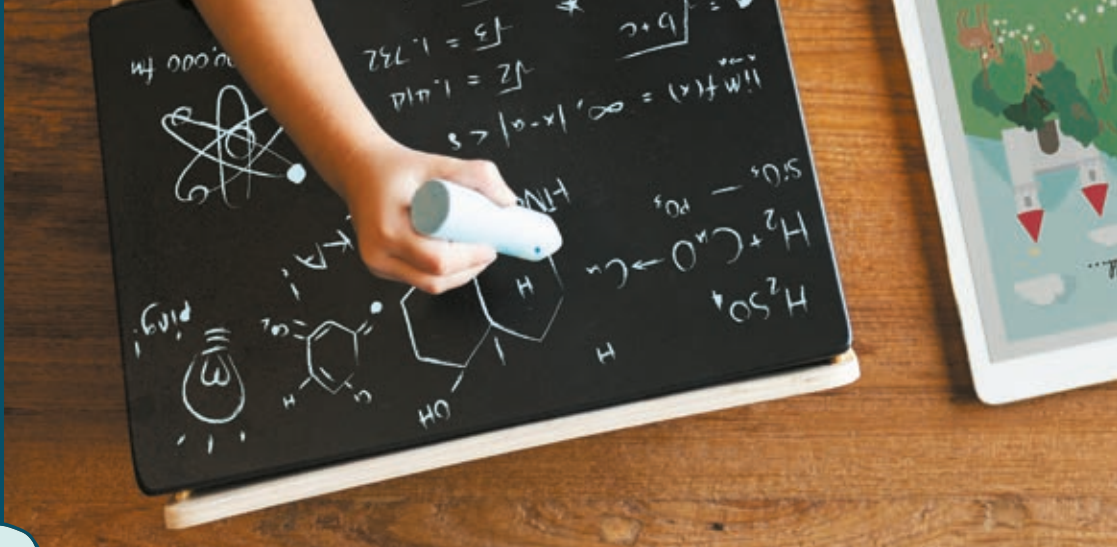


SABÍAS QUE...

El cerebro humano es la estructura conocida más compleja del universo.

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

- El cerebro contiene 86 000 millones de neuronas, y cada una tiene de media entre 5000 y 15 000 contactos sinápticos, en constante reorganización, y cuya actividad y supervivencia están moduladas por las tareas encomendadas.
- La neurogénesis (producción de nuevas neuronas) se mantiene toda la vida aunque con un impacto funcional limitado.¹
- El cerebro necesita un alto aporte de oxígeno y glucosa. Se calcula que con un 2 % del peso corporal, el cerebro consume un 20 % de la energía de nuestro cuerpo, diez veces más. La demanda energética cerebral es aún más importante en la infancia temprana, donde llega a alcanzar el 60 % de las calorías ingeridas.
- El cerebro es afectado de manera negativa por el alcohol y otras drogas.
- El aprendizaje se basa en procesos cerebrales y la investigación neurocientífica nos ayuda a entender esos procesos.





SABÍAS QUE...

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

El cerebro es el centro coordinador de todo el organismo.

- El cerebro es una estructura integrada, con dos hemisferios conectados entre sí. No existen personas de hemisferio izquierdo o de hemisferio derecho.
- El encéfalo se encarga de procesos clave como son el habla, la inteligencia, la memoria, las emociones, el procesamiento sensorial, los movimientos voluntarios e involuntarios, los procesos matemáticos y la lectura. El cerebro se encarga también de la planificación, el control de impulsos, de las funciones ejecutivas, la sociabilidad, la flexibilidad, la motivación, la resiliencia y contiene un sistema interno de recompensa.
- Las funciones ejecutivas permiten la planificación de actividades, el control de impulsos, la mentalización, la atención selectiva, la memoria de trabajo y la flexibilidad cognitiva.
- Las técnicas actuales de neuroimagen permiten observar el cerebro en plena actividad sin causar daños y en tiempo real.

Mientras dormimos el cerebro realiza el mantenimiento, eliminando productos tóxicos, por lo que es imprescindible dormir lo suficiente para un correcto aprendizaje.

- Durante el sueño, el cerebro selecciona las experiencias que deben guardarse en la memoria a largo plazo, borra las memorias contradictorias, olvida los aspectos poco importantes y realiza una priorización.
- Los adolescentes retrasan el cronotipo, lo que hace que se acuesten más tarde y, si las clases empiezan temprano, estén cansados y no puedan aprender. Centros educativos que retrasan el inicio de las clases han conseguido mejor rendimiento académico.²

La neurodiversidad es una riqueza para la sociedad.

- No existen dos cerebros iguales y cada persona tiene unas características personales propias que afectan a su rendimiento en el aula y fuera de ella.
- No hay que corregir la diversidad (diestros-zurdos, extrovertidos-tímidos, activos-pasivos...) sino enseñar a vivirla con normalidad, y a los demás a respetarla. Los educadores deben también, ser conscientes de las necesidades de cada alumno.
- La verdadera inclusión requiere el conocimiento de condiciones que afectan al niño en el aula, como el autismo, el trastorno de déficit de atención con hiperactividad, la dislexia, la discalculia y muchas otras.
- La timidez y la sociabilidad son dos dimensiones independientes.



SABÍAS QUE...

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

La plasticidad neuronal es la capacidad para modificar la estructura y función cerebral para responder a las necesidades.

- El cerebro tiene una capacidad asombrosa para modificarse a sí mismo. La plasticidad neuronal es la capacidad del cerebro para reorganizarse y responder a los estímulos del entorno.
- Los cambios plásticos tienen lugar a lo largo de toda la vida, lo que nos permite aprender incluso a edades avanzadas. Es mucho más poderosa de lo que creía y, por poner un ejemplo, el adulto que aprende a leer y a escribir muestra transformaciones llamativas en sus conexiones cerebrales.
- La plasticidad neuronal sucede a todos los niveles: genético (con genes que se modifican por procedimientos epigenéticos), molecular (con cambios en las concentraciones y actividad de neurotransmisores y hormonas), sináptico (con aparición y desaparición de sinapsis que implican refuerzo de algunos circuitos y desaparición de otros), y celular (con neuronas que modifican su estructura y conexiones).
- El cerebro responde a los retos: exámenes, nuevos ambientes, nuevos idiomas. Superar barreras y alcanzar nuevos objetivos es positivo para la actividad mental.
- Las conexiones sinápticas que no se usan son eliminadas. Por el contrario, un ambiente enriquecido en estímulos mantiene un mayor número de conexiones cerebrales.
- Mayor educación implica mayor esperanza de vida y mayor calidad de vida.³

El cerebro contiene un circuito de recompensa que “premia” con una sensación de placer.

- El circuito de recompensa es un grupo de estructuras encefálicas responsables de la motivación, el aprendizaje asociativo y las emociones positivas.⁴
- El circuito de recompensa se activa por procesos primarios (beber cuando tenemos sed), pero también al resolver un problema, al tomar una decisión, al ayudar a un desconocido, al sentirse parte de un grupo, al aprender.
- Las recompensas pueden impulsar el aprendizaje. El docente debe encontrar recompensas adecuadas a la edad y características de sus estudiantes.
- El bucle reto-recompensa-reto ayuda a consolidar lo aprendido.
- El circuito de recompensa es una de las grandes herramientas del aprendizaje.



FUNCIONES CEREBRALES IMPORTANTES EN EL AULA

Creatividad

- La creatividad es la habilidad para encontrar unidad en lo diverso e hilos que conectan conceptos aparentemente alejados.
 - El desarrollo de la creatividad incluye cuatro fases: preparación, incubación, iluminación y producción.⁵
 - A la creatividad se llega por pasos conscientes y racionales, mediante la observación de una anomalía o desarrollando un pensamiento errático, divergente, que explore caminos desconocidos y relaciones insospechadas.
-

Memoria

- La memoria es parte clave del aprendizaje y, como cualquier otra función cerebral, si se ejercita mejora. Entre las formas de consolidar la memoria están:
 - Las repeticiones (repasos).
 - Asociar conceptos diferentes.
 - Hacer evaluaciones y autoevaluaciones.
 - Usar pistas visuales (dibujos, mapas, esquemas).
 - Crear pequeñas historias.
 - Evitar distracciones (teléfonos, ruido ambiental...).
 - Combinar las tareas mentales con ejercicio físico.
 - Utilizar varios sentidos a la vez (leer en voz alta, uso de olores o sabores...).
 - Espaciar las repeticiones, conocer la curva de olvido.
 - Hay patrones específicos que pueden ayudar a consolidar memorias dentro del aprendizaje.⁶



SABÍAS QUE...

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Creación de hábitos

- Los hábitos son tareas o costumbres que actúan como subrutinas automáticas y están tan inmersos en nuestra actividad neuronal que son difíciles o incómodos de romper.
- Para generar un buen hábito:
 - Establece grandes objetivos y pon en marcha pasos pequeños y graduales.
 - Elige. No peques de ambición.
 - Busca una cadena habitual y añade un nuevo eslabón.
 - Elimina el exceso de opciones.
 - Cambia tu ambiente.
 - Comparte tus objetivos con tu entorno.
 - Define con claridad el éxito y visualízalo.
 - Planifica y no te rindas.
 - Sé flexible pero empieza ya.
 - Firma un contrato contigo mismo.
- La forma de romper un mal hábito es activar la corteza, mandando un mensaje consciente y haciendo que las neuronas corticales tomen el control (una alarma puede ayudar).

Inteligencia

- La inteligencia es un rasgo poligénico; es decir, en el que tienen influencia genética varios genes. Somos el resultado de la influencia constante del ambiente sobre un sustrato genético, un proceso de cambio constante que dura desde la concepción hasta la muerte.⁷
- La mayor similitud del cociente de inteligencia se da entre hermanos que tienen la mayor concordancia genética y, aún más, si comparten el mismo ambiente.
- La heredabilidad de la inteligencia —el porcentaje de su variabilidad en una población determinada que puede atribuirse a variación en los genes— aumenta de manera constante con la edad.
- Todos los niños se convierten en transformadores activos de su propio ambiente.
- Las intervenciones tempranas consiguen efectos positivos, reduciendo entre otras cosas los embarazos adolescentes, la delincuencia y el abandono escolar.



EDU—MITOS

LO QUE LA INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA HA DEMOSTRADO

-
- ✗ El azúcar genera una espiral de mal comportamiento y actividad desenfrenada.**
 - El azúcar no causa hiperactividad. No obstante, la cantidad diaria recomendada de consumo es cero.⁸
-
- ✗ El periodo de atención de un estudiante está entre 10 y 15 minutos.**
 - El concepto de atención es difuso, no hay un criterio claro de cómo medirlo y no parece existir una determinación objetiva que deje a todos conformes. No hay un estudio serio y contundente que permita afirmar que la atención de un estudiante solo se puede mantener entre 10 y 15 minutos.⁹
-
- ✗ El cerebro está formado por tres cerebros superpuestos: el complejo reptiliano, el sistema límbico y la neocorteza.**
 - Las únicas virtudes del modelo del cerebro triuno son su sencillez y su facilidad, pero es simplemente un modelo erróneo, sencillo y fácil.
-
- ✗ Hay que hidratar el cerebro, y es necesario beber dos litros de agua al día para un correcto funcionamiento neuronal.**
 - No hay estudios científicos que apoyen la necesidad de beber ocho vasos o dos litros de agua al día. Con muy poca deshidratación, el cerebro pone en marcha un sistema de alarma: la sed.¹⁰
-
- ✗ Si no aprendes algo de niño, es imposible aprenderlo más tarde**
 - Existen períodos donde el aprendizaje es más rápido o más sencillo, pero podemos aprender a lo largo de toda la vida. El aprendizaje depende de las necesidades de cada persona.¹¹
-
- ✗ Maestros y profesores deben organizar el aprendizaje para coincidir con los períodos de mayor densidad sináptica y conseguir un mayor éxito**
 - Los niños tienen en la infancia temprana muchas más neuronas y más sinapsis de las que se mantienen en la vida adulta. Cuando aprenden las habilidades básicas, la densidad de sinapsis es alta, pero esas habilidades se mantienen y mejoran, mientras la densidad sináptica va disminuyendo a lo largo de la infancia, la adolescencia y la juventud.¹²

DISCIPLINAS ACADÉMICAS LO QUE LA INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA HA DEMOSTRADO

MATEMÁTICAS

- La habilidad numérica está presente en los seres humanos desde su nacimiento y se puede trabajar y desarrollar desde muy pequeños.¹³
- Conviene capacitar a los niños en tareas aritméticas aproximadas incluso antes de que consoliden la comprensión del número simbólico.¹⁴
- No existe diferencia de género en cuanto a la capacidad de niños y niñas para afrontar con éxito tareas matemáticas.¹⁵

MÚSICA

- El circuito de recompensa se activa cuando escuchamos música.¹⁶
- Una formación temprana en lenguaje musical produce cambios estructurales en el cerebro que además pueden tener repercusión en otras habilidades cognitivas, sensoriales y motoras.¹⁷
- Las lecciones regladas de música mejoran el razonamiento basado en el lenguaje, la memoria a corto plazo, la planificación de tareas y la inhibición de conductas, y a través de estos progresos conducen a un mejor rendimiento académico.¹⁸

LECTURA

- La respuesta cerebral a la lectura es muy variada. La lectura afecta a áreas específicas del cerebro, pero estas áreas varían dependiendo del grado de emoción que nos provoque el texto, de la armonía del lenguaje, de su complejidad y de la superficialidad o profundidad de las ideas sugeridas en esa lectura.
- Los autores de una historia enganchan al lector desde el interés de nuestra mente por atender cualquier cosa que modifique nuestros pensamientos, que altere nuestras expectativas, que entre en conflicto con nuestra experiencia.
- Existe una relación positiva entre curiosidad y conocimiento.¹⁹ Los detalles, el uso de adjetivos, la evocación sensorial, la conexión con nuestros recuerdos y conceptos aprendidos activan regiones cerebrales.
- Los humanos somos muy curiosos con la vida de los demás. Nuestros cerebros están diseñados para cooperar y comprender el cerebro del otro. Nos interesa conocer, anticipar y a veces manipular el pensamiento de la persona que tenemos al lado o enfrente. Nuestros cerebros están "exquisitamente diseñados" para interactuar con otros cerebros.²⁰



DISCIPLINAS ACADÉMICAS LO QUE LA INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA HA DEMOSTRADO

POESÍA

- Al leer poesía se forman en nuestra mente imágenes sugeridas por los versos, sentimos la perfección de esas palabras sin necesidad de analizarlas y se solapan varios significados sin que nos sintamos presionados para elegir uno de ellos.
- Se comprobó con encefalografía que la respuesta cerebral era más intensa en las frases que siguen reglas específicas, como si el cerebro inconscientemente reconociera la poesía escondida en ellas.
- No es imprescindible ser conscientes del contenido de lo leído, disfrutamos de la poesía en un nivel subléxico.
- Cuanto mayor era el grado de emotividad que los participantes asignaban a un texto, mayor era la activación que mostraban los escáneres en áreas del hemisferio derecho del cerebro. Muchas de estas áreas son las que se activan con la música que nos hace sentir escalofríos.²¹

ACTIVIDAD FÍSICA

- Hay una asociación entre mayor actividad física y mayores logros académicos, algo que es especialmente evidente en el caso de las matemáticas.
- La participación y entrenamientos en equipos y clubs deportivos está ligada a un buen rendimiento escolar.
- El incremento del tiempo dedicado a las clases de educación física y a los descansos activos, con la consiguiente reducción del tiempo dedicado a las actividades académicas, no va, en contra de lo que cabría pensar, en detrimento de los resultados del aprendizaje.²²
- La actividad física tiene un efecto positivo en las funciones cognitivas de los niños, en particular en la memoria, la atención, el procesamiento general de la información y la habilidad para resolver problemas.



EJEMPLO PRÁCTICO PARA SECUNDARIA



Las ilusiones ópticas

Nuestro cerebro busca entender la realidad que lo rodea. En los seres humanos la principal entrada sensorial es la vista, pero las ilusiones ópticas usan el color, la luz y los patrones para generar confusión, o directamente engañan a nuestro cerebro.

Las ilusiones ópticas permiten desarrollar el sentido crítico, pensar en la posible explicación y aprender de una manera lúdica (<https://michaelbach.de/ot/>)

Esta página incluye 135 ilusiones ópticas, cada una con su explicación y de diferente complejidad. Muchas son enormemente llamativas.



EJEMPLO PRÁCTICO PARA PRIMARIA

¿Cuántas narices tienes?



El sistema nervioso es nuestra principal herramienta. Recoge información del exterior, la procesa, comparándola con datos almacenados en nuestra memoria, y genera una respuesta. Sin embargo, nuestro cerebro también comete equivocaciones y es posible engañarlo.

El experimento es fácil, rápido y funciona siempre, aunque a algunos niños les cuesta más. Los niños deben cruzar los dedos (dedo índice y dedo medio) y, a continuación, cerrar los ojos y suavemente con las yemas de esos dos dedos frotarse suavemente la punta de la nariz. Se pide que el que sienta que tiene dos narices grite ¡DOS! Sirve para explicar que a veces nuestros sentidos nos engañan, que necesitamos utilizar varios sentidos y que el cerebro recoge información del cuerpo y de todo lo que nos rodea.

REFERENCIAS

1. Lima, S. M. A. y Gomes-Leal, W. (2019). Neurogenesis in the hippocampus of adult humans: controversy “fixed” at last. *Neural Regen Res.*,14(11),1917-1918. <https://doi.org/10.4103/1673-5374.259616>.
2. Dunster, G. P.; De la Iglesia, L.; Ben-Hamo, M.; Nave, C.; Fleischer, J. G.; Panda, S. y De la Iglesia, H. O. (2018). Sleepmore in Seattle: Later school start times are associated with more sleep and better performance in high school students. *Sci Adv*, 4(12), p. eaau6200.
3. Mareschal, D. (2016). The neuroscience of conceptual learning in science and mathematics. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 10, 114-118.
4. Schultz, W. (2015). Neuronal reward and decision signals: from theories to data. *Physiological Reviews*, 95(3), 853-951. <https://doi.org/10.1152/physrev.00023.2014>.
5. Heilman, K. M. (2016). Possible Brain Mechanisms of Creativity. *Arch Clin Neuropsychol.*, 31(4),285-96. <https://doi.org/10.1093/arclin/acw009>.
6. Kelley, P. y Whatson, T. (2013). Making long-term memories in minutes: a spaced learning pattern from memory research in education. *Front Hum Neurosci.*, 7, 589.
7. Davies, G.; Tenesa, A.; Payton, A.; Yang, J.; Harris, S. E.; Liewald, D. y Deary, I. J. (2011). Genome-wide association studies establish that human intelligence is highly heritable and polygenic. *Molec Psychiatry*, 16 (10), 996-1005.
8. Jarrett, C. (2015). *Great myths of the brain*. John Wiley & Sons, Chichester (Reino Unido).
9. Bradbury, N. A. (2016). Attention span during lectures: 8 seconds, 10 minutes, or more? *Adv Physiol Educ.*, 40(4), 509-513.
10. Valtin, H. (2002). “Drink at least eight glasses of water a day”. Really? Is there scientific evidence for “8 × 8”? *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 283(5), R993-1004.
11. Howard-Jones, P. (2014). Neuroscience and education: Myths and messages. *Nature Rev Neurosci*, 15, 817-824.
12. Bruer, J. (1997). Education and the Brain: A Bridge Too Far. *Educational Researcher*, 26, 4-16.
13. Szklarek, E. y Brannon, E. M. (2017). Does the approximate number system serve as a foundation for symbolic mathematics? *Language Learning and Development*, 13(2), 171-190.
14. Park, J. y Brannon, E. M. (2014). Improving arithmetic performance with number sense training: An investigation of underlying mechanism. *Cognition*, 133(1), 188-200.
15. Hyde, J. S.; Fennema, E. y Lamon, S. J. (1990). Gender differences in mathematics performance: A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 107(2), 139-155. <https://doi.org/10.1037/0003-066x.60.6.581>.
16. Ferreri, L.; Mas-Herrero, E.; Zatorre, R. J.; Ripollés, P.; Gómez-Andrés, A.; Alicart, H.; Olivé, G.; Marco-Pallarés, J.; Antonijoan, R. M.; Valle, M.; Riba, J. y Rodríguez-Fornells, A. (2019). Dopamine modulates the reward experiences elicited by music. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(9), 3793-3798. <https://doi.org/10.1073/pnas.1811878116>.
17. Hyde, K. L.; Lerch, J.; Norton, A.; Forgeard, M.; Winner, E.; Evans, A. C. y Schlaug, G. (2009). Musical training shapes structural brain development. *J Neurosci*, 29(10), 3019 -3025. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.5118-08.2009>.
18. Jaschke, A. C.; Honing, H. y Scherder, E. J. A. (2018). Longitudinal Analysis of Music Education on Executive Functions in Primary School Children. *Frontiers in Neuroscience*, 12, 103. <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00103>.
19. Loewenstein, G. (1994). The Psychology of Curiosity: A Review and Reinterpretation. *Psychological Bulletin*, 116(1), 75-98.

20. Hood, B. (2014). *The Domesticated Brain*. Londres, Pelican.
21. Blood, A. J. y Zatorre, R. J. (2001). Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(20), 11818-11823. <https://doi.org/10.1073/pnas.191355898>.
22. Castelli, D. M.; Hillman, C. H.; Hirsch, J.; Hirsch, A. y Drollette, E. (2011). FIT Kids: Time in target heart zone and cognitive performance. *Prev Med* 52, Suppl 1, S55-S59.

Neurociencia. Blog de José Ramón Alonso. <https://jralonso.es>.





02

APRENDER CIENCIAS
ES CAMBIAR LA
FORMA DE GENERAR
Y VALIDAR EL
CONOCIMIENTO

2.1

Aprender ciencia escolar
implica aprender a buscar
pruebas para construir
conocimiento (indagación)

M. RUT JIMÉNEZ—LISO



Existen abundantes pruebas sobre los beneficios de un enfoque indagativo en el aprendizaje de las ciencias. Como se ha indicado en el capítulo introductorio, de las dos acepciones del eslogan *enseñando ciencia con ciencia*, una de ellas hace referencia a que la mejor manera de aprender ciencia escolar es practicándola (prácticas científicas). Los siguientes tres capítulos los dedicaremos a revisar las prácticas científicas más recomendadas por la investigación didáctica (indagación, modelización y argumentación). En el presente capítulo nos centraremos en la indagación guiada como enfoque de enseñanza de las prácticas científicas. En las implicaciones para la enseñanza mostraremos que con el enfoque de enseñanza por indagación guiada el alumnado aprende contenido científico, aprende a hacer ciencia (procedimientos), aprende qué es la ciencia y cómo se construye, y esto le genera una actitud positiva hacia la ciencia y, sobre todo, le ayuda a desarrollar pensamiento crítico, es decir, a poner en duda cualquier afirmación que no esté apoyada en pruebas.



SABÍAS QUE...

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Las ideas alternativas surgen de utilizar el sentido común y, por eso, son tan persistentes.¹

- Para ponerlas en conflicto el profesorado debe promover un cambio en la forma de generar y validar conocimiento.²
- El enfoque de enseñanza por indagación cambia esa forma de generar y validar el conocimiento.³
- También pone énfasis en la expresión de ideas personales y en la búsqueda de pruebas para contrastarlas.

El alumnado aprende de forma más activa, autónoma y motivada sobre una idea científica cuando indaga sobre ella.⁴

- Aprender ciencia escolar implica aprender a hacer ciencia, a indagar. El alumnado responde preguntas que lo enganchan, formula hipótesis y predicciones, busca pruebas para contrastarlas, toma datos, obtiene conclusiones basadas en pruebas.

Una pregunta que engancha promueve la expresión de ideas y guía toda la indagación.

Una pregunta adecuada genera el deseo de querer responderla: *Un garbanzo ¿es un ser vivo? ¿En qué te basas?*⁵

- Para que una pregunta enganche no debería ser retórica ni de solución obvia, y debería contener un fenómeno del mundo que interpela (*¿cómo es posible que haya una masacre de peces por deshidratación en el mar, si están rodeados de agua?*).
- El profesorado debe buscar preguntas adecuadas en función de que sean cercanas y relevantes para el alumnado.⁶
- Deben ser preguntas investigables.^{7,8}
- Para que estas preguntas funcionen, el profesorado debe organizar la enseñanza en secuencias guiadas de indagación (figura 1⁹).

Objetivo didáctico (fases de la práctica de la indagación)

Secuencia instruccional (fases de la instrucción)





SABÍAS QUE...

La búsqueda de pruebas como eje central de la indagación.

La indagación guiada produce más efecto que la autónoma.^{1,13,17}

La indagación emociona, ya que genera:¹⁹

- Inseguridad ante una pregunta-problema.
- Vergüenza, al ser conscientes de que no se conoce la respuesta.
- Interés para resolver cuanto antes el problema.
- Alta concentración.
- Confianza para participar y expresar las ideas personales.
- Sorpresa, cuando los datos contradicen las ideas personales.
- Aburrimiento, cuando entra en juego la búsqueda de explicaciones.
- Satisfacción, al reconocer que se ha aprendido algo nuevo.

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

- La mejor manera de aprender ciencia escolar es practicándola. Uno de los enfoques de enseñanza de prácticas científicas es la educación científica por indagación guiada.¹⁰
- La educación científica por indagación hace que el alumnado aprenda ciencia, aprenda procedimientos de la ciencia, aprenda sobre qué es la ciencia y cómo se construye^{11,12}, lo que genera una actitud positiva hacia la ciencia.¹³
- También le ayuda a desarrollar el pensamiento crítico^{14,15} (a poner en duda cualquier afirmación que no esté apoyada en pruebas).
- El profesorado debe recorrer el camino completo de la indagación que proponga al alumnado: plantear una pregunta que enganche, buscar posibles hipótesis fundamentadas en ideas alternativas, plantear posibles diseños de investigación, elegir uno de ellos, extraer los datos, analizar cómo convertirlos en pruebas y extraer conclusiones para ver qué conocimiento científico es necesario para resolverlo.
- El grado de apertura de la indagación irá en aumento conforme el alumnado haya vivido experiencias de indagación.
- El alumnado y el profesorado deben tomar conciencia de las emociones que produce la indagación para reconocer que aprender implica sentir muchas emociones y evitar bloqueos ante la inseguridad o la vergüenza.
- El profesorado debe reconciliarse con el aburrimiento del alumnado. Indagar no siempre supone hiperactividad, ya que a veces requiere tiempo para pensar despacio.²⁰



- ✘ Para conocer las ideas previas de los estudiantes es necesario hacer un cuestionario inicial o una tormenta de ideas.**

 - Las ideas personales del alumnado sobre cualquier contenido científico están a disposición del profesorado en la literatura didáctica.²¹
 - El profesorado debe favorecer un clima de confianza para que las ideas sean expresadas y discutidas (toma de conciencia) como paso imprescindible para el aprendizaje.
 - Una buena pregunta, contextualizada, con sentido, que suponga un reto para el alumnado, que lo enganche, es suficiente para que afloren las ideas personales.

- ✘ La indagación está de moda y es igual a la enseñanza por proyectos, ABP, resolución de problemas, enseñanza por investigación, enseñanza por descubrimiento.**

 - Existen muchas propuestas educativas diferentes que se han denominado “indagación”.²²
 - Hay que distinguir entre las propuestas enfocadas al profesorado y aquellas diseñadas para el alumnado.²³
 - Realmente, las propuestas de indagación solo son aquellas cuyo objetivo es que el alumnado busque pruebas para contrastar sus ideas personales.

- ✘ Indagación es el método científico.**

 - Los científicos y científicas no utilizan un único método científico. No usan el mismo método una física teórica, un químico analítico que, una naturalista en un ecosistema o un hidrogeólogo.²⁴
 - En el mal llamado “método científico” lo fundamental es “observar” e inferir una teoría a partir de la observación. Ningún científico observa sin llevar un problema que guía su mirada.
 - La indagación se enfoca hacia la búsqueda de pruebas, aquellos datos, indicios o coherencia de resultados que sirven para sustentar las conclusiones.¹⁶
 - Para que una indagación sea efectiva, el profesorado debe recorrer primero el proceso que quiere plantear al alumnado, diseñarlo y secuenciarlo.
 - El grado de autonomía del alumnado en el proceso de indagación dependerá de sus experiencias indagativas.
 - No es necesario lograr autonomía en todas las fases del proceso de indagación. A veces, el profesorado puede plantear la pregunta y dejar que el alumno proponga y revise los diseños de investigación; en otras ocasiones las preguntas pueden provenir del alumnado y los docentes aportar los diseños, los datos, etc.



EDU—MITOS

LO QUE LA INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA HA DEMOSTRADO

✘ La indagación requiere mucho tiempo.

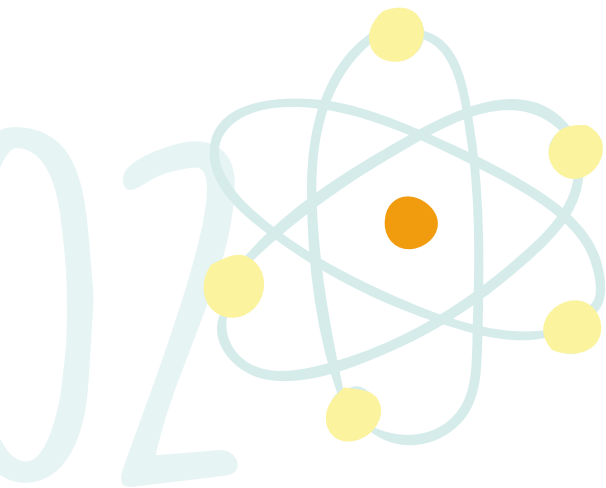
- Una secuencia de indagación completa puede realizarse tan solo en una hora.
- La mayor pérdida de tiempo es avanzar en el temario y que el alumnado no comprenda nada y, por tanto, se desenganche.

✘ Primero hay que motivar al alumnado para que aprenda.

- No hay que confundir estar involucrado y activo físicamente con estar motivado y activo intelectualmente.²⁰
- No hay mayor motivación que aprender y ser consciente de que se aprende y, al revés, no hay nada más desmotivador que no comprender algo y desengancharse del proceso de aprendizaje.

✘ En el aula debemos provocar emociones “felices”.

- Aprender conlleva emociones como *inseguridad* ante la pregunta planteada, *rechazo* o *resistencia* a cambiar de ideas, *sorpres*a cuando los datos contradicen nuestras hipótesis, *vergüenza* e *insatisfacción* por lo poco explicativa de las ideas personales iniciales.
- El enfoque de enseñanza por indagación produce esas emociones, pero también *satisfacción* al reconocer que se aprende, *interés* y *concentración*, porque la pregunta engancha de principio a fin.
- Como docentes debemos hacer consciente al alumnado de todas esas emociones para que no se bloquee y refuerce las ganas de aprender.





EJEMPLO PRÁCTICO PARA SECUNDARIA

¿Por qué se le echa sal a la carretera cuando nieva?

Ante esta pregunta y cuando proponemos al alumnado de secundaria que dibuje cómo evolucionará la temperatura del hielo a medida que añadimos sal, la mayoría indica que la temperatura aumentará. Como se ve en el video <https://youtu.be/-TMZs8X9qLI>, porque reaccionan hielo-sal, porque hace de secante o porque simplemente se calienta. Excepto Mar, que dice que la temperatura baja, con poca seguridad ante la gran mayoría.

Cuando se comprueba: *¡hala!, ¡...que baja!, ¡baja! yo tenía razón —chilla Mar—, y la sorpresa de todos... hasta por debajo de 13º bajo cero...*

Este fenómeno, que contradice las ideas iniciales del alumnado, es el detonante para que ahora todos quieran saber qué está pasando.

La explicación puede ser meramente descriptiva: *al bajar el punto de fusión y estar por debajo de los 20º la mezcla agua-sal no se congelará hasta que la temperatura ambiente esté por debajo de esa temperatura.*

O puede usarse una simulación que explique el equilibrio dinámico hielo-agua, donde se igualan velocidad de fusión y velocidad de congelación (pedir simulación a @sensociencia). Este equilibrio se desplaza hacia la fusión, requiriendo energía, y por eso baja la temperatura.



EJEMPLO PRÁCTICO PARA PRIMARIA

(eficacia probada con personas de 5 a 90 años por @sensociencia)

Un garbanzo ¿es un ser vivo?

Habitualmente solemos hacer escribir qué piensa cada niño-niña sobre la pregunta planteada, pero en 1º de primaria preferimos que se muevan hacia las ventanas los que piensen que el garbanzo era un ser vivo y hacia la puerta los que piensen que no. El debate estaba servido, ¿en qué os basáis para pensarlo?⁵

Da igual la edad a la que lo planteemos, el "nace, crece, se reproduce y muere sale como criterio de ser vivo, o está formado por células, proviene de un ser vivo (planta) pero no se mueve, no hace nada, está muerto...".

Es una secuencia ideal para hacer un listado de pros y contras de las características esenciales de los seres vivos.

Los contraejemplos (crece, el fuego crece, las uñas crecen, mi pie si me lo cortas no es un ser vivo...) generan aún más dudas.

Las funciones vitales también crean controversia, ¿el garbanzo come? ¿respira? En el caso de que respire, ¿cómo sería la gráfica con respecto

al tiempo? Si no respira ¿cómo sería? Si respira como nosotros, ¿cómo sería? Si respira como las plantas, ¿cómo sería?

Con ayuda de los sensores de CO₂ (comprobamos que suben cuando soplamos) y de O₂ comprobamos si respira y cómo respira.

¡Respira! ¡iiiY respira como nosotros!!!

Repetimos la pregunta inicial, y ahora ganan los que saben que un garbanzo es un ser vivo.

La respiración de los garbanzos nunca se olvida:

En una panadería próxima a un instituto, dos estudiantes de 1º ESO tenían esta conversación: *¡Qué fuerte, tía! ¿Tú qué piensas que el garbanzo es un ser vivo o no? ¡Yo qué sé! ¿A qué viene esta pregunta? Es que hoy en Ciencias Naturales hemos comprobado que respiran, ¡es un ser vivo!*

Jamás hubiera creído que esta conversación hubiera sido posible sin que lo hubiera comprobado.

La segunda parte (cómo respira) es más fácil de olvidar, ya que requiere de una secuencia específica para poner en conflicto que la fotosíntesis no es la respiración de las plantas. ¡También se puede hacer por indagación!

REFERENCIAS

1. Driver, R. (1986). Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos [Cognitive psychology and conceptual schemes of students]. *Enseñanza las Ciencias*, 4(1), 3-15. <http://ddd.uab.cat/record/40558>.
2. Martínez-Torregrosa, J.; Doménech, J. L. y Verdú-Carbonell, R. (1999). Del derribo de ideas al levantamiento de puentes: la epistemología de la ciencia como criterio organizador de la enseñanza en las ciencias física y química. *Curriculum*, 6-7, 67-89. http://www.quadernsdigitals.net/index.php?accionMenu=hemeroteca.VisualizaArticuloIU.visualiza&articulo_id=2675.
3. Osborne, J. (2014). Teaching Scientific Practices: Meeting the Challenge of Change. *J Sci Teacher Educ.*, 25(2), 177-196. <http://dx.doi.org/10.1007/s10972-014-9384-1>.
4. Rocard, M.; Csermely, P.; Jorde, D.; Walberg-Henriksson, H. y Hemmo, V. (2007). A Renewed Pedagogy for the Future of Europe (Report EU22-845, Brussels, 2007). McLaren, P. y Giarely, J. (eds.). *Directorate-General for Research Science, Economy and Society*.
5. Martínez-Chico, M.; Evagorou, y Jiménez-Liso, M. R. (2019). Design of a pre-service teacher training, unit to promote scientific practices. Is a chickpea a living being? *Int J Desings Learn*, 11(1), 21-30. <https://doi.org/10.14434/ijdl.v11i1.23757>.
6. Lupión-Cobos, T.; López-Castilla, R. y Blanco-López, Á. (2017). What do science teachers think about developing scientific competences through context-based teaching? A case study. *Int J Sci Educ.*, 39(7), 937-963. <http://dx.doi.org/10.1080/09500693.2017.1310412>.
7. Ferrés Gurt, C. (2017). El reto de plantear preguntas científicas investigables. *Rev Eureka sobre Enseñanza y Divulg las Ciencias.*, 14(2), 410-426. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i2.09.
8. Roca, M.; Márquez, C. y Sanmartí, N. (2013). Las preguntas de los alumnos: una propuesta de análisis. *Enseñanza las ciencias*, 31.1, 95-114
9. M. Jiménez-Liso, M. R.; Giménez-Caminero, E.; Martínez-Chico, M.; Castillo-Hernández, F. J. y López-Gay, R. (2019). El enfoque de enseñanza por indagación ayuda a diseñar secuencias: ¿Una rama es un ser vivo? Solbes, J. y Jiménez-Liso, M. R. (eds.). *Propuestas de Educación Científica basadas en la indagación y modelización en contexto*. Valencia, Tirant lo blanch.
10. National Research Council (2000). *Inquiry and the National Science Education Standards*. <http://dx.doi.org/10.17226/9596>.
11. Adúriz-Bravo, A. (2001). *Integración de la epistemología en la formación del profesorado de ciencias 2*. Dep Didàctica les Matemàtiques i les Ciències Exp., tesis doct. (vol. II), 401-622.
12. Kelly, G. J. (2008). Inquiry, activity and epistemic practice. *Teach Sci Inq Recomm Res Implement.*, enero, 99-117.
13. Aguilera, D. y Perales-Palacios, F. J. (2018). What Effects Do Didactic Interventions Have on Students' Attitudes Towards Science? A Meta-Analysis. *Res Sci Educ*. <https://doi.org/10.1007/s11165-018-9702-2>.
14. Blanco-López, Á.; España-Ramos, E. y Franco-Mariscal, A. J. (2017). Estrategias didácticas para el desarrollo del pensamiento crítico en el aula de ciencias. *Ápice Rev Educ Científica.*, 1(1),107. <http://dx.doi.org/10.17979/arec.2017.1.1.2004>.
15. Solbes Matarredona, J. y Torres, N. (2013). ¿Cuáles son las concepciones de los docentes de ciencias en formación y en ejercicio sobre el pensamiento crítico? *Tecné, Episteme y Didaxis*, 33, enero-junio, 61-85. <http://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/2034/1960>.

16. Jiménez Aleixandre, M. P. (2010). *10 Ideas clave. Competencias en argumentación y uso de pruebas*. Barcelona: Graó Editorial.
17. Ferrés Gurt, C.; Marbà, A. y Sanmartí, N. (2015). Trabajos de indagación de los alumnos: instrumentos de evaluación e identificación de dificultades. *Rev Eureka sobre Enseñanza y Divulg las Ciencias*, 12(1), 22-37. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2015.v12.i1.03.
18. Romero-Ariza, M. (2017). El aprendizaje por indagación: ¿existen suficientes evidencias sobre sus beneficios en la enseñanza de las ciencias? *Eureka sobre Enseñanza y Divulg las Ciencias*, 14(2), 286-299. http://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2017.v14.i2.01.
19. Jiménez-Liso, M. R.; Avraamidou, L.; Martínez-Chico, M. y López-Gay, R. (2019). Scientific Practices in Teacher Education: The interplay of sense, sensors, and emotions. *Res Sci Technol Educ.*, in press. <https://doi.org/10.1080/02635143.2019.1647158>.
20. Couso Lagarón, D. (2014). De la moda de “aprender indagando” a la indagación para modelizar: una reflexión crítica. *Actas de los 26 Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*.
21. Pfundt, H. y Duit, R. (1988). Bibliography. Students’ Alternative Frameworks and Science Education. *Reference Materials - Bibliographies*. <http://archiv.ipn.uni-kiel.de/stcse>.
22. Pedaste, M.; Mäeots, M.; Siiman, L. A. et al. (2015). Phases of inquiry-based learning: Definitions and the inquiry cycle. *Educ Res Rev.*, 14, 47-61. <http://dx.doi.org/10.1016/j.edurev.2015.02.003>.
23. Barrow, L. H. (2006). A brief history of inquiry: From dewey to standards. *J Sci Teacher Educ.*, 17(3), 265-278. <http://dx.doi.org/10.1007/s10972-006-9008-5>.
24. Abd-El-Khalick, F. (2013). Teaching With and About Nature of Science, and Science Teacher Knowledge Domains. *Sci Educ.*, 22(9), 2087-2107. <http://dx.doi.org/10.1007/s11191-012-9520-2>.



2.2

Aprender ciencia escolar
implica construir modelos
cada vez más sofisticados
de los fenómenos del
mundo

DIGNA COUSO LAGARÓN



¿Qué sabemos en ciencias? Cuando se habla de conocimiento científico generalmente se hace referencia a una ingente cantidad de vocabulario y conceptos específicos, así como de leyes, modelos y teorías, que son producto de la ciencia desde su inicio hasta nuestros días. Esta visión del conocimiento científico, que a pesar de los cambios curriculares aún permea las aulas, presenta un importante problema para la enseñanza y aprendizaje de las ciencias: lo que se cree que se ha de enseñar y aprender en ciencias es de naturaleza eminentemente teórica, y además muchísimo. Esto contrasta con dos ideas importantes que la investigación didáctica intenta poner de relieve. La primera, que la empresa científica no se reduce a los productos teóricos obtenidos por la ciencia, sino que incluye la actividad de generarlos. Es decir, incluye los procesos de indagación, argumentación y, como veremos en este capítulo, modelización que permiten “idear” modelos interpretativos que nos sirvan para describir, predecir, explicar e intervenir en los fenómenos de acuerdo con lo que sabemos y las pruebas disponibles y que puedan transferirse a otros contextos. Esto implica poner el foco en la modelización, es decir, en la expresión, el uso, la evaluación y la revisión de los modelos. La segunda, que los contenidos conceptuales a aprender son unas pocas, pero potentes, ideas clave que el alumnado debe construir de forma paulatina y sólida a lo largo de toda la escolaridad. El objetivo es hacer evolucionar, de forma progresiva, las ideas o modelos iniciales que el alumnado usa para predecir y/o explicar un fenómeno para que sean cada vez más coherentes con las ideas de la ciencia adecuadas al nivel de la escuela.



SABÍAS QUE...

La alfabetización científica requiere el dominio de pocas, pero potentes, ideas clave que permitan interpretar multitud de fenómenos.

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

- En enseñanza de las ciencias existe consenso sobre la necesidad de reducir y estructurar los contenidos conceptuales (teorías, modelos, conceptos...) en torno a pocas, pero potentes, ideas clave, para la etapa 0-16.¹
- Estas ideas clave nos proporcionan una forma concreta de mirar los fenómenos que nos permite comprenderlos y actuar sobre ellos. Sería un ejemplo la forma de mirar la materia que nos proporciona la teoría cinético-corpúscular.
- Los modelos científicos escolares, los que queremos que se aprendan en la escuela, son aplicaciones de esas ideas clave a un dominio de fenómenos relevantes para nuestra vida². Por ejemplo, aplicando la teoría cinético-corpúscular se construye tanto un modelo de estado sólido como de mezcla homogénea.
- Estos modelos científicos escolares no son versiones simplificadas o incompletas de los modelos científicos de la ciencia profesional, sino una reconstrucción didáctica del conocimiento científico consensuado realizada especialmente para favorecer su enseñanza y aprendizaje.³



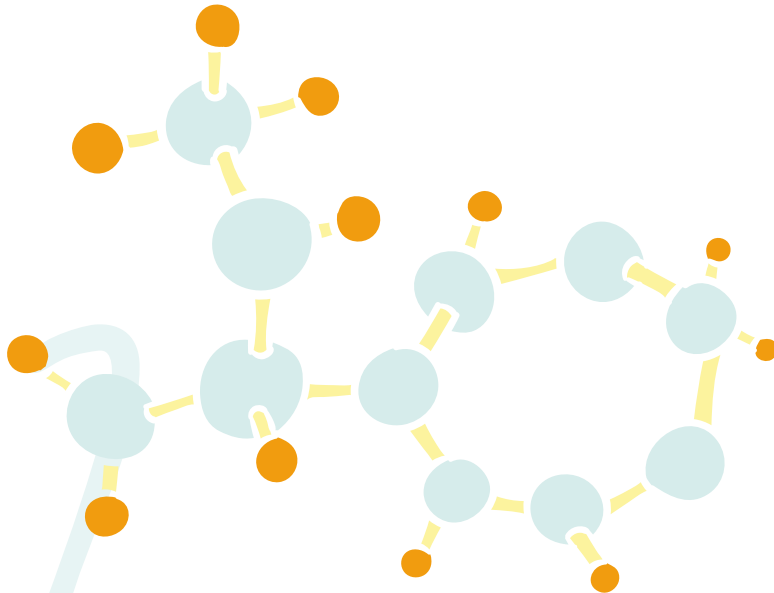


SABÍAS QUE...

La evolución de las ideas del alumnado sigue trayectorias concretas que nos pueden servir para planificar y guiar el aprendizaje desde sus modelos iniciales hasta los modelos científicos escolares.

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

- Las progresiones de aprendizaje son trayectorias conceptuales, propuestas teóricamente y validadas empíricamente, que indican posibles caminos de evolución de las ideas del alumnado desde sus modelos iniciales hacia los modelos científicos escolares.¹²
- Las progresiones de aprendizaje explicitan posibles etapas intermedias de comprensión que ayudan a los docentes a secuenciar la enseñanza de una idea científica a lo largo de toda la escolaridad. De esta forma, desde el modelo inicial habitual de la materia como continuo¹³ hasta llegar a un modelo más sofisticado de la materia formada por átomos y moléculas, el alumnado puede pasar y, de hecho le ayuda pasar, por la etapa intermedia de la materia “formada por partes (trozos pequeños)”.⁹
- Estas etapas intermedias no han de visualizarse como ideas a evitar. Al contrario, a menudo constituyen peldaños o hitos en el camino de aprendizaje que son adecuadas y deseables para el nivel educativo y la madurez intelectual del alumnado y que resultan imprescindibles para elaborar primeras explicaciones de los fenómenos, y avanzar hacia ideas y formas de razonar más sofisticadas.¹²
Por ejemplo, el modelo “partes” sirve para explicar en primera aproximación las disoluciones, mezclas, separaciones, conservación de la materia, pero requiere sofisticarse para explicar los efectos de la temperatura.⁹
- Las progresiones de aprendizaje resultan útiles a los docentes para plantearse otras formas de ver los fenómenos que son comunes en el alumnado, y que les permitan prever y ejecutar estrategias que ayuden a los alumnos a sofisticar sus ideas.¹⁴





SABÍAS QUE...

La modelización es una actividad esencial de la ciencia erudita y escolar que conlleva expresar, usar, evaluar y revisar modelos.⁴

Modelizar en el aula de ciencias sirve para adquirir conocimiento conceptual y sobre la ciencia, además de para aprender a modelizar mejor.⁸

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

- La modelización, tanto en la ciencia como en el aula, es la actividad científica de construir modelos, es decir, de elaborar representaciones simplificadas y parciales de objetos y fenómenos para poder describir, predecir y explicar aspectos que nos interesen de esos objetos o fenómenos.⁵
- La práctica de la modelización en el aula de ciencias involucra diferentes aspectos:^{6,7}
 - la expresión de los propios modelos en diversos formatos (verbal, gráfico, algebraico, etc.);
 - el uso de los modelos en distintos contextos u aplicaciones;
 - la evaluación o puesta a prueba de los modelos en base a la observación, análisis e investigación del fenómeno, y
 - la revisión de los modelos que se están construyendo para aumentar su potencial descriptivo, predictivo o explicativo.
- El interés didáctico en la modelización reside fundamentalmente en su importancia para el aprendizaje de conocimiento científico, al enganchar al alumnado en pensar, expresar y compartir su comprensión sobre cómo es y cómo funciona un cierto fenómeno.^{9,10}
- La modelización aporta también autenticidad a la enseñanza de las ciencias, al permitir que el alumnado participe en prácticas que muestran la ciencia como una actividad centrada en la generación de nuevo conocimiento en lugar de como un cuerpo de conocimiento acabado¹¹. Esto les proporciona competencia respecto a cómo se construyen y evalúan las ideas científicas en la ciencia erudita.



SABÍAS QUE...

La enseñanza de las ciencias centrada en la modelización es un enfoque didáctico que propone diferentes etapas.

Promover la modelización en el aula de ciencias requiere de una cultura de aula, un papel docente y unos recursos didácticos diferentes a los habituales en el aula de ciencias.

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

- Existen diversidad de propuestas didácticas que han mostrado ser útiles para diseñar, planificar e implementar una enseñanza de las ciencias centrada en la modelización. Estas propuestas coinciden en que parten del modelo inicial del alumnado e incluyen actividades orientadas a la evaluación y revisión progresiva de los modelos que se van construyendo.^{6,7,10,15,16}
 - Una propuesta concreta para la enseñanza de las ciencias centrada en la modelización es el “ciclo de modelización” de la figura 1, que otorga gran importancia a la expresión explícita de los modelos del alumnado e incluye una fase de consenso que estructura lo que se ha aprendido.¹⁷
-
- La promoción de la modelización en el aula requiere de los docentes el uso de estrategias dialógicas de retroalimentación y andamiaje¹⁸, tales como pedir clarificaciones, animar a la comparación, promover el cuestionamiento, etc. Esto implica sostener diálogos extensos y productivos que se alejan del patrón discursivo tradicional de pregunta (declarativa)-respuesta-evaluación.¹⁹
 - Promover la modelización también requiere de los docentes un importante conocimiento didáctico del modelo científico que se está construyendo, con el objetivo de poder identificar en las, a veces poco ortodoxas, producciones de los alumnos aquellas ideas que resuenan con las científicas y guiar su desarrollo en el aula.^{20,21}
 - Existen múltiples recursos instrumentales para apoyar la modelización en la clase de ciencias sobre los que hay evidencias de buenos resultados dependiendo de su calidad y forma de usarlos. Por ejemplo, recursos de naturaleza física como los dibujos, maquetas o modelos mecánicos; recursos digitales, como las animaciones y simulaciones digitales, la realidad aumentada y la realidad virtual; recursos cognitivo-lingüísticos, como las metáforas y analogías; e incluso recursos pseudoexperimentales, como los experimentos mentales.¹⁶

02

4
Promover la emergencia de nuevos puntos de vista: facilitar que se compartan y comparen ideas del alumnado y/o visiones más expertas para orientar los cambios en el modelo.

Facilitar la estructuración de las ideas en un modelo final consensuado: guiar la negociación de un modelo consensuado y su expresión en un formato adecuado que facilite la interpretación de nuevos fenómenos.

6
Promover la aplicación y transferencia de un modelo consensuado: invitar a usar el modelo final consensuado en la situación problemática inicial y en nuevos fenómenos y contextos.



Ayudar a poner a prueba el modelo: promover el análisis de la adecuación del modelo, facilitando el estudio en profundidad del fenómeno y/o la obtención de pruebas.

Solicitar la expresión del modelo inicial: promover el uso y expresión del modelo inicial para describir, predecir o explicar un fenómeno paradigmático.

Problematizar: plantear una situación contextualizada y una pregunta guía que problematicen un fenómeno.

(Fases de la secuencia de enseñanza y aprendizaje centrada en modelizar)





✘ La enseñanza basada en modelos y modelización no es adecuada para las etapas tempranas del aprendizaje porque los niños no tienen el pensamiento formal necesario.

- La enseñanza basada en modelos y en la modelización no es común en las aulas, particularmente en los niveles de infantil y primaria, debido a que se asocia a una enseñanza teórica y con un alto grado de abstracción⁹. Al hacerlo, se obvía que el proceso de elaboración de modelos es altamente imaginativo y que se otorga un lugar privilegiado a la observación y recogida de datos.¹⁰
- Los niños y niñas construyen, desde muy temprano y de forma espontánea, ideas y modelos sobre cómo funciona el mundo. Estos modelos incluyen reglas sencillas a partir de su experiencia (por ejemplo, que la chaqueta o la manta calientan) que conviene explicitar y poner a prueba para hacer avanzar.
- Cuando guiamos adecuadamente el proceso de construcción de conocimiento del alumnado, podemos encontrar en sus producciones la semilla de ideas científicas realmente sofisticadas. Por ejemplo, con una guía adecuada, los niños y niñas de infantil pueden hablar en términos de conceptos biológicos complejos (p. ej. diferenciación) para explicar cómo puede ser que un huevo se acabe convirtiendo en un pollito.²²

✘ Al considerar que hay unas ciertas ideas y modelos científicos escolares importantes a aprender no se tienen en cuenta los intereses del alumnado.

- Los alumnos suelen escoger temas de forma mediatizada y, a menudo, parten de un interés superficial. Estos temas pueden ser poco adecuados para fomentar la modelización en el aula. Por ejemplo, escoger los delfines como ejemplo de animal para construir un modelo de mamífero permite menos observación y recogida de datos real que si se escoge un mamífero (p. ej. un conejo) que podamos traer al aula y observar directamente.²³
- Despertar el interés del alumnado por un tema que sabemos es importante para su alfabetización y conseguir que mantenga su interés a lo largo del proceso de enseñanza y aprendizaje facilita más aprendizaje que permitir que el alumnado escoja el tema a trabajar en el aula de ciencias.

02



✗ La enseñanza basada en modelos y modelización es hacer un spoiler a los alumnos.

- Modelizar empieza por sentir la necesidad de un modelo para explicar algo que ahora mismo no sabemos explicar.¹⁷ Cuando los modelos científicos escolares se presentan antes de que los necesitemos para describir, predecir o explicar un fenómeno resultan irrelevantes.
- Para aprender un modelo científico escolar significativamente hay que modelizar, es decir, expresar y poner a prueba nuestro modelo inicial y revisarlo para que se ajuste mejor con la realidad. Si se presenta de forma magistral no facilitamos que, ante nuevos fenómenos, los alumnos usen estos modelos más adecuados en lugar de los suyos propios.¹⁶
- Esto requiere tiempos de enseñanza y aprendizaje mucho más largos y revertir el orden habitual que plantean las secuencias tradicionales y los libros de texto, de forma que el vocabulario, las definiciones y/o la “teoría” sean el punto de llegada (en lugar del punto de partida) y las preguntas, la observación, las actividades experimentales y la resolución de problemas aquello que nos sirve para llegar (en lugar de la aplicación de la teoría).

✗ Construir un modelo de algo (p. ej. de una célula o de la molécula de agua) es construir una maqueta, esquema, dibujo o simulación que muestre cómo es y cómo funciona ese algo.

- Los modelos científicos objeto de aprendizaje son de naturaleza teórica o conceptual, no de naturaleza física o material.²⁴ Por ejemplo, aunque coloquialmente hablemos del modelo Sol-Tierra al referirnos a una maqueta tridimensional o a una animación digital, el modelo científico escolar Sol-Tierra se refiere a las ideas que, entre otros, permiten explicar cómo varían las horas de luz solar en nuestra localidad y predecir cómo varían en otras localidades del planeta.
- El uso de maquetas, dibujos, simulaciones, etc. puede ser útil porque ayudan a articular de forma concreta (y no abstracta) el modelo, así como a ponerlo a prueba y revisarlo.¹⁶

✗ Las ideas y modelos científicos que enseñamos en los niveles educativos más avanzados son los verdaderos.

- Los modelos científicos son representaciones simplificadas e intencionadas de la realidad, pero no la realidad. Por ejemplo, por sofisticado que sea un modelo de átomo, este no nos dice cómo son exactamente los átomos reales, ya que no podemos saberlo.
- Conocer estas ideas de naturaleza de la ciencia (como es la ciencia) es importante para los docentes de todos los niveles, porque si los profesores piensan que los modelos son una representación “tal cual” de la realidad son menos propensos a valorar su construcción en aproximaciones sucesivas y por parte de los propios estudiantes en el aula.¹⁰



EJEMPLO PRÁCTICO PARA SECUNDARIA

(Taller práctico del proyecto REVIR 1º y 2º de la ESO)²⁶



¿Cómo regulan los animales su temperatura?

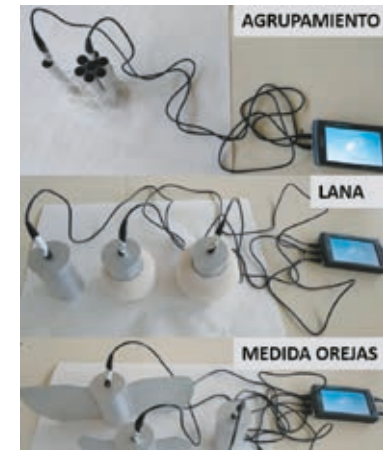
Después de hacer una lluvia de ideas donde el alumnado expresa lo que sabe de las maneras en las que los animales regulan su temperatura corporal, se les propone investigar y modelizar tres ejemplos: la agrupación de los pingüinos, la lana de las ovejas y las diferentes medidas de las orejas de los conejos según el clima en el que viven.

Una vez decidido qué mecanismo de regulación analizará cada equipo, se les pide que dibujen y expliciten cómo se imaginan que esos animales usan los mecanismos descritos para regular su temperatura corporal ante el frío o el calor ambiental. En estos dibujos gran parte del alumnado representa el frío como un fluido que intenta entrar en los animales y el agrupamiento o la lana como mecanismos productores de calor. Con ayuda de sensores de temperatura y botes con agua caliente que simulan los diferentes animales y mecanismos se construye una situación experimental analógica que permite tomar datos del cambio en la temperatura en las diferentes situaciones. Esto permite el alumnado comparar sus predicciones con lo observado:

- ¡El bote recubierto de lana no aumenta su temperatura! Aunque, si lo comparamos con el bote sin lana, vemos que la temperatura disminuye más lentamente.

- ¡El bote con “orejas” más grandes se enfría más rápidamente que los otros!
- ¡La temperatura del bote que representa al pingüino rodeado de compañeros disminuye más lentamente que la del bote que representa a un pingüino solo!

A partir de comparar sus predicciones y sus ideas iniciales con los datos obtenidos, y a través del diálogo con su docente, el alumnado reconstruye sus explicaciones sobre cómo regulan estos animales la temperatura en términos de intercambio de energía entre objetos a diferente temperatura, calor y materiales aislantes. Además, también es muy interesante reflexionar sobre las limitaciones de nuestra analogía: ¿qué diferencia a un animal del bote con agua caliente?, ¿si las orejas de los conejos no están hechas de metal, tienen algún otro elemento que facilite su refrigeración?, si entre los pingüinos agrupados hay aire, ¿cómo es que el del interior está más protegido del frío?





EJEMPLO PRÁCTICO PARA PRIMARIA

(Proyecto ParticipAire para alumnado de 5º y 6º curso de primaria)²⁵

¿Cómo es el aire de nuestra ciudad?

Después de visualizar un vídeo donde se presenta el problema de la contaminación del aire al alumnado, les pedimos que individualmente hagan un dibujo explicativo. En este deben representar cómo se imaginan el aire de un espacio limpio y el de un lugar muy contaminado, tanto a escala macroscópica (¿qué crees que verías a simple vista?) como a escala microscópica (¿cómo te lo imaginas por dentro?). Las ideas iniciales del alumnado son muy diversas y nos muestran las principales dificultades que presenta el fenómeno, por ejemplo: la contaminación como un “humo” continuo, asociada a la presencia de virus y bacterias, o como algo que cambia el aire (p. ej. de color).

Partiendo de sus ideas, presentamos al alumnado las estaciones de calidad del aire, dónde los científicos recogen datos sobre contaminación. A continuación, les entregamos algunos de los filtros recogidos en estas estaciones y les pedimos que los observen y dibujen lo que ven tanto a simple vista como con una lupa digital. Esta actividad permite al alumnado empezar a pensar en la contaminación como pequeñas partículas no vivas que no siempre pueden observarse a simple vista.

Con el objetivo de profundizar en estas ideas, seguidamente los alumnos recogen muestras del aire de su escuela, de manera análoga a como han visto que lo hacen los científicos, colocando unas muestras de cartulina untadas con un material pegajoso (p. ej. vaselina) en lugares que esperan estén más o menos contaminados. Analizando estas muestras construimos con nuestro alumnado la idea de contaminación como partículas sólidas en suspensión en el aire.



Por último, volveremos a pedir al alumnado que individualmente vuelva a dibujar y explicar sus ideas sobre el aire y la contaminación de la misma manera que lo ha hecho en la primera actividad. Esto nos permite ver si el alumnado incorpora las ideas trabajadas. La comparación y revisión de sus producciones finales permite al alumnado consensuar el modelo de contaminación que se ha construido en el aula, en el que se asocia la contaminación en el nivel microscópico a la presencia de partículas sólidas en suspensión que no siempre se pueden ver a simple vista.

REFERENCIAS

1. Harlen, W. (2010). Principles and big ideas of science education. *Assoc Sci Educ.* DOI: 978 086357 4 313.
2. Izquierdo-Aymerich, M. y Adúriz-Bravo, A. (2003). Epistemological Foundations of School Science. *Sci Educ.*, 12:27-43. <https://doi.org/10.1023/A:1022698205904>.
3. Duit, R.; Gropengiesser, H.; Kattmann, U.; Komorek, M. y Parchmann, I. (2012). The model of educational reconstruction. A framework for improving teaching and learning science. *Science Education Research and Practice in Europe*, Brill Sense, 13-37. [cc10.1007/978-94-6091-900-8_2](https://doi.org/10.1007/978-94-6091-900-8_2).
4. Gilbert, S. W. (1991). Model building and a definition of science. *J Res Sci Teach.*, 28(1), 73-79. <https://doi.org/10.1002/tea.3660280107>.
5. Oh, P. S. y Oh, S. J. (2011). What teachers of science need to know about models: An overview. *Int J Sci Educ.*, 33(8), 1109-1130. <https://doi.org/10.1080/09500693.2010.502191>.
6. Schwarz, C. V.; Reiser, B. J.; Davis, E. A. et al. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *J Res Sci Teach.*, 46(6), 632-654. <https://doi.org/10.1002/tea.20311>.
7. Baek, H.; Schwarz, C.; Chen, J.; Hokayem, H. y Zhan, L. (2011). Engaging elementary students in scientific modeling: The MoDeLS fifth-grade approach and findings. *Models and Modeling*, Springer, 195-218.
8. Lehrer, R. y Schauble, L. (2006). Scientific thinking and science literacy. *Handb child Psychol.* Handbook of Child Psychology, vol.IV, Wiley & Sons, 153-196.
9. Acher, A.; Arcà, M. y Sanmartí, N. (2007). Modeling as a Teaching Learning Process for Understanding Materials: A Case Study in Primary Education. *Sci Educ.*, 91(1), 398-417. <https://doi.org/10.1002/sce.20196>.
10. Windschitl, M.; Thompson, J. y Braaten, M. (2008). Beyond the scientific method: Model-based inquiry as a new paradigm of preference for school science investigations. *Sci Educ.*, 92(5), 941-967. <https://doi.org/10.1002/sce.20259>.
11. Gilbert, J. K. (2004). Models and modelling: Routes to more authentic science education. *Int J Sci Math Educ.*, 2(2), 115-130. <https://doi.org/10.1007/s10763-004-3186-4>.
12. Duschl, R.; Maeng, S. y Sezen, A. (2011). Learning progressions and teaching sequences: A review and analysis. *Stud Sci Educ.*, 47(2), 123-182. <https://doi.org/10.1080/03057267.2011.604476>.
13. Vosniadou, S. y Brewer, W. F. (1992). Mental Models of the Earth: A Study of Conceptual Change in Childhood. *Cogn Psychol.*, 24:535-585. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(92\)90018-W](https://doi.org/10.1016/0010-0285(92)90018-W).
14. Stevens, S. Y.; Delgado, C. y Krajcik, J. S. (2010). Developing a hypothetical multi-dimensional learning progression for the nature of matter. *J Res Sci Teach.*, 47(6), 687-715. <https://doi.org/10.1002/tea.20324>.
15. Hernández, M. I.; Couso, D. y Pintó, R. (2015). Analyzing Students' Learning Progressions Throughout a Teaching Sequence on Acoustic Properties of Materials with a Model-Based Inquiry Approach. *J Sci Educ Technol.*, 24(2-3), 356-377. <https://doi.org/10.1007/s10956-014-9503-y>.
16. Oliva, J. M. (2019). Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Ensen las Ciencias*, 37(2), 5-24.
17. Couso, D., & Garrido-Espeja, A. (2017). Models and Modelling in Pre-service Teacher Education: Why We Need Both. *Cognitive and Affective Aspects in Science Education*, Springer, 245-261.

18. Aliberas i Maymí, J.; Gutiérrez, R. e Izquierdo i Aymerich, M. (2017). Introducció a un mètode per a la conducció i anàlisi de diàlegs didàctics basat en la evaluació de models mentals. *Ensenya las Ciències*, 35(2):7-28. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2028>.
19. Mortimer, E. y Scott, P. (2003). *Meaning Making In Secondary Science Classrooms*. Mortimer, E. y Scott, P. (eds.). Maidenhead. Filadelfia: Open University Press.
20. Garrido Espeja, A. (2016). Modelització i models en la formació inicial de mestres de primària des de la perspectiva de la pràctica científica. Tesis doctoral. <https://ddd.uab.cat/record/174973>.
21. Acher, A. (2014). Cómo facilitar la modelización científica en el aula. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 63-76.
22. Acher, A. (2014). Cómo facilitar la modelización científica en el aula. *Tecné, Episteme y Didaxis, TED*, 1(36), 63-75. <https://doi.org/10.17227/01213814.36ted63.75>.
23. Garriga, N.; Pigrau, T. y Sanmartí, N. (2012). Cap a una pràctica de projectes orientats a la modelització. *Ciències Rev del Profr ciències Primària i Secundària*, 21(21), 18. <https://doi.org/10.5565/rev/ciencies.125>.
24. Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo Aymerich, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Rev Electrónica Investig en Educ en Ciencias*, 4(1), 40-49.
25. Tena, E.; Couso, D.; Solé, C. y Grimalt-Álvaro, C. (2019). *Investigant sobre la contaminació a l'aula de primària. Material docent*. Barcelona: CRECIM. https://ddd.uab.cat/pub/recdoc/2019/201068/Material_per_docent_V8_DDD.pdf.
26. Herrera, L.; Garrido-Espeja, A. y Pintó, R. (2016). *Regulació de la temperatura dels animals. Seqüència didàctica per l'estudi de la termoregulació animal i les adaptacions*. Barcelona: CRECIM. <https://ddd.uab.cat/record/182186>.



2.3

¿Cómo sabemos lo que sabemos? Mediante la argumentación y el uso de pruebas, herramientas para aprender y desarrollar el pensamiento crítico

MARILAR JIMÉNEZ ALEIXANDRE



¿Cómo sabemos lo que sabemos? Las ciencias tienen como objetivo formular preguntas sobre el mundo natural, por ejemplo ¿De dónde viene la madera de los árboles? o ¿Por qué vuelan los aviones?, y responderlas. Poseen también una forma de construcción específica, que consiste en apoyarse en pruebas, contrastando las hipótesis y modelos sobre cómo funciona algo con los datos disponibles en cada momento. Si aparecen nuevos datos o cambia la forma de interpretarlos, como ocurrió con el movimiento aparente del Sol, el modelo puede cambiar. Hoy día existe consenso en que aprender ciencias, además del conocimiento de modelos y teorías científicos, es decir los *por qué*, debe incluir la práctica de relacionar las explicaciones con las pruebas que las sustentan, una comprensión de *cómo sabemos lo que sabemos* o por qué creemos lo que creemos¹. Se conoce como *argumentación* esa evaluación del conocimiento en base a pruebas, una de las tres grandes prácticas científicas, junto con la modelización y la indagación. En el mundo actual, en el que circulan afirmaciones pseudocientíficas no contrastadas y bulos, la argumentación es una herramienta para desarrollar el pensamiento crítico.²



SABÍAS QUE...

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Al alumnado le resulta más difícil utilizar los datos de que dispone que explicar un fenómeno con conceptos o teorías.³

- Para que el alumnado desarrolle la capacidad de usar pruebas es necesario que practique repetidamente el uso de pruebas en clase.
- El conocimiento de conceptos es necesario para articular pruebas, pero no suficiente; se precisa también la competencia en usarlas.³
- A través de tareas adecuadas el alumnado es capaz de generar criterios sobre cómo debe ser un buen modelo o argumento.⁴

Tomar parte en la argumentación influye tanto en aprender a argumentar mejor como en aprender mejor los conceptos científicos.⁵

- Como todos los conocimientos prácticos —andar en bicicleta, cocinar—, a argumentar se aprende argumentando, y con ello se mejora la identificación de pruebas y el uso de justificaciones.
- La investigación ha mostrado que participar en la argumentación también mejora el aprendizaje de los conceptos y modelos de ciencias^{5,6}, por ejemplo genética o respuesta inmune.

Las pruebas son herramientas que permiten al alumnado (y a la comunidad científica) distinguir conclusiones fundamentadas en datos de meras opiniones.

- Aunque en la vida diaria puede haber variedad de opiniones, por ejemplo sobre gustos, en ciencias y en la clase de ciencias las afirmaciones deben estar fundamentadas.²
- Un ejemplo de mecanismo causal demostrado, para utilizar en clase, es el debate sobre las causas del cáncer de pulmón, fumar u otras como la contaminación. En 1996 se mostró que el benzopireno del humo del tabaco inactiva el gen p53, que detecta errores en el ADN.
- Se debate la consideración de la homeopatía como tratamiento médico, pero ningún estudio avala su eficacia. Evaluar estos datos en el aula es útil para que el profesorado en formación cambie sus posiciones sobre esta cuestión.⁷





SABÍAS QUE...

Los argumentos comprenden conclusiones, pruebas y justificaciones^{2,8} (figura 1).

- *Conclusión* es el enunciado de conocimiento que se está evaluando, por ejemplo una explicación causal (o una opción en los dilemas sociocientíficos).
- *Prueba* es la observación, hecho o experimento en que se sustenta la evaluación; un dato que tiene un papel en la evaluación se convierte en prueba.
- La *justificación* relaciona la conclusión con las pruebas, responde a: ¿cómo hemos llegado aquí?, ¿cómo prueban esos datos que la conclusión es adecuada?

A argumentar se aprende argumentando (figura 1), generando o identificando pruebas y usándolas para evaluar explicaciones u opciones.

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

- Se aprende a argumentar participando en la argumentación; es preciso que el alumnado distinga entre *conclusiones* —antes hipótesis— y las pruebas que las apoyan o refutan. Inicialmente puede ser difícil distinguirlas.⁹
- Las *justificaciones* permiten al alumnado interpretar las pruebas —el péndulo de Foucault parece girar— a la luz de la teoría pertinente —el plano de oscilación no se mueve, luego debe ser la Tierra la que gira—. Sin la justificación esas pruebas se “creerán” por la autoridad.^{2,10}
- En las operaciones argumentativas es necesaria la guía del profesorado: diseñar proyectos de larga duración o actividades en las se perciba la relación con la vida (auténticos); favorecer que diseñen experimentos u observaciones (indagación) para generar sus propios datos, o que busquen datos en estudios; guiar la interpretación de los datos para convertirlos en pruebas y evaluar modelos, explicaciones u opciones alternativas; guiar la conexión entre datos y teorías para elaborar justificaciones; planificar la evaluación entre iguales de argumentos de otros¹¹; favorecer que se hagan explícitos los criterios para comunicar bien.
- La mejor manera de aprender a usar pruebas para validar el conocimiento es practicar la argumentación, sea en infantil¹², primaria¹³ o secundaria.^{9,14}
- La *indagación* y el trabajo por proyectos proporcionan oportunidades de argumentar; las prácticas de *modelización* y *argumentación* están relacionadas, al evaluarse y revisarse los modelos en función de las pruebas.^{15,16}

02

Guiar el uso de criterios para argumentos de calidad

5

Evaluar los argumentos opuestos al propio

6

Comunicar de forma clara el argumento

Explicitar criterios para una buena comunicación

ALUMNADO



CONSTRUIR ARGUMENTOS

FIG. 1

4

Identificar las teorías relevantes y elaborar justificaciones

Guiar la conexión entre los datos y las teorías

3

Evaluar las alternativas en base a datos generados o secundarios

Guiar la interpretación de datos

2

Generar datos por experimentos u observaciones

Guiar el diseño de experimentos u observaciones

1

Identificar explicaciones / opciones alternativas

Diseñar proyectos o tareas auténticos

PROFESORADO





SABÍAS QUE...

La argumentación es una herramienta para desarrollar el pensamiento crítico, discriminar entre pseudociencia y conocimientos científicos, entre pseudoverdad (bulos) y conocimiento contrastado.

Los proyectos y actividades de argumentación pueden llevarse a cabo en dos tipos de contextos: 1) desarrollar explicaciones causales; o 2) decidir entre opciones en cuestiones socio-científicas.

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

- La práctica de argumentar contribuye a desarrollar una disposición a contrastar las afirmaciones con pruebas antes de aceptarlas, lo que es parte del pensamiento crítico^{7,8,17}. Otro aspecto del pensamiento crítico es desarrollar una opinión independiente.
 - Parte del pensamiento crítico es criticar discursos que justifican desigualdades², como el racismo o el sexismo, que no tienen base científica, aunque lo pretendan.¹⁷
 - Evaluar pruebas puede contribuir a que el alumnado se forme opiniones fundamentadas sobre cuestiones como el calentamiento global.¹⁸
-
- En la modelización y desarrollo de explicaciones, por ejemplo sobre los cambios de estado¹⁹, o la expresión de los genes¹⁶, el alumnado trabaja con datos científicos.^{9,17}
 - En cuestiones sociocientíficas, como el cambio climático¹⁸, la evaluación de dietas¹⁴, la captura de animales en el campo^{13,20}, el alumnado debe tener en cuenta datos de distintos tipos, como científicos y económicos, y valores éticos y culturales. Es una práctica compleja, pero más conectada con la vida real.

02



EDU—MITOS

LO QUE LA INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA HA DEMOSTRADO

✗ Dedicar tiempo en clase a que el alumnado participe en la argumentación “quita” tiempo para los conocimientos de ciencias que deben aprender.

- El aprendizaje de las ciencias comprende no solo aprender conceptos, sino también ser capaz de llevar a cabo las prácticas mediante las cuales se generan y validan los conocimientos.^{1,2}
- La práctica de la argumentación influye también en la mejora del aprendizaje de conceptos, por ejemplo el de vacuna y respuesta inmune⁵, o los ecosistemas¹³. Más aún, usando pruebas pueden cambiar sus modelos.^{12,19}
- Las actividades de argumentación pueden durar desde unas sesiones de clase a proyectos a lo largo de varios meses, que es lo más idóneo.¹⁰

✗ Hay cuestiones científicas, como la evolución, el cambio climático o las vacunas, sobre las que distintas personas pueden tener diferentes posiciones igualmente válidas.

- Los conocimientos científicos se validan a través de la argumentación, evaluando distintas alternativas en base a las pruebas disponibles.²
- Puede haber más de un modelo (evolución, otros) que explique un fenómeno como el origen de los seres vivos, pero una vez contrastado con las pruebas, se acepta hasta que aparezcan nuevos datos.^{2,8}
- Al alumnado le cuesta comprender primero que puede haber más de una teoría para explicar un fenómeno, y más adelante que hay procesos para decidir qué explicación es mejor.⁸

✗ El alumnado puede investigar del mismo modo que los científicos y científicas.

- No debe confundirse a niños y niñas con “científicos en miniatura”. La participación en las prácticas científicas pretende que sean “profanos competentes” (*competent outsiders*).²¹
- El objetivo de la enseñanza de las ciencias debe ser que puedan utilizar estos conocimientos y prácticas como la argumentación, la evaluación de pruebas, en la vida real, cotidiana.²²
- Un aspecto en el que deben ser similares las prácticas científicas en el aula y en la investigación es la cooperación en equipo.^{9,11}

02



✘ Las pruebas válidas son únicamente las experimentales.

- Tanto las pruebas generadas por el alumnado mediante experimentos como mediante la observación intencional (*purposeful observation*) son datos de primera mano, útiles para evaluar y revisar conocimientos.^{12,19}
- La observación intencional, planificada y reflexiva, es adecuada para infantil y primaria, si a estos alumnos y alumnas les cuesta más diseñar experimentos.¹²
- Hay temas en los que se usan datos secundarios, de investigaciones que no es posible realizar en clase. Identificar y usar estos datos es también parte de la práctica de argumentar. Lo importante es no solo manipular (*hands on*) sino activar la actividad intelectual (*minds on*).

✘ La argumentación puede enseñarse explicándola bien en una clase magistral.

- El alumnado argumenta si su papel en clase es el de *construir conocimiento* en vez de adquirirlo, si se le pide evaluar conocimientos, usar pruebas.
- Los mejores ambientes para aprender prácticas científicas —modelización, argumentación e indagación— y conceptos son los proyectos de cierta duración, que den oportunidades al alumnado para reflexionar sobre lo aprendido y revisar sus conocimientos.^{12,14,23,24}

✘ Los niños y niñas de infantil y primaria no son capaces de usar pruebas y argumentar.

- Los niños y niñas tanto de educación infantil como de primaria son capaces de elaborar y revisar modelos, de usar pruebas y argumentar, y de diseñar y llevar a cabo experimentos, si se les da oportunidades de hacerlo.^{12,23,24}
- Los ambientes de aprendizaje y contextos más adecuados para la argumentación y modelización parten de los intereses del alumnado.
- El alumnado que diseña soluciones a problemas, construye modelos, evalúa afirmaciones, interioriza que puede llegar a ser *cientific@* o *ingenier@*.²³

✘ Aprender a argumentar requiere únicamente apoyar las conclusiones propias con pruebas.

- Aprender a elaborar argumentos de buena calidad requiere tener en consideración no solo los argumentos propios, sino también los alternativos, sea para criticarlos, sea para aceptarlos.
- Es necesario un clima de aula en el que haya verdadero diálogo, atendiendo a lo que dicen otras personas e incorporándolo a los argumentos propios.

02



EJEMPLO PRÁCTICO PARA SECUNDARIA

(4º ESO, tesis de Beatriz Bravo; en los recursos)¹⁷

¿Qué pescar para alimentar a la población el mayor tiempo posible?

Una localidad costera ha sufrido el paso de un huracán, sus cosechas han sido destruidas y se ha perdido el ganado. El principal recurso para sobrevivir es la pesca de arenques, sardinas y salmones.

Formáis parte de una ONG, enviada para ayudar a gestionar la pesca mientras cultivos y ganado se recuperan. **El objetivo es decidir cómo gestionar la bahía para alimentar a la población durante el mayor tiempo posible.** Tendréis que encontrar la forma más eficiente de aprovechar los recursos pesqueros disponibles. Informaciones útiles:

1. **Dieta del salmón:** principalmente sardinas y arenques, en proporción de 1:5, para cada kilo de salmón son necesarios 5 kg de arenques y sardinas.
2. **Dieta de arenques y sardinas:** plancton herbívoro y carnívoro.

3. Tabla de datos de producción y biomasa de esta cadena trófica

	Producción (kg/km ² /año)	Biomasa (kg/km ²)
Salmones	70	540
Sardinas y arenques	900	1800
Plancton carnívoro	11000	5400
Plancton herbívoro	110000	18000
Plancton vegetal (algas microscópicas)	1825000	10000

4. Cadena trófica
Energía solar → Plancton vegetal → Plancton herbívoro → Plancton carnívoro → Sardinas y arenques → Salmones
5. Recordad las figuras de pirámides tróficas elaboradas anteriormente. **Aprender de su puesta en práctica:** es necesaria una interpretación adecuada de los datos para integrar el modelo de transferencia de energía con la información proporcionada y tomar una decisión. Cuestiones clave son por ejemplo los datos de la dieta del salmón (proporción 5:1) o los de biomasa y producción del salmón, comparados con los de sardinas y arenques. El alumnado experimenta dificultades para interpretar datos y pruebas, y para establecer conexiones entre diferentes conjuntos de datos, necesitando apoyo del profesorado.¹⁵



EJEMPLO PRÁCTICO PARA PRIMARIA

(Educación infantil 3 (5-6 años), tesis de Sabela F. Monteiro, 2018; en detalle)¹²

¿Qué hay dentro de la boca de los caracoles?

Las niñas y niños usan datos de observación intencional, experiencias e informaciones secundarias para revisar sus ideas iniciales acerca de la boca de los caracoles —que tenían en clase en una caja— a lo largo de 7 sesiones de enero a mayo.

- Enero, última semana: dibujaron lo que hay “dentro de su boca”, representando “lengua” y “dientes” como los humanos.
- 17 de febrero: experiencia, miran por debajo de un vidrio a un caracol comiendo harina, observando que su “lengua” es muy pequeña.
- 24 de febrero: al limpiar la caja observan en las zanahorias “túneles” largos; deciden estudiar cómo son sus “dientes”. Consideran las marcas pruebas de que tienen dientes “no como los nuestros” para poder hacer esos profundos “agujeritos”.

- 17 de marzo: traen de casa información e imágenes (de Internet) solicitadas por la maestra, incluyendo el nombre, rádula, con “forma de cinta” y pequeños “piquitos” como de sierra, “para raspar la comida”; deciden que no son “dientes”.
- 21 de marzo: visionado de un vídeo de YouTube de un caracol comiendo.
- 24 de marzo: revisión crítica de los dibujos de enero; la maestra les pide que expliquen por qué los dibujaron así y que los comparen con sus observaciones, las marcas, el vídeo: “Los piquitos tienen ganchos [forma de]; imitan al caracol sacando y metiendo la lengua rápidamente; comunicación no verbal.
- 12 de mayo: observan una rádula de lapa a través del estereomicroscopio digital, proyectando las imágenes en la pantalla y discutiéndolas colectivamente. Tiene lugar una nueva revisión de ideas, proponiendo analogías como “cremallera” (traducido del gallego):

Maestra: *¿Y cómo funcionará [la “lengua”] para que haga los agujeros?*

Elena: *La estirarán, pillarán la comida y la volverán a meter en la boca.*

Marta: *Es verdad, como las mariposas.*



Alberto: Tiene que ser rugoso para que la raspen, [la comida] porque si no es rugoso no, no, no... No raspa... Seguro que mientras está girando la rádula se va metiendo porque hace agujeros grandes.

La maestra los anima a proponer explicaciones, el “cómo”. Elena y Marta proponen un primer mecanismo y la analogía con las mariposas, relacionando los datos nuevos con conocimientos anteriores. Alberto propone que gira y perfora (como un taladro), lo que explica los túneles. Proponer mecanismos, un nivel más alto del pensamiento causal, es más difícil que identificar causas.

Cabe destacar la forma de trabajar de la maestra, revisando continuamente las ideas anteriores, las pruebas y su interpretación, promoviendo la reflexión. En gran medida las pruebas proceden de la observación intencional, sistemática y prolongada. El resumen es que estos niños y niñas son capaces de generar pruebas, y usarlas para revisar sus ideas, cuando se dan oportunidades para ello.



Figura 2 (tesis de S. F. Monteiro, 2018). Dibujo de niña de 6 años, conclusiones del experimento: “Los caracoles huelen porque pusimos binagre (sic) y agua y fueron al agua”.

REFERENCIAS

1. Osborne, J. (2014). Teaching scientific practices: Meeting the challenge of change. *J Sci Teacher Educ.*, 25(2), 177-196. <http://dx.doi.org/10.1007/s10972-014-9384-1>.
2. Jiménez Aleixandre, M. P. (2010). *10 Ideas Clave. Competencias en argumentación y uso de pruebas*. Barcelona: ed. Graó.
3. Bravo-Torija, B. y Jiménez Aleixandre, M. P. (2014). Articulación del uso de pruebas y el modelo de flujo de energía en los ecosistemas en argumentos de alumnado de bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias*, 32-3, 425-442. <http://dx.doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1281>.
4. Pluta, W. J.; Chinn, C. A. y Duncan, R. G. (2011). Learners' epistemic criteria for good scientific models. *Journal of Research in Science Teaching*, 48, 486-511.
5. Maguregi González, G.; Uskola Ibarluzea, A. y Burgoa Etxaburu, B. (2017). Modelización, argumentación y transferencia de conocimiento sobre el sistema inmunológico a partir de una controversia sobre vacunación con futuros docentes. *Enseñanza de las Ciencias*, 35(2), 29-50. https://ddd.uab.cat/pub/edlc/edlc_a2017v35n2/edlc_a2017v35n2p29.pdf.
6. Zohar, A. y Nemet, F. (2001). Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, 35-627.
7. Uskola, A. (2016). ¿Los productos homeopáticos pueden ser considerados medicamentos? Creencias de maestras/os en formación. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(3), 574-587. <https://revistas.uca.es/index.php/eureka/article/view/2991/2761>.
8. Erduran, S. y Jiménez Aleixandre, M. P. (eds.) (2008). *Argumentation in science education: perspectives from classroom-based research*. Dordrecht: Springer.
9. Jiménez Aleixandre, M. P.; Bugallo, A. y Duschl, R. A. (2000). "Doing the lesson or doing science": Arguments in high school genetics. *Science Education*, 84, 757-792.
10. Jiménez Aleixandre, M. P.; Gallástegui Otero, J. R.; Eirexas Santamaría, F. y Puig Mauriz, B. (2009). *Actividades para trabajar el uso de pruebas y la argumentación en ciencias*. Santiago de Compostela, Danú. Descargable en www.rodausc.gal.
11. Custodio, E.; Márquez, C. y Sanmartí, N. (2015). Aprender a justificar científicamente a partir del estudio del origen de los seres vivos. *Enseñanza de las Ciencias*, 33-2, 133-155. <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/viewFile/293269/381769>.
12. López Rodríguez R, Jiménez Aleixandre, MP. ¿Podemos cazar ranas? Calidad de los argumentos de alumnado de primaria y desempeño cognitivo en el estudio de una charca. *Enseñanza de las Ciencias*, 2007;25(3): 309-324. .
13. Monteiro, S. F. y Jiménez Aleixandre, M. P. (2016). The practice of using evidence in kindergarten: The role of purposeful observation. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(8), 1232-1258. <https://www.raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/87929/216419>.
14. Brocos, P. y Jiménez Aleixandre, M. P. (2019). El impacto ambiental de la alimentación: argumentos de alumnado de magisterio y secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, 37(3), en prensa.
15. Bravo Torija, B. y Jiménez Aleixandre, M. P. (2013). ¿Criaríamos leones en granjas? Uso de pruebas y conocimiento conceptual en un problema de acuicultura. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10 (2), 145-158. <http://doi.org/10.498/15111>.
16. Puig, B.; Ageitos, N. y Jiménez Aleixandre, M. P. (2017). Learning gene expression through modelling and argumentation: A case study exploring connections between the worlds of knowledge. *Science & Education*, 26(10), 1193-1122.
17. Puig, B.; Bravo Torija, B. y Jiménez Aleixandre, M. P. (2012). *Argumentación en el aula: Dos unidades didácticas*. Santiago de Compostela, Danú. Descargable en www.rodausc.gal.

18. Sezen-Barrie, A.; Shea, N. y Borman, J. H. (2017). Probing into the sources of ignorance: Science teachers' practices of constructing arguments or rebuttals to denialism of climate change. *Environmental Education Research*. <http://dx.doi.org/10.1080/13504622.2017.1330949>.
19. Monteiro, S. F. y Jiménez Aleixandre, M. P. (2019). ¿Cómo llega el agua a las nubes? Construcción de explicaciones sobre cambios de estado en educación infantil. *Rev Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 16(2), 2101. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i2.2101.
20. Evagorou, M.; Jiménez Aleixandre, M. P. y Osborne J. (2012). "Should we kill the grey squirrels?". A study exploring students' justifications and decision-making. *International Journal of Science Education*, 34(3), 401-428.
21. Feinstein, N. (2011), Salvaging science literacy. *Science Education*, 95(1), 168-185.
22. Duncan, R. G.; Chinn, C. A. y Barzilai, S. (2018). Grasp of evidence: Problematizing and expanding the next generation science standards' conceptualization of evidence. *Journal of Research in Science Teaching*, 55, 907-937.
23. Kelly, G. J. y Cunningham, C. M. (2019). Epistemic tools in engineering design for K-12 education. *Science Education*, 103, 1080-1111.
24. Lehrer, R. y Schauble, L. (2012). Seeding evolutionary thinking by engaging children in modeling its foundations. *Science Education*, 96(4), 701-724.





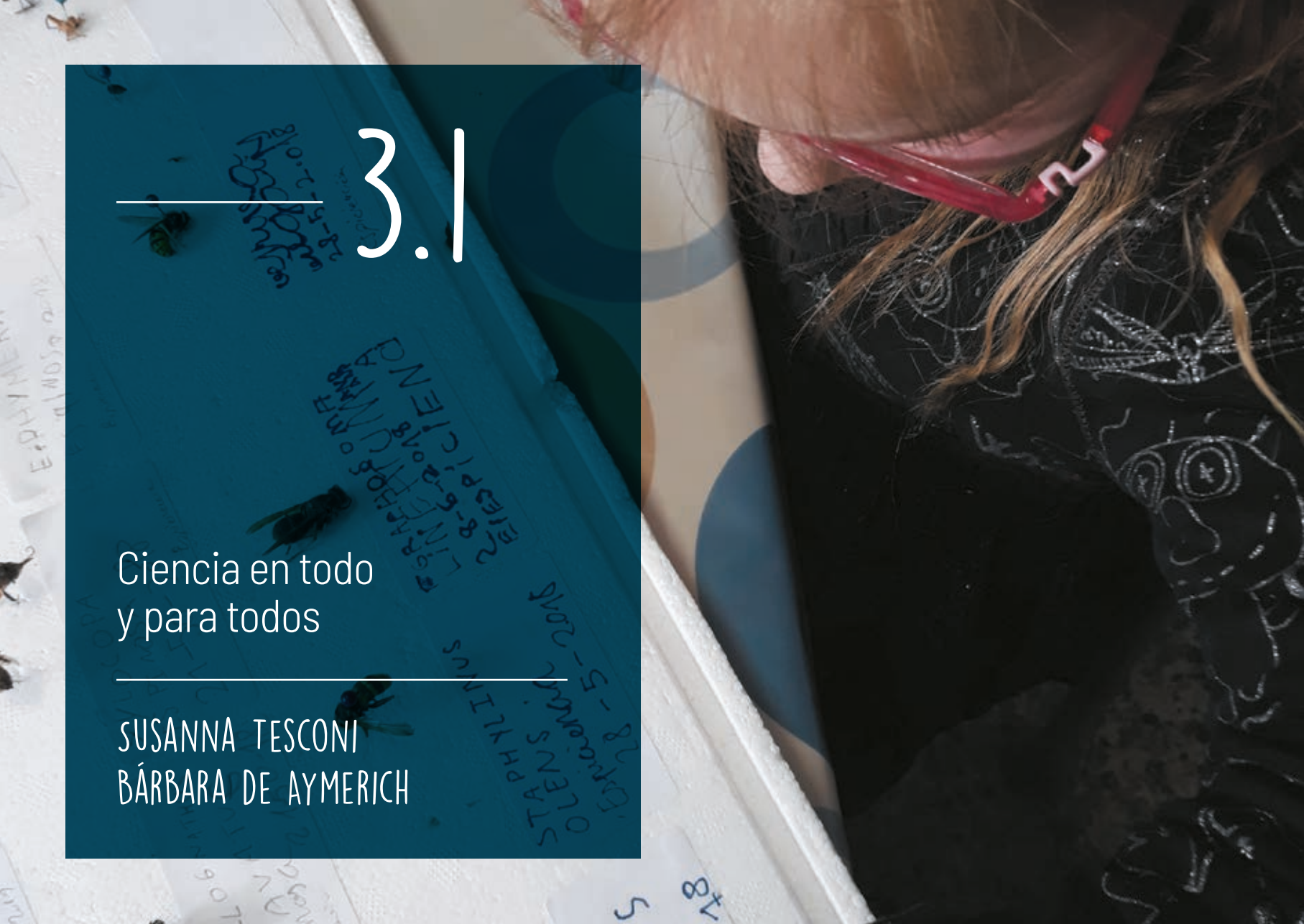
03

ENSEÑAR CIENCIAS
ES PREPARAR PERSONAS
PARA PARTICIPAR
EN UNA SOCIEDAD
DEMOCRÁTICA CON
VALORES

3.1

Ciencia en todo
y para todos

SUSANNA TESCONI
BÁRBARA DE AYMERICH



La enseñanza STEAM se presenta como una herramienta altamente versátil en la consecución de diversos objetivos que van desde la incenti- vación de las vocaciones en ciencia y tecnología, hasta el incremento del capital científico o la adquisición de las competencias y destrezas básicas para afrontar los retos de un futuro, resumidas en las 4C que aparecen en la Agenda Mundial 2030: creatividad, comunicación, pensamiento crítico y colaboración.

La creatividad, reflejada en la “A” del acrónimo STEAM, vincula la ciencia con el arte como expresión de la Naturaleza, ingenio humano que se presenta creador desde sus inicios. Además, esta forma de entender la educación científico-tecnológica da la posibilidad de conocer, interpretar y representar la realidad que nos rodea desde diferentes perspectivas y miradas múltiples, y prepara al alumnado para tomar conciencia de los aprendizajes adquiridos.

La educación STEAM, basada en el diálogo, reflexividad y en el pensamiento crítico, permite practicar en el aula procesos de democratización del conocimiento científico-tecnológico. También amplía las posibilidades de acercamiento de la sociedad a un mundo cada vez más tecnológico, más virtual. La educación STEAM permite desarrollar todo su potencial para la liberación de cualquier dependencia, la inclusión y la equidad que también la determinan.

En este sentido la ciencia, el arte y la tecnología proporcionan métodos, contenidos, valores y prácticas para el diseño de entornos de aprendizaje que permitan al alumnado pensar, generar y representar procesos de cambio, de creación colectiva y de innovación basados en el pensamiento crítico. De hecho, hay muchos autores que identifican pensamiento crítico y científico, ya que el escepticismo es uno de los principales valores de la ciencia moderna, que pretende que cualquier conclusión

esté fundamentada en pruebas y que el conocimiento científico debe someterse a un examen crítico en busca de errores y contradicciones.

La selección de información correcta, no sesgada, en un entorno en el que, cada segundo, aparecen noticias y “verdades” infundadas por parte de gurús pseudocientíficos, son claves en la didáctica de las ciencias en la época de la posverdad. Este aspecto toma particular relevancia en relación con una de las competencias base para nuestro presente-futuro científico: la comunicación, entendiendo la ciencia como derecho universal que debe llegar a todos, ser parte de todos. Es en este ámbito donde la divulgación científica cobra trascendencia y donde la enseñanza-aprendizaje de la ciencia se torna voz y experiencia compartida.

Sin embargo, la dimensión social de la ciencia queda adolecida y mermada sin su esencia colaborativa. El trabajo en equipo en un entorno STEAM, concebido desde un enfoque interdisciplinar, constituye una oportunidad única para el desarrollo de enfoques múltiples y una conciencia global de la ciencia, un caldo de cultivo para el desarrollo de la creatividad en la identificación y resolución de problemas complejos. Una herramienta fundamental para la construcción social de nuestro futuro.

Por último, no debemos olvidar que la ciencia es mucho más que gente en bata blanca metida en laboratorios descubriendo conceptos abstractos de confusa utilidad. La ciencia es medicina, es conocimiento de nuevas especies, es lucha contra el cambio climático, es avance en comunicaciones, es mejoras en fuentes de energía, es empatía y esperanza de futuro. Todo eso y muchísimas cosas más hacen del acceso a la ciencia un derecho primordial del ser humano.

La ciencia es, sin duda, un bien común que nos protege, nos empuja y nos humaniza.



SABÍAS QUE...

La ciencia ha estado vinculada a otras disciplinas desde sus inicios, confiriéndole su carácter global y unificador.

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

- La división letras vs. ciencias frustra el desarrollo de la “ciencia experimental”. En muchos casos los desarrollos científicos que pueden darse en un campo pueden venir de la mano de ideas del pasado que quedaron ancladas y que se retoman más tarde, proviniendo, muchas de ellas, de disciplinas vinculadas con la “A” de STEAM.
- Ha habido muchos científicos que han sido músicos, como William Herschel, que en 1781 observó por primera vez a Urano, o que, como Roald Hofmann, premio Nobel de Química, han escrito literatura. Otro caso muy conocido es el de Harold Kroto, Nobel de Química por identificar la forma halotrópica del C60 (fullereno). Cristalográficamente solo veía hexágonos y pentágonos, pero imaginó su “forma” porque era un enamorado de la arquitectura de Buckminster Fuller, que inspirado en un balón de fútbol, había diseñado cúpulas estables de pentágonos y hexágonos. Esto fue su “prueba” de que el C60 (fullereno en honor al arquitecto) era estable.
- Otro hecho reseñable y curioso es lo que YouTube, Airbnb o Alibaba tienen en común. Todos sus “creadores”-presidentes tienen formación ligada a las Humanidades: Susan Wojcicki (YouTube) es licenciada en Historia y Literatura, Brian Chesky (Airbnb) es licenciado en Bellas Artes y Jack Ma (Alibaba) en Filología inglesa.
- Los espacios comunes entre *ciencia* y *literatura* facilitan la generación de conocimiento a partir de un mestizaje de contenido y metodológico. Un ejemplo claro es el proyecto “Lenguaje médico centrado en el paciente” de la Fundación Lilly, que insiste en que la humanización del sistema sanitario no consiste únicamente en decorar las salas sino que requiere de cambios profundos, conceptuales y culturales, que pasan sobre todo por escuchar y entender al paciente, comprenderle y en último término consolarle. En medicina, en ciencia, las palabras son una herramienta esencial. Ese inmenso poder de la palabra, lo que dice el médico, lo que transmite el docente, es en ocasiones más curativo, más educativo, que el propio tratamiento o conocimiento.
- La conexión entre estos ámbitos disciplinarios representa una oportunidad para la integración de las *ciencias* en la *cultura* global, y para la difusión de las principales aportaciones de la ciencia y sus relaciones con la vida cotidiana.⁹
- La literatura y el *cine* de ciencia ficción, gracias a su potencial motivador, se convierten en un excelente recurso didáctico para la enseñanza de las ciencias. Analizar un determinado filme desde la perspectiva de las *ciencias naturales* nos permite acercarnos a una enseñanza de la ciencia para la ciudadanía, contribuyendo al desarrollo de un alumnado crítico capaz de diferenciar ciencia, ciencia posible y ciencia imposible.¹⁰



SABÍAS QUE...

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

La ciencia ha estado vinculada a otras disciplinas desde sus inicios, confiriéndole su carácter global y unificador.

- La *historia* de la ciencia nos permite evidenciar las continuas sinergias existentes entre el *conocimiento científico* y la *creación artística*.¹¹
- El desarrollo tecnocientífico tiene lugar en un contexto histórico definido por un marco *filosófico* y *político*. Por esa razón la enseñanza de la ciencia se puede beneficiar por la adopción de una mirada tecno-política y filosófica que permita al alumnado entender los vínculos existentes entre *ciencia*, *valores* y *política*.¹³
- La educación física, entendida como parte integrante de las ciencias del movimiento, es otro ámbito que conecta de forma significativa con la enseñanza de la ciencia y representa otra estrategia motivadora para el aprendizaje interdisciplinario.¹³
- La persona no se puede dividir en bloques. En otros países los currículos están más mezclados.

La ciencia es cultura. La ciencia es sociedad.

- No debemos olvidar que la ciencia es cultura. Su conocimiento nos convierte en personas más capaces, responsables y libres. La cultura científica amplía nuestras miras, extiende nuestros horizontes que van desde la cotidianidad de un amanecer o lo complejo de un agujero negro¹⁴. Es importante que la educación en ciencias capacite al alumnado para participar en un mundo en el que la ciencia y la tecnología tienen un papel fundamental.¹⁵
- La ciencia ciudadana reduce la distancia con el conocimiento científico bien porque facilita la participación de la ciudadanía en procesos reales de investigación científica o bien porque le demanda soluciones a problemas que no se habían planteado antes; un claro ejemplo es el relato de Brian Wynne acerca de cómo los expertos tuvieron que desarrollar nuevos estudios sobre el impacto de la radiación, tras el accidente de Chernóbil, que llegó a la leche producida por las ovejas que pastaban en los pastos de Cumbria, en el Reino Unido.¹⁶ En contextos educativos permite entender la generación del conocimiento científico, así como hacer consciente al alumnado de los retos tecnocientíficos y sociales contemporáneos.¹⁷
- En la actualidad cualquier persona interesada puede participar en proyectos de ciencia ciudadana utilizando sus plataformas digitales (<https://ciencia-ciudadana.es/listado-de-proyectos/>, <https://www.citizenscience.org/>). En una auténtica democracia, es necesario que la ciudadanía sepa analizar la información de forma crítica, y debe ser capaz de intervenir activamente en las decisiones que la afectan¹⁸. Por tanto, la participación de la ciudadanía en las decisiones sociales tecnocientíficas es la principal finalidad para la educación científica.¹⁹



SABÍAS QUE...

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

La vinculación del alumnado en proyectos científico-tecnológicos mejora sus competencias asociadas al desarrollo de los 17 objetivos de la ONU para transformar nuestro mundo. La ciencia es cultura. La ciencia es sociedad.²⁰

- La educación científico-tecnológica desempeña y desempeñará un papel imprescindible en la consecución de los objetivos propuestos por la ONU para el desarrollo sostenible.²¹
- Así, el capital científico adquirido por el alumnado desde edades tempranas puede y debe contribuir a los objetivos Desarrollo sostenible y la relación áreas STEAM:
 - Acabar con la pobreza, ideando estrategias de producción de nuevos alimentos y gestionando los recursos existentes en condiciones óptimas, asegurando el crecimiento económico y el trabajo digno (Objetivos 1, 2, 8 y 12, Ciencia-Tecnología-Matemáticas, en adelante en siglas en inglés STM).
 - Mejorar la salud y el bienestar de la humanidad, implementando nuevas técnicas biomédicas, diseñando medicamentos inteligentes (Objetivo 3, STE).
 - Garantizar una educación de calidad en la que todos tengan acceso a la ciencia y la tecnología como derecho universal, sin diferencias entre grupos sociales, sin brecha de género, con inclusión y universalidad (Objetivos 4, 5, 10, STEAM).
 - Velar por la recuperación y sostenibilidad de nuestro planeta, sus recursos naturales, su biodiversidad, evitar el cambio climático (Objetivos 6, 13, 14, 15, STEAM).
 - Diseñar e innovar en industria, infraestructuras, ciudades biocompatibles, energías limpias (Objetivos 9, 7, 11, TEAM).
 - Trabajar en equipos interdisciplinarios, donde cada uno aporta lo mejor de sí, compartiendo resultados, afianzando lazos y redes de ciencia (Objetivos 16 y 17, STEAM).

La ciencia no es ciencia si no se comparte.

- La divulgación de las ciencias, aparte de ser una estrategia para la difusión del conocimiento científico al público no especializado, se manifiesta como una estrategia adecuada para potenciar los aspectos comunicativos en la educación científica formal.²²
- La divulgación científica reviste gran importancia en la formación de una ciudadanía informada y participativa.²³
- La Comisión Europea, en esta línea, impulsa redes colaborativas para ofrecer al profesorado la posibilidad de trabajar las controversias sociocientíficas y la Investigación e Innovación Responsables, junto con los recursos didácticos y la formación²⁴. Entre ellas, <http://www.aciertas.org/> y <http://www.scientix.eu/>.



¿Cómo voy a enseñar ciencias si yo soy de letras?

- Las percepciones, actitudes y creencias que tiene el profesor acerca de sí mismo y su vivencia de la materia afectan de forma positiva o negativa a las concepciones que los alumnos van elaborando sobre sus posibilidades de aprendizaje, llegando a influir en su comportamiento y rendimiento²⁵. En este sentido las actitudes negativas del profesorado hacia la enseñanza de la ciencia afectan de forma significativa la calidad de la oferta educativa.
- La ciencia es cultura y pertenece a toda la humanidad, no solo al colectivo científico. En muchas ocasiones la ciudadanía, sin una formación inicial en ciencias, ha liderado respuestas de problemas que la afectaban. Veamos como ejemplo el caso del matrimonio Odone (*Lorenzo's oil*) que, viendo cómo su hijo sufría la terrible enfermedad degenerativa de la adenoleucodistrofia (ALD), se convirtieron en grandes conocedores del problema, llegando a encontrar soluciones paliativas para su hijo y congregando a multitud de expertos para que unieran sus fuerzas en la lucha contra el ALD.
- El profesorado debe plantear estos problemas sociocientíficos y ambientales que nos involucran a todos (seamos de ciencias o de letras).²⁶
Una consistente cantidad de recursos compartidos para la enseñanza de la ciencia se encuentran disponibles en la red, proporcionando al profesorado la oportunidad de autoformarse y compartir prácticas experimentales de enseñanza. Ejemplo de ello son las plataformas Aciertas o Scenio, y las vertientes educativas del CSIC, ESA o FECYT.
<http://www.aciertas.org/Home/Recursos>
<http://www.scenio.es> <http://www.kids.csic.es/>
<http://esero.es/>
<https://www.fecyt.es/es/ciencia-para-todos>

La educación científica aleja al alumnado del desarrollo de su creatividad.

- Una de las características más importantes que comparten arte y ciencia es el esfuerzo común en la creación de los poderosos métodos a través de los cuales completamos el mundo. Esta idea se basa en una concepción de la creatividad que va más allá del modelo místico-mágico-intuitivo-imaginativo, y se vincula al pensamiento racional y científico.²⁷
- Como sugiere el propio Albert Einstein, "la formulación de un problema es frecuentemente más esencial que su solución, que puede ser tan solo un asunto de destreza matemática o experimental. Plantearse nuevas cuestiones, nuevas posibilidades, ver viejos problemas desde un nuevo ángulo, requiere una *imaginación creadora* y marca un avance real en la ciencia".²⁸





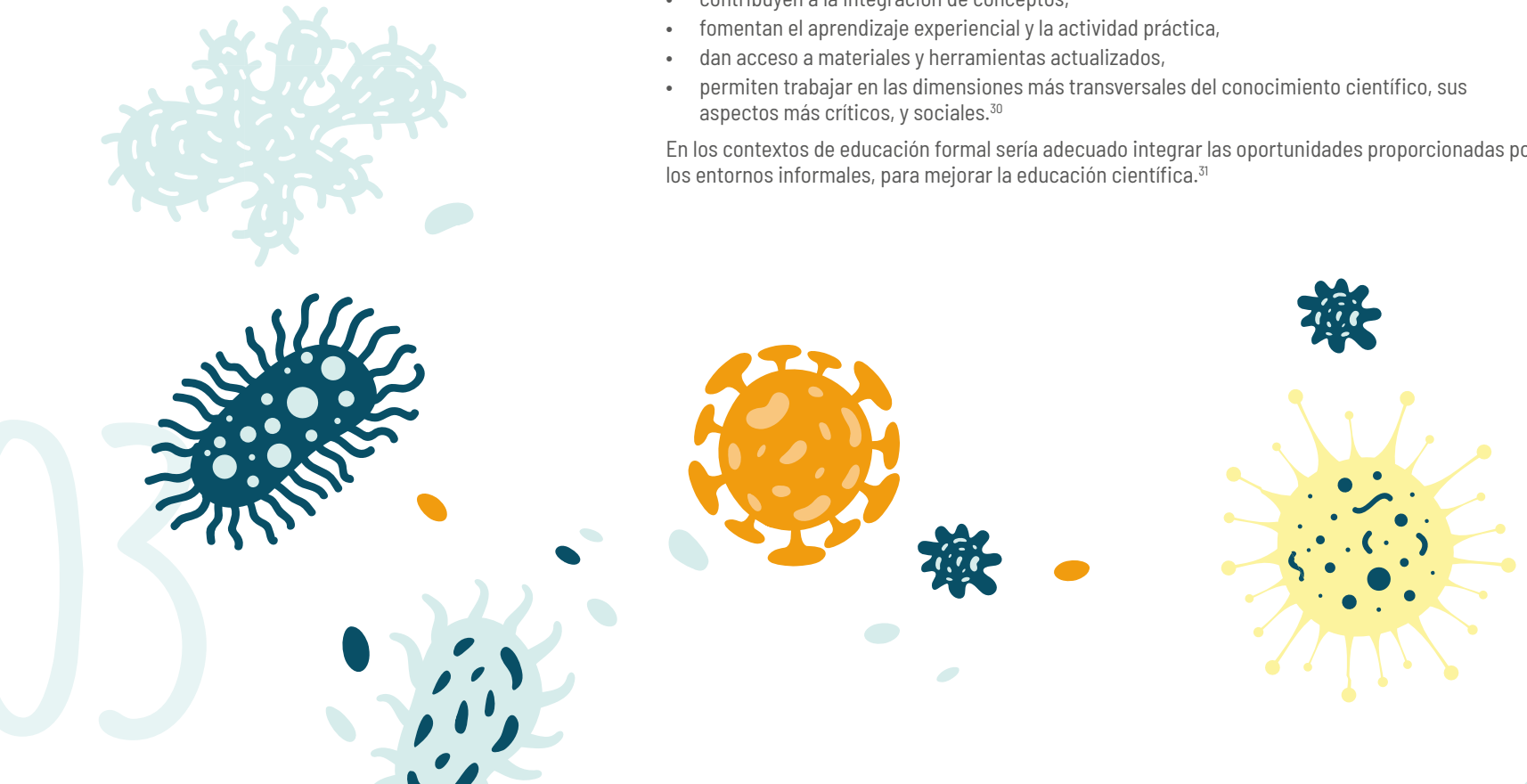
La ciencia solo en clase de ciencias

- Hay claras evidencias sobre los beneficios que ofrecen para la alfabetización científica las experiencias informales extraescolares de educación tecnocientífica (salidas de campo, actividades en familia, museos, ferias etc.).²⁹

Por ejemplo, sabemos que:

- afectan positivamente el aprendizaje científico,
- contribuyen a la integración de conceptos,
- fomentan el aprendizaje experiencial y la actividad práctica,
- dan acceso a materiales y herramientas actualizados,
- permiten trabajar en las dimensiones más transversales del conocimiento científico, sus aspectos más críticos, y sociales.³⁰

En los contextos de educación formal sería adecuado integrar las oportunidades proporcionadas por los entornos informales, para mejorar la educación científica.³¹





Las materias STEAM van de la mano por todo el recorrido de una educación científico-tecnológica significativa y real.

A continuación, describiremos varios proyectos llevados a cabo con niños desde los 4 hasta los 13 años, dentro de una comunidad de aprendizaje científico en el medio rural.

EJEMPLO PRÁCTICO PARA SECUNDARIA

La escritura como mecanismo de comunicación: de la incisión cuneiforme hasta el bolígrafo digital

1. La historia de la civilización está inexorablemente unida al desarrollo de la escritura como medio de comunicación.
2. Un recorrido STEAM por la vida de esta herramienta de la evolución, haciendo hincapié en las técnicas instrumentales, los materiales utilizados y el camino hacia el uso de las nuevas tecnologías, es un ejemplo claro de proyecto interdisciplinar e integrado en la vida del alumnado.
3. Las posibilidades son múltiples: desde la realización y diseño de vuestros propios jeroglíficos en un símil de papiro egipcio, hasta el pirograbado con un soldador de unas runas vikingas en madera, reproducir escritura cuneiforme en arcilla con un punzón de madera, dibujar ideogramas chinos en seda y en papel de patata de fácil fabricación, escribir vuestro propio libro digital gratuito sobre experimentos (Editorial Weeblebooks, <https://weeblebooks.com/es/home>) o contactar con empresas que están implementando la digitalización de la escritura en la escuela (Habitual Data, <http://www.habitualdata.com/>, Editorial La Calesa, <https://www.lacalesa.es/>).

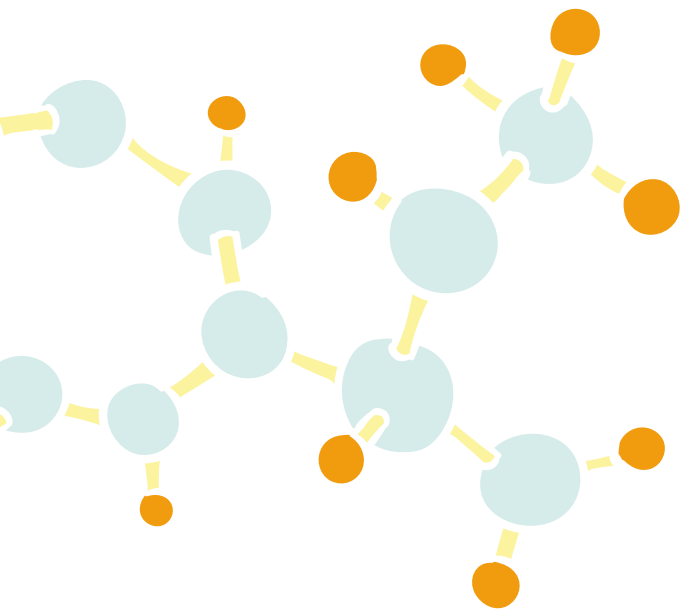


EJEMPLO PRÁCTICO PARA PRIMARIA

Global Science Opera

Cada año Scientix, la red de educación científica en Europa (www.scientix.eu), lanza su propuesta STEAM de realización de una ópera científica con una temática concreta. Este año se denominará *Gravity* (<https://globalscienceopera.com>). Varios centros educativos de diferentes países del mundo realizan sus escenas de dos minutos y medio (libreto, música, decorado, vestuario...), coordinados de dos en dos. Después se maqueta conjuntamente desde la sede central y se estrena, a nivel mundial, vía Internet.

Alrededor de la ópera, los grupos realizan actividades metacognitivas sobre el tema propuesto para dar más empaque al resultado final. Estas experiencias agrupan desde salidas a entidades o museos científicos, videochats entre los participantes, hasta propuestas de indagación o de *design thinking*.





EJEMPLO PRÁCTICO PARA INFANTIL

La observación, experimentación y búsqueda de respuestas (POE system)³² acerca de fenómenos naturales cercanos es una de las metodologías con más peso en la didáctica de las ciencias experimentales con niños. Ejemplos reales serían:

1. Célula robótica

Para introducir al alumnado en el concepto de célula como unidad fundamental de los seres vivos, se les hicieron partícipes de varias actividades STEAM, tales como el diseño de células con materiales cotidianos (bloques de construcción, lana, platos, hueveras...), la realización de un mapa mental adaptado con pictogramas sobre la citología, la visualización de células de epidermis de la cebolla, levaduras y epitelio bucal mediante distintos tipos de microscopios y la utilización de robots tipo Beebot con plantillas y disfraces sobre células para iniciarles en la programación. También observamos modelos celulares en realidad aumentada y realidad virtual.

2. El moho: un vecino poco conocido

Tras la recolección y clasificación de nuestros “tesoros del otoño” (frutos y hojas), nos dimos cuenta de que, con el tiempo, empezaban a cubrirse de un polvo blanco que nadie había puesto ahí. Siguiendo el aprendizaje basado en la Indagación (IBL), nos dispusimos a investigar y determinar de qué se trataba. Utilizamos microscopios y medios de cultivo caseros (maicena, gelatina) para observar y concluir que era un ser vivo muy particular. Escribimos un cuento con pictogramas a modo de artículo científico.

3. Cristalografía de andar por casa

Como resultado de las preguntas que surgieron de la visita a varios museos de ciencias naturales y a las cuevas de Ojo Guareña, y utilizando IBL, propusimos un diseño experimental para conocer cuáles eran las mejores condiciones para la formación de cristales con sales de uso cotidiano (soluto, disolvente, temperatura disolvente, concentración soluto). Tras cinco semanas de observaciones y anotaciones, llegamos hasta los cristales óptimos que reproducimos haciendo “joyas”, adornos y jardines de sales.

REFERENCIAS

1. Wake, G. D. y Burkhardt, H. (2013). Understanding the European policy landscape and its impact on change in mathematics and science pedagogies. *ZDM*, 45(6), 851-861.
2. Turkle, S. y Papert, S. (1992). Epistemological pluralism and the revaluation of the concrete. *Journal of Mathematical Behavior*, 11(1), 3-33.
3. Delgado, A. (2010). ¿Democratizar la Ciencia? Diálogo, reflexividad y apertura. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad-CTS*, 5(15).
4. Blikstein, P. (2013). Digital fabrication and "making" in education: The democratization of invention. *FabLabs: Of machines, makers and inventors*, 4, 1-21.
5. Merton, R. K. (1980). *Los imperativos institucionales de la ciencia*. Madrid, España: Alianza, pp. 64-78.
6. Organización de las Naciones Unidas (2008). *Declaración Universal de los Derechos Humanos*, United Nations.
7. ONU: Asamblea General, *Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales. Adoptado y abierto a la firma, ratificación y adhesión por la Asamblea General en su resolución 2200 A (XXI), de 16 de diciembre de 1966*, 16 de diciembre de 1966, Naciones Unidas, Serie de Tratados, vol. 993, p. 3, disponible en esta dirección: <https://www.refworld.org/es/docid/4c0f50bc2.html> [acceso el 22 de septiembre de 2019].
8. Schwartz, G. A. y Berti, E. (2018). Literatura y ciencia. Hacia una integración del conocimiento. *Arbor*, 194(790), 481.
9. Solbes, J. y Traver, M. (2014). Ciencia, científicos y literatura. *Mètode*, 82.
10. Silva, J. G. (2016). *Cine de ciencia ficción y enseñanza de las ciencias. Dos escuelas paralelas que deben encontrarse*.
11. Kemp, M. (2000). *La ciencia del arte*. Madrid, España: Ediciones Akal, vol. 53.
12. Sagan, C. y Udina, D. (1997). *El mundo y sus demonios*. Barcelona: Planeta.
13. Hilland, T. A. (2015). *Mixed Methods Research in the Movement Sciences: Case Studies in Sport, Physical Education and Dance*.
14. Godec, S.; King, H. y Archer, L. (2017). *The science capital teaching approach: engaging students with science, promoting social justice*.
15. Gordillo, M. M. y Osorio, C. (2003). Educar para participar en ciencia y tecnología. Un proyecto para la difusión de la cultura científica. *Revista Iberoamericana de Educación*, 32(1), 8.
16. Wynne, B. (1989). Sheep farming after Chernobyl: a case study in communicating scientific information. *Environment*, marzo de 1989, 10-15 y 33-39.
17. Nistor, A.; Clemente-Gallardo, J.; Angelopoulos, T.; Chodzinska, K.; Clemente Gallardo, M.; Gozdzik, A. y Micallef Gatt, A. D. (2019). Bringing Research into the Classroom—The Citizen Science approach in schools. *Scientix Observatory*.
18. Acevedo, J. A.; Vázquez, A.; Martín, M.; Oliva, J. M.; Acevedo, P.; Paixão, M. F. y Manassero, M. A. (2005). Naturaleza de la ciencia y educación científica para la participación ciudadana. Una revisión crítica. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 121-140.
19. Díaz, J. A. (2004). Reflexiones sobre las finalidades de la enseñanza de las ciencias: educación científica para la ciudadanía. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 3-16.
20. Giammatteo, L. y Obaya Valdivia, A. (2018). The 2030 Agenda for Sustainable Development: How to Get Students Involved? *World Journal of Educational Research*, vol. 5, nº 4, 2018, p. 358. <https://doi.org/10.22158/wjer.v5n4p358>.
21. United Nations Foundation (2013). *Sustainable Development Goals*. Recuperado el 8 de julio de 2018. <https://sustainabledevelopment.un.org/?menu=1300>.
22. Blanco López, Á. (2004). *Relaciones entre la educación científica y la divulgación de la ciencia*.
23. Estrada, J. C. O. (2011). Educación y Divulgación de la Ciencia: Tendiendo puentes hacia la alfabetización científica. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 8(2), 137-148.

24. Alcaraz-Domínguez, S.; Barajas Frutos, M.; Malagrida, R. y Pérez, F. (2015). Els projectes Europeus Engaging Science, Xplore Health, RRI Tools i Scientix: Finestres a la formació i la participació en comunitats docents per al treball amb Controvèrsies i Recerca i Innovació Responsables. *Ciències: revista del professorat de ciències de Primària i Secundària*, 30, 0047-54.
25. Bermejo, V. (1996). Enseñar a comprender las matemáticas. *Psicología de la Instrucción I*, 256-279.
26. Bayram-Jacobs, D.; Henze, I.; Evagorou, M.; Shwartz, Y.; Aschim, E. L.; Alcaraz-Domínguez, S. y Dagan, E. (2019). Science teachers' pedagogical content knowledge development during enactment of socioscientific curriculum materials. *Journal of Research in Science Teaching*. 56 (9), 1-27.
27. Álvarez, E. (2010). Creatividad y pensamiento divergente. interAC. Barlex, D. (2008). *Creativity through design and technology*. Brunel University (Formerly) and Nuffield Design y Technology Project, UK.
28. Einstein, A. e Infeld. L. (1938). *The Evolution of Physics*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
29. Vázquez Alonso, Á. y Manassero Mas, M. A. (2007). Las actividades extraescolares relacionadas con la ciencia y la tecnología. *Revista electrónica de investigación educativa*, 9(1), 1-34.
30. Braund, M. y Reiss, M. (2006). Towards a more authentic science curriculum: The contribution of out of school learning. *International journal of science education*, 28(12), 1373-1388.
31. Newman, D.; Griffin, P. y Cole, M. (1998). *La zona de construcción del conocimiento: trabajando por un cambio cognitivo en educación*, Madrid, España: Ediciones Morata, vol. 23.
32. Hong, J. C.; Hwang, M. Y.; Liu, M. C.; Ho, H. Y. y Chen, Y. L. (2014). Using a "prediction-observation-explanation" inquiry model to enhance student interest and intention to continue science learning predicted by their Internet cognitive failure. *Computers & Education*, 72, 110-120.



3.2

Ciencia sin estereotipos
de género

MARTA MACHO—STADLER



En nuestro país, las mujeres son mayoría entre el alumnado universitario, pero siguen siendo una minoría en algunas carreras científico-técnicas. Esto no se debe a su falta de rendimiento o a sus habilidades —en general tienen mejores calificaciones que sus compañeros y la tasa de abandono escolar temprana es menor entre ellas¹—, se debe a que las elecciones a lo largo de su trayectoria escolar están muy marcadas por los estereotipos de género². Estos estereotipos afectan además desde edades muy tempranas³ y desanimarían a las mujeres a seguir determinadas carreras universitarias. La baja representación femenina en ciertas carreras científico-tecnológicas perjudica a las mujeres en particular y a la sociedad en general. A las mujeres porque reduce sus posibilidades de trabajo y de decisión en los avances del futuro —¿del presente?— tecnológico. Y a la sociedad, porque deja de lado un talento extraordinario, que provoca la falta de diversidad, que a su vez influye de manera negativa en la innovación y el progreso. La formación con perspectiva de género y la visibilización de las mujeres en los espacios educativos y públicos —las mujeres necesitamos conquistar ambos espacios— son, entre otras, iniciativas a llevar a cabo para acabar con la brecha de género en ciencia y tecnología.



SABÍAS QUE...

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Las niñas, desde edades muy tempranas (en torno a los 6 años) ya piensan que son menos inteligentes que sus compañeros varones.³

- Las niñas se consideran menos capacitadas intelectualmente (menos brillantes) que sus compañeros chicos, en particular en campos que, según la creencia establecida, requieren 'brillantez intelectual'.
- Con respecto al ámbito científico-tecnológico, las niñas tienen menos seguridad en sus competencias en esta área que sus compañeros chicos, y creen que no serán capaces de superar actividades, pruebas o estudios de este ámbito con éxito.

Existen dos tipos de estereotipos: explícitos e implícitos.

Estos últimos son más profundos, no conscientes e influyen de manera poderosa en nuestra conducta. Son los que perpetúan, por ejemplo, la percepción de que la ciencia es una actividad masculina.^{4,5}

- Sin ser conscientes de ello, las personas adultas —familia, profesorado o personas orientadoras— pueden transmitir estos estereotipos y "apartar" a las niñas de algunas asignaturas científico-tecnológicas.
- Las típicas frases de: *Fulanito* es "muy listo" y *Menganita* es "muy trabajadora" calan y refuerzan estos estereotipos sobre las capacidades "innatas" de unos y otras.



SABÍAS QUE...

La brecha de género en las disciplinas científico-tecnológicas se observa tanto en las enseñanzas de FP como en las carreras universitarias.^{1,7}

El estereotipo hombre-ciencia crece con la edad.^{2,6,7,8}

Los modelos femeninos pueden ayudar a las niñas a interesarse por las disciplinas STEM.^{5,7,10}

Las chicas parecen obtener peores resultados que los chicos en entornos muy competitivos.^{11,12}

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

- Como norma general, las chicas tienen más éxito que los chicos para superar cursos de secundaria y bachillerato y módulos de FP, y sus tasas de abandono escolar temprano son más bajas entre ellas que entre ellos.
- ¿Qué está fallando —tanto en casa como en los centros escolares— cuando, a pesar del buen rendimiento de las chicas, ellas abandonan algunas salidas STEM?
- Si no se conoce este aspecto, si no se intenta frenar este estereotipo desde la infancia, no se conseguirá atraer a las niñas hacia la ciencia.
- En los programas de divulgación de la ciencia en centros escolares se debe tener en cuenta este dato. Quizás muchas niñas de edades superiores a los 10-12 ya hayan descartado la opción STEM y sea más difícil conseguir que se interesen por la ciencia y la tecnología.
- Las/os estudiantes pueden llegar a tener una visión irreal sobre sus propias habilidades en diferentes materias.⁹
- El profesorado de ciencias y matemáticas podría influenciar positivamente el rendimiento y el interés de las niñas con la educación STEM.
- Parece que las profesoras ayudan a promover el interés de las niñas, probablemente al actuar como referentes y ayudar a rectificar los estereotipos sobre las aptitudes STEM basadas en el género.
- Algunos estudios parecen sugerir que las niñas reducen su desempeño en entornos competitivos.
- Algunas cuestiones que pueden plantearse para reflexionar serían las siguientes: ¿es una cuestión de falta de confianza de las chicas?, ¿son los sesgos los que actúan sobre ellas?, ¿es diferente el apoyo que reciben ellas y ellos por parte de su profesorado y sus familias?



✘ La ciencia (y la educación en ciencia) no tiene sesgos, ya que son disciplinas completamente objetivas.

- Un ejemplo es el caso de las interpretaciones que se han dado de las huellas fósiles procedentes de la prehistoria. Hoy en día, muchas investigadoras e investigadores están revisando las explicaciones e interpretaciones que se han dado de estas huellas fósiles. Incluso en el estudio de la Prehistoria se ha relegado sistemáticamente a las mujeres a papeles secundarios teniendo en cuenta nuestra percepción basada en el comportamiento social actual y el reparto de tareas.
- Los libros de texto, los museos, las ilustraciones transmiten una imagen de lo que ocurrió hace millones de años sin tener la seguridad de lo que allí pasó. ¿Por qué las pinturas prehistóricas las dibujaron los hombres? ¿Seguro que las mujeres no cazaban?^{13,14}
- Existen otros muchos ejemplos de sesgos, por ejemplo en medicina, que afectan incluso a la salud de las mujeres. La inclusión de la perspectiva de género en investigación hace que la ciencia sea mejor; por eso es importante que más mujeres trabajen y decidan en el ámbito STEM.^{15,16}

✘ No es necesario enfocar la educación de las niñas en las disciplinas STEM. No las eligen porque no les gustan.

- Asegurar el acceso igualitario de niñas a la educación y las carreras STEM es necesario para garantizar los derechos humanos y las perspectivas científicas y de desarrollo.^{7,17}
 - Todas las personas son iguales y deben tener igualdad de oportunidades, incluyendo poder estudiar y trabajar en el campo de su elección.
 - La inclusión de mujeres en carreras STEM promueve la excelencia científica e impulsa la calidad y la relevancia de los resultados de la investigación¹⁶. Los diferentes puntos de vista añaden ideas y creatividad, reducen los eventuales sesgos e impulsan conocimientos y resultados más concluyentes.
 - La ausencia de mujeres en disciplinas STEM incide negativamente en la productividad y competitividad económica de los países.
- Factores psicológicos influyen en las decisiones de las niñas sobre sus estudios y su futuro profesional. Estas circunstancias repercuten en su dedicación, su interés, su aprendizaje y su motivación en materias STEM.⁷
- La falta de niñas, jóvenes y mujeres en disciplinas STEM limita su participación como ciudadanas informadas y responsables en la toma de decisiones sobre múltiples asuntos que involucran a la ciencia y la tecnología.¹⁷



EDU—MITOS

LO QUE LA INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA HA DEMOSTRADO

✘ El profesorado de cualquier nivel educativo evalúa sin sesgos las capacidades de sus alumnas y alumnos.

- El profesorado evalúa las habilidades de las niñas en matemáticas de forma inferior a las habilidades de los varones, aun cuando se desempeñan a niveles semejantes.⁷

✘ Es imposible paliar estos estereotipos de género.

- Unas estrategias adecuadas hacen posible que se palien los estereotipos de género.²
- Hay que diversificar y ampliar la imagen que las y los jóvenes tienen de la ciencia y de las personas que la realizan.⁸
- Las jóvenes necesitan modelos que las hagan sentir que son “como yo”, personas “normales” que no solo trabajan en ciencia y tecnología, sino que también tienen intereses, motivaciones o *hobbies* parecidos a los de ellas.^{5,8}
- Hablar de las aplicaciones en el día a día de las profesiones STEM puede ayudar a captar el interés de las niñas por ellas.⁵

✘ Las habilidades de las niñas y los niños son diferentes de manera innata.

- No se advierten diferencias en el mecanismo neuronal del aprendizaje en base al sexo del estudiante. Aunque se observan algunas diferencias de género en ciertas funciones biológicas, estas tienen escasa o ninguna influencia en las aptitudes académicas, incluyendo las materias STEM.⁷
- La plasticidad neurológica, la capacidad del cerebro para crear conexiones nuevas, es la base de cualquier aprendizaje. El cerebro es más dúctil durante la niñez.⁷
- Las chicas sí presentan niveles más bajos de autocapacidad o percepción de su propia capacidad en el área STEM. Es decir, su seguridad en sus propias competencias es más baja en esta área independientemente de su capacidad real.

03



- ✘ Los países más avanzados en igualdad de género tienen a más mujeres interesadas por las disciplinas STEM.**

 - En dos de cada tres países, las alumnas son iguales o mejores que los alumnos en ciencias. En casi todos los países, las alumnas están perfectamente capacitadas para elegir estudios STEM en secundaria y en la universidad.^{18,19,20}
 - Cuanto más alto aparece el país en los baremos de igualdad entre sexos, el número de alumnas que eligen una carrera STEM es menor y, por tanto, el sesgo entre géneros aumenta.^{18,19,20}
 - Conocer este factor mostraría que es necesario seguir poniendo énfasis en la educación de las niñas en disciplinas STEM, independientemente de los avances en igualdad en otras áreas.

- ✘ Las mujeres que acceden a carreras STEM progresan del mismo modo que los hombres.**

 - Las mujeres ocupan menos del 30 % de puestos de investigación a nivel mundial, se enfrentan a salarios desiguales, acoso sexual y formas más sutiles de discriminación.^{21,22,23}
 - La situación es aún peor si además de ser mujer se pertenece a una minoría.^{21,22,23}
 - Conocer estos datos puede ayudar a comprender la necesidad del apoyo, de refuerzo de la confianza en el caso de las chicas que se enfrentarán a situaciones laborales desiguales, también en disciplinas STEM.

- ✘ Los problemas ambientales y los desastres naturales afectan por igual a hombres y mujeres.**

 - Las mujeres son más vulnerables ante los efectos de los problemas ambientales y desastres naturales.
 - Por ejemplo, en el caso del tsunami de 2004, casi el 80 % de las muertes fueron de mujeres. Entre las mujeres que murieron, las más vulnerables fueron las viudas, las mujeres solteras o discapacitadas, las mujeres con bajos ingresos y las pertenecientes a grupos raciales o culturales marginados.²⁴

- ✘ No existen sesgos de género en la educación ambiental escolar y ciudadana.**

 - La investigación sobre conducta proambiental muestra un sesgo significativo en el comportamiento de género. De ahí las reivindicaciones de posiciones ecofeministas marcadas por liderazgos femeninos.²⁵

EJEMPLO PRÁCTICO PARA SECUNDARIA



Sería importante hacerles reflexionar

Por ejemplo:

- Pedirles la opinión sobre este video: <https://youtu.be/EHtBrMHVGK4> u otro de características similares. Se trata de un mensaje desde la Comunidad Europea —que fue retirado pocas horas después— para promover las carreras STEM entre las jóvenes. ¿Les parece adecuado? ¿No ven nada especial? Discutir sobre el mensaje que se está transmitiendo y la manera en que se está haciendo.
- Elaborar, trabajando de manera conjunta con el alumnado, una encuesta para preguntar en su entorno cercano —centro escolar, amistades, familia, su barrio, etc.— sobre estereotipos vinculados con la ciencia. El pensar en la encuesta adecuada puede hacerles entender mejor lo que es un estereotipo. ¿En quién piensas cuando imaginas a alguien que te va a curar? ¿En quién piensas cuando buscas a alguien que arregle tu ordenador? Las preguntas deben ser pensadas y consensuadas por el alumnado con supervisión de su profesorado para intentar incidir en todos estos sesgos que nos llevan a pensar en determinadas profesiones STEM como exclusivamente masculinas. Esto puede ayudarles a ver cuál es la realidad de lo que su entorno opina y lo que esas opiniones han podido influir en sus propios gustos o elecciones.
- Buscar en 3 o 4 periódicos de mayor tirada las noticias de ciencia. Estudiar en estas noticias, en las que se piden opiniones a personas expertas, si son mujeres u hombres, cómo son las fotos que las acompañan (primeros planos, foto de conjunto, etc.). En las entrevistas a científicas y científicos, observar las diferencias entre lo que se les pregunta a unas y otros. El tipo de diferencias que pueden aparecer son, por ejemplo: ¿Por qué es raro que a un hombre se le pregunte por su familia? ¿Por qué no es raro que a una mujer se le pregunte por si tiene pensado tener hijas o hijos? Este ejercicio puede mostrar al alumnado la importancia de fijarse en los detalles que a veces no parecen importantes pero que hacen que los estereotipos sigan transmitiéndose.
- Hacer reflexionar al alumnado sobre las diferencias entre juegos o aficiones de chicas y chicos. ¿Creen que eso puede afectar a los estudios que pueden cursar en el futuro? ¿Cómo se eligen los regalos dependiendo del sexo? Hay que hacerles pensar sobre cómo los juegos pueden llevarnos a interesarnos por unas materias y no por otras...
- Utilizar un documento como la referencia 7 de la bibliografía (o el último informe “Científicas en cifras” publicado en 2019: <https://www.fecyt.es/es/publicacion/cientificas-en-cifras-2017> para entender cómo evoluciona la situación de las mujeres en las disciplinas STEM a lo largo de su vida laboral. El profesorado debería seleccionar algunas gráficas (en estos informes no solo se plantea la situación en el Estado español, también se hacen comparativas con otros países). Allí podrían estudiar los gráficos en tijera y discutir los motivos por los que siguen estando vigentes. También podrían comparar los datos por países. O intentar entender el motivo del descenso (a nivel mundial) de matrículas de mujeres en estudios relacionados con la informática, y las consecuencias que puede tener esta tendencia en profesiones con un futuro muy bueno en cuanto a lo laboral.



EJEMPLO PRÁCTICO PARA PRIMARIA

Proponer un juego en el que involucren varias actividades STEAM

1. Visitas de mujeres cercanas que hablen a niñas y niños sobre su profesión: farmacia, química, física, ingeniería, contándoles con ejemplos reales lo que ellas hacen (unas 10-15).
2. Cada una de estas profesionales elige una mujer pionera en su área y habla sobre ella. Explica su trabajo, lo que aportó, etc.
3. El alumnado debe trabajar con estas mujeres (las pioneras). Las dibujan, incorporan en sus dibujos elementos que tengan que ver con sus aportaciones científicas, aportaciones con aplicaciones que entiendan niñas y niños que no hayan trabajado con ellas.
4. Con sus dibujos generan un juego de "quién es quién" con el que todo el grupo aprende y recuerda los aportes de estas mujeres.
5. Podrían terminar con una minirrepresentación teatral en el que cada niña o niño personifica a una científica y habla de su trabajo y sus dificultades.



REFERENCIAS

1. Ministerio de Educación y Formación Profesional (2019). *Igualdad en cifras*. <https://www.educacionyfp.gob.es/educacion/mc/igualdad/igualdad-cifras.html>.
2. Boston, J. y Cimpian, A. (2018). *Cómo alentar a las niñas a estudiar carreras científicas y matemáticas: 7 estrategias*, *The Conversation*, 14 de diciembre. <https://theconversation.com/como-alentar-a-las-ninas-a-estudiar-carreras-cientificas-y-matematicas-7-estrategias-102301>.
3. Bian, L.; Leslie, S. J. y Cimpian, A. (2017). Gender stereotypes about intellectual ability emerge early and influence children's interests. *Science*, 355 (6323), 389-391. <https://doi.org/10.1126/science.aah6524>.
4. Miller, D. I.; Eagly, A. H. y Linn, M. C. (2015). Women's representation in science predicts national gender-science stereotypes: Evidence from 66 nations. *Journal of Educational Psychology*, 107 (3), 631-644. <https://doi.org/10.1037/edu0000005>.
5. Hill, C., Corbett, C. y A. Rose (2010). *Why So Few? Women in Science, Technology, Engineering and Mathematics*. Washington, DC, AAUW. <http://files.eric.ed.gov/fulltext/ED509653.pdf>.
6. Miller, D. I.; Nolla, K. M.; Eagly, A. H. y Uttal, D. H. (2018). The Development of Children's Gender-Science Stereotypes: A Meta-analysis of 5 Decades of U.S. Draw-A-Scientist Studies. *Child Dev.* <https://doi.org/10.1111/cdev.13039>, <https://srcd.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/cdev.13039>.
7. ONU (2019). Descifrar el código: *La educación de las niñas y las mujeres en ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM)*. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, 2019. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000366649>.
8. Master, A. y Meltzoff, A.N. (2017). Building bridges between psychological science and education: Cultural stereotypes, STEM, and equity. *Prospect-UNESCO*, 46, 215-234. http://www.readcube.com/articles/10.1007/s11125-017-9391-z?author_access_token=jdkYhgb5tsSUk9NtX__iI_
9. Grupo GENTIC. Infografía "Roles de género en la elección de estudios", <http://www.gender-ict.net/estereo/infografias/>.
10. Federación Mujeres Jóvenes (2018). *Guía de recursos para #MujeresTecnológicas*. <https://mujeresjovenes.org/wp-content/uploads/2018/12/Guia-de-Recursos-Mujeres-Tecnologicas-1.pdf>.
11. Iriberry, N. y Rey-Biel, P. (2019). Competitive Pressure Widens the Gender Gap in Performance: Evidence from a Two-stage Competition in Mathematics. *The Economic Journal*, 129 (620), mayo, 1863-1893. <https://doi.org/10.1111/eoj.12617>.
12. Macho Stadler, M. (2019). El desempeño de chicas y chicos en entornos competitivos. *Mujeres con ciencia*, 30 de abril. <https://mujeresconciencia.com/2019/04/30/el-desempeno-de-chicas-y-chicos-en-entornos-competitivos/>.
13. González Redondo, F. A. (2019). La conjetura Zaslavsky: ¿y si los primeros "matemáticos" fueron mujeres? *The Conversation*, 1 de enero. <https://theconversation.com/la-conjetura-zaslavsky-y-si-los-primeros-matematicos-fueron-mujeres-109202>.
14. Past Women, sitio web que presenta las líneas de investigación en arqueología e historia relacionadas con el estudio de la cultura material de las mujeres. <http://www.pastwomen.net/>.
15. Pyle, G. (2019). Los ataques cardíacos son diferentes en mujeres y en hombres, y la atención médica debe asumirlo. *The Conversation*, 27 de febrero. <https://theconversation.com/los-ataques-cardiacos-son-diferentes-en-mujeres-y-en-hombres-y-la-atencion-medica-debe-asumirlo-112237>.
16. Ruiz Canero, M. T. (2019). *Perspectiva de género en medicina*. Monografías, 39, Fundación Dr. Antoni Esteve. https://www.esteve.org/wp-content/uploads/2019/05/EM-39-Perspectiva-de-genero-en-medicina_MTRuizCanero.pdf.
17. Bonder, G. (coord.) (2018). *Infancia, Ciencia y Tecnología: un análisis de género desde el entorno familiar, educativo*. Cátedra Regional UNESCO, Mujer Ciencia y Tecnología en América Latina-FLACSO. <http://www.catunescomujer.org/wp-content/uploads/2017/11/STEM.pdf>.

18. Stoet, G. y Geary, D. C. (2018). The Gender-Equality Paradox in Science, Technology, Engineering, and Mathematics education. *Psychological Science*, 29, 581-593. <https://doi.org/10.1177/0956797617741719>.
19. Jiang, S.; Schenke, K.; Eccles, J. S.; Xu, D. y Warschauer, M. (2018). Cross-national comparison of gender differences in the enrollment in and completion of science, technology, engineering, and mathematics. *Mass Open Online Courses, Plos One*, 13(9):e0202463. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202463>.
20. Angulo, E. (2019). Igualdad de género y elección de carreras STEM. *Mujeres con ciencia*, 15 de marzo. <https://mujeresconciencia.com/2019/03/15/igualdad-de-genero-y-eleccion-de-carreras-stem/>.
21. Shaw, S. M. et al. (2019). Advancing women in science, medicine, and global health, *The Lancet*, 393, 9 de febrero. <http://www.catunescomujer.org/wp-content/uploads/2017/11/STEM.pdf>.
22. Yang, Y. y Wright Carroll, D. (2018). Gendered microaggressions in Science, Technology, Engineering, and Mathematics. *Leadership and research in Education*, 4, 28-45. <https://files.eric.ed.gov/fulltext/EJ1174441.pdf>.
23. Marín-Spiotta, E. (2018). Harassment should count as scientific misconduct. *Nature*, 557, 141. <https://www.nature.com/magazine-assets/d41586-018-05076-2/d41586-018-05076-2.pdf>.
24. Abeysekera, S. (2006). *Tsunami aftermath: Violations of women's human rights in Sri Lanka*. Akmatova, C. (ed.). Recuperado de http://www.apwld.org/pdf/Tsunami_srilanka.pdf.
25. Rosa, C. y Collado, S. (2019). Experiences in Nature and Environmental Attitudes and Behaviors: Setting the Ground for Future Research. *Frontiers Psychology*, 9 de abril. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00763>.



3.3

Aprender ciencias
es acercarnos a nuestro
entorno y aprender a
leer un mundo complejo
con ellas

JORDI DOMÈNECH
JUAN JOSÉ SANZ EZQUERRO



Ya hemos visto que una parte importante del aprendizaje de las ciencias implica conectar las propias ideas con otras más potentes y determinar los modos de validar el conocimiento. Profundamente científicas, estas competencias tienen también implicaciones en el modo de ejercer la ciudadanía.

Las controversias sociocientíficas son cuestiones orientadas a la toma de una decisión que implica a la vez aspectos científicos y sociales, de resolución abierta, como pueden ser la gestión de problemáticas ambientales, bioéticas o tecnoéticas. Usar energía nuclear o no, establecer la vacunación como obligatoria o permitir la venta de productos como la homeopatía en farmacias son cuestiones ante las que todos debemos poder posicionarnos. Y estos dilemas son participados por la ciencia, pero también por consideraciones éticas y valores personales o sociales.

Esto implica el desarrollo de distintas habilidades, como distinguir lo que es científico de lo que no lo es en un contexto determinado, evaluar riesgos, analizar críticamente propuestas como las que aparecen en la publicidad o en los medios de comunicación.

Usar controversias sociocientíficas en el aula es una oportunidad didáctica para conectar ideas científicas con el mundo cercano del alumnado, y para que la ciencia que enseñamos sea útil no solo para comprender y decidir, también para actuar como ciudadanas y ciudadanos libres y autónomos.

Igualmente, la participación de científicos/as e investigadores/as en las aulas permite al alumnado conocer los contextos propios de la ciencia, y tener una relación más cordial con ella: imaginar el día a día de la investigación científica, entender sus motivaciones y emociones, comprender la ciencia como una comunidad democrática y rigurosa.

En este capítulo mostraremos pruebas que indican que el trabajo en contextos y problemáticas sociales complejas genera un aprendizaje más profundo y más transferible para la vida como ciudadanos/as.

También, la participación de personal investigador en las aulas mejora la relación del alumnado con la ciencia.

Una vez tratadas en los anteriores capítulos las evidencias sobre el aprendizaje, sobre cómo enseñar, sobre cómo se construye la ciencia, en este analizaremos las evidencias sobre cómo aprender a usarla para analizar críticamente el mundo y actuar. Eso implica el desarrollo de habilidades y metodologías específicas, así como tomar conciencia de los valores implicados en la ciencia como actividad, como herramienta y como práctica. También veremos cómo la implicación directa de los científicos/as en el sistema educativo proporciona credibilidad y confianza al profesorado y alumnado, y aumenta su interés por el aprendizaje de las metodologías y contenidos científicos.





SABÍAS QUE...

Las emociones y los valores personales influyen mucho en el posicionamiento ante las controversias sociocientíficas.^{1,2,3,4}

Ubicar el aprendizaje de conceptos científicos en la toma de decisiones controvertidas promueve un aprendizaje más profundo de esos conceptos, y el desarrollo de habilidades de razonamiento y argumentación.^{4,5}

La capacidad de analizar y valorar pruebas en una controversia depende de hasta qué punto se comprende cómo funciona la ciencia (por ejemplo, el hecho de que un dato aislado no permite sacar conclusiones). También es importante comprender cómo uno mismo toma decisiones (por ejemplo, ser consciente de que en ocasiones tenemos sesgos).^{5,6,7}

Alumnado y profesorado suelen tener dificultades en diferenciar ciencia de pseudociencia y en priorizar los conceptos y consensos científicos.⁸

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

- Si no se evidencian y explicitan esos valores, puede dificultarse la capacidad de análisis crítico y aprendizaje de los modelos científicos.
 - Deben crearse espacios de respeto y empatía para la práctica didáctica con controversias sociocientíficas en el aula.
 - Es necesario ubicar el aprendizaje de ciencias en controversias sociocientíficas y ayudar al alumnado a evidenciar los valores desde los que participan en ellas.
-
- Deben elegirse problemáticas que promuevan el uso de conceptos científicos, o que entren en conflicto con ideas propias del alumnado.
 - Las actividades deben orientarse a la toma de una decisión con apoyos para el razonamiento y la argumentación.
-
- Deben tratarse de forma explícita los sesgos personales que participan al tratar una controversia.
 - Deben trabajarse de forma explícita las características del conocimiento científico vinculado a la controversia (basado en pruebas, consensado, sujeto a revisión) en contraste con otras fuentes de información (opiniones, datos no contrastados...).
-
- Es necesario incorporar como enfoque el valor de la ciencia como actividad democrática de construcción de conocimiento.⁹
 - La relación de cada persona con la ciencia implica también trabajar componentes de identidad y valores personales (sentirse excluido/a de ella, percibirla como dogmática...).
 - Es necesario incorporar herramientas didácticas que permitan discriminar de forma sistemática argumentos basados en datos y pruebas de los basados en conjeturas y afirmaciones no fundamentadas.



SABÍAS QUE...

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Participar en controversias sociocientíficas promueve el desarrollo de habilidades clave para la ciudadanía, como el análisis de riesgos o la consideración de aspectos éticos.¹⁰

Posicionarse críticamente implica el desarrollo de habilidades de lectura crítica, debate y argumentación específicas.^{6,12}

La presencia de científicos/as en las aulas acerca la ciencia real tanto a profesorado como a alumnado.^{15,16,17}

- Las habilidades de calcular riesgos y movilizar perspectivas éticas se aprenden en su ejercicio y conexión con contextos relevantes.¹¹

- La lectura crítica de mensajes e información de distintos medios es una habilidad que puede enseñarse.¹³
- La ciencia tiene un lenguaje específico que debe aprenderse en las clases de ciencias.¹⁴
- El posicionamiento del alumnado está influido por sus habilidades de interpretación y validación de datos.⁶

- Genera interés en la ciencia y proporciona una nueva visión de la ciencia y los científicos/as.
- Permite la comprensión de primera mano de las metodologías y los detalles que implican la profesión de científico/a.
- La interacción personal y el sentimiento de cercanía proporciona modelos a seguir, favoreciendo la promoción de igualdad de oportunidades tanto de género como de minorías.¹⁸
- Los investigadores/as que participan aumentan sus capacidades de comunicación y comprenden mejor las dificultades de enseñar temas científicos complejos.¹⁹

03



SABÍAS QUE...

La participación de científicos/as en la educación de las ciencias ayuda a mejorar la percepción que de ellos/as tienen los estudiantes.

La interacción con científicos/as en activo permite la discusión de temas de actualidad, con repercusiones no solo científicotécnicas sino socioeconómicas.²²

Hay diversas maneras mediante las cuales los científicos/as se pueden acercar al profesorado y alumnado.

Es muy importante hacer una evaluación del impacto de las actividades de divulgación.¹⁵

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

- Propicia la desmitificación de los científicos/as como personas geniales, locas y despistadas. Humaniza y genera confianza.
- Ayuda a cambiar la imagen que el alumnado tiene de los científicos/as (por ejemplo en el Draw-a-scientist Test, DAST²⁰, incluyendo aspectos de género).²¹
- El conocimiento y explicación de los proyectos en vigor en un laboratorio hace tangible la naturaleza real de la experimentación y ayuda a valorar la importancia de la ciencia para comprender y solucionar problemas concretos.
- Permite la incorporación de la ciencia a debates sobre asuntos cercanos, cotidianos, inmediatos.²³
- Existen diferentes abordajes para facilitar la interacción entre científicos/as y el sistema educativo, por ejemplo charlas en los colegios²⁴, visitas a centros de investigación¹⁷, participación en ferias de la ciencia²⁵, talleres de formación continuada para profesores/as o programas de emparejamiento entre personal investigador y profesorado.
- Es necesario no solo implementar estas actividades, sino hacer un seguimiento y evaluación del diseño y de la efectividad de las mismas.



- ✘ El uso de controversias sociocientíficas es dejar que los alumnos expresen sus opiniones sobre noticias de ciencia y las defiendan persuasivamente.**²⁶

 - El alumnado tiene tendencia a priorizar el conocimiento social y no suele articular *per se* sus posiciones a una aplicación significativa del conocimiento científico.⁵
 - Si no se estructuran correctamente los conceptos y modelos científicos, no hay aprendizaje.
 - Si no se explicitan los valores desde los que se argumenta, no hay verdadero análisis crítico.

- ✘ Los alumnos/as son “nativos digitales” y por lo tanto son perfectamente capaces de seleccionar y analizar críticamente información de Internet u otros medios digitales.**²⁷

 - El análisis que realizan los alumnos suele ser superficial y poco profundo.¹³
 - Es difícil discernir la información veraz apoyada por pruebas científicas de la que no lo es (por ejemplo, las pseudociencias suelen usar un lenguaje aparentemente científico para pretender veracidad).²⁸

- ✘ Presentar una ciencia en construcción es tirar piedras sobre nuestro propio tejado.**⁸

 - Situar al alumnado en controversias promueve una visión de la ciencia más compleja, en la que los casos de “ciencia terminada” conviven con “ciencia en construcción”.¹⁰

- ✘ La formación de la ciudadanía persigue que el alumnado perciba que la Ciencia tiene las respuestas a los problemas de la sociedad.**⁸

 - La experiencia diaria del alumnado con la ciencia (descubrimiento de nuevos planetas, noticias sobre toxicidad de medicamentos,...) requiere ofrecer una imagen transparente de la ciencia como explicación razonablemente cierta, no como verdad absoluta, sin por ello dar a entender que es equivalente a otras explicaciones carentes de rigor.
 - Las soluciones a los problemas de la sociedad pueden ser participadas por la ciencia, pero no solo por ella.²⁹

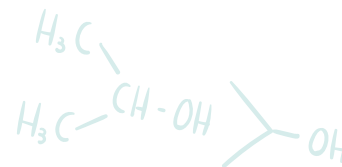
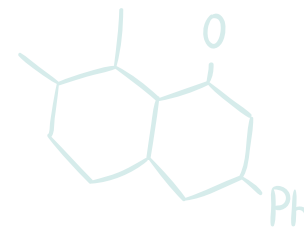
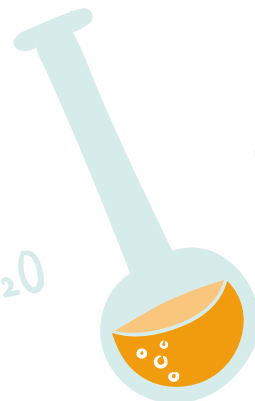


EDU-MITOS

LO QUE LA INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA HA DEMOSTRADO

- ✗ Traer científicos/as al aula solo beneficia a los alumnos/as, despertando su interés por la ciencia y quizás por elegir una carrera científica.**
 - La presencia de científicos/as en las aulas ayuda al alumnado a entender el trabajo de investigación, la importancia de la ciencia en sus vidas cotidianas y en su futuro profesional. Pero también motiva al profesorado y lo ayuda en sus futuras clases, proporcionándole formación continuada y seguridad en su labor docente.
 - Y al personal investigador, su asistencia a colegios e institutos lo ayuda a formarse en comunicación y le permite un mejor entendimiento de los desafíos del profesorado cuando enseña temas controvertidos.³⁰
- ✗ Los científicos/as son inaccesibles y no están dispuestos a colaborar en actividades educativas y de divulgación**
 - Cada vez un mayor número de científicos/as (especialmente los más jóvenes) están comprometidos y participan en programas de divulgación de la ciencia, superando las dificultades de falta de tiempo, financiación y reconocimiento.^{31,32}

03





EJEMPLO PRÁCTICO PARA SECUNDARIA

(4º de ESO)



Decisión sobre los transgénicos

Se propone al alumnado el siguiente caso de controversia socio-científica: tras un cambio de normativa de la UE, el desarrollo de cultivos transgénicos por toda Europa se incrementará en muchos países. Parece probable que los alimentos transgénicos, tales como los cereales para el desayuno, vayan a estar presentes en las estanterías de los supermercados el próximo año; ¿pero los escogerá mucha gente frente a la alternativa de productos sin organismos transgénicos?

En esta actividad, los alumnos aplican su conocimiento sobre los genes para aprender por qué los cultivos se modifican genéticamente antes de evaluar los riesgos para la salud, con objeto de decidir qué cereales comprarían.

En la actividad, el alumnado analiza distintas pruebas y anticipa riesgos, debiendo tomar una decisión sobre aceptar o no alimentos transgénicos. Como parte de la actividad el alumnado realiza también un análisis crítico sobre el origen de las pruebas y los posibles sesgos.

Esta actividad forma parte de la propuesta de actividades del proyecto europeo *Engaging Science*, y sus materiales están disponibles en <https://www.engagingscience.eu/es/2015/03/26/decision-sobre-los-transgenicos/>.



EJEMPLO PRÁCTICO PARA PRIMARIA

(6º de primaria)

Analizamos envases



Se propone al alumnado el análisis de la información que aparece en distintas publicidades y etiquetas de productos alimentarios. Se recogen distintos términos frecuentes, como “natural”, “saludable”, “biológico” o “ecológico” y se discuten sus significados desde el punto de vista coloquial y desde el punto de vista científico.

Se separan los envases en los que se han identificado afirmaciones incorrectas científicamente de los que no las contienen. Los alumnos, por grupos, elaboran una exposición comunicando el significado real de los términos y una exhibición de envases con mensajes equívocos, justificando por qué lo son.

El alumnado aprende en la actividad que los mensajes de los productos alimentarios usan lenguaje de las ciencias, pero con otros significados, y a realizar un análisis crítico inicial de las proclamas publicitarias relacionadas con la ciencia.

REFERENCIAS

1. Jiménez Aleixandre, M. P. (2010). *10 Ideas clave. Competencias en argumentación y uso de pruebas*. Barcelona: Graó.
2. Sadler, T. D.; Chambers, W. F. y Zeidler D. (2004). Student conceptualizations of the nature of science in response to a socio-scientific issue. *International Journal of Science Education*, 26(4), 387.
3. Sadler, T. D. (2004). Moral sensitivity and its contribution to the resolution of socio-scientific issues. *Journal of Moral Education*, 33 (3), 339-358.
4. Sadler, T. D. (2009). Situated learning in science education: socioscientific issues as contexts for practice. *Studies in Science Education*, 45(1), 1-42.
5. España, E. y Prieto, T. (2010). Problemas socio-científicos y enseñanza-aprendizaje de las ciencias. *Investigación en la escuela*, 71, 17-24.
6. Sadler, T. D.; Chambers, F. W. y Zeidler D. L. (2004). Student conceptualization of the nature of science in response to a socioscientific issue. *International Journal of Science Education*, 26 (4), 387-409.
7. Sadler, T. D. (2004a). Informal reasoning regarding socioscientific issues: A critical review of the literature. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(4), 513-536.
8. Lederman, N. G. (1992). Students' and teachers' conceptions of the nature of science: a review of the research. *Journal of Research in Science Teaching*, 29(4), 331-359.
9. Vázquez, A.; Manassero, M. A. y Ortiz S. (2013). Análisis de materiales para la enseñanza de la naturaleza del conocimiento científico y tecnológico. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 12(2), 243-268.
10. Kolstø, S. D. (2001). Scientific Literacy for Citizenship: Tools for Dealing with the Science Dimension of Controversial Socioscientific Issues. *Science Education*, 85(3), 291-310.
11. Wessner, D. R. (2019). Science can't be taught in a vacuum. *Science*, 365 (6453), 614. <http://doi.org/10.1126/science.365.6453.614>.
12. Sadler, T. D.; Barab, S. A. y Scott, B. (2007). What do students gain by engaging in socioscientific inquiry? *Research in Science Education*, 37(4), 371-391.
13. Marbá, A. (2010). Aprender ciencias leyendo noticias: un reto para la escuela del siglo XXI. *XXIV Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*, del 21 al 23 de julio, en Baeza (Jaén).
14. Sanmartí, N.; Izquierdo, M. y García P. (2002). Aprender ciencias aprendiendo a escribir ciencias. *Aspectos didácticos de ciencias naturales. (Biología)*, 4, 141-174.
15. Laursen, S.; Liston, C.; Thiry, H. y Graf, J. (2007). What good is a scientist in the classroom? Participant outcomes and program design features for a short-duration science outreach intervention in K-12 classrooms. *CBE - Life Sciences Education*, 6 (1), 49-64. <http://dx.doi.org/10.1187/cbe.06-05-0165>.
16. Clark, G.; Russell, J.; Enyeart, P.; Gracia, B.; Wessel, A.; Jarmoskaite, I. y Roux S. (2016). Science educational outreach programs that benefit students and scientists. *PLOS Biology*, 14(2), e1002368. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pbio.1002368>.
17. Tsybulsky, D. (2019). Students meet authentic science: the valence and foci of experiences reported by high-school biology students regarding their participation in a science outreach programme. *International Journal of Science Education*, 41 (5), 567-585. <http://dx.doi.org/10.1080/09500693.2019.1570380>.
18. Bonny, S. M. (2018). Effective STEM outreach for indigenous community contexts – Getting it right, one community at a time! *International Journal of Innovation in Science and Mathematics Education*, 26 (2), 14-34.
19. Vollbrecht, P. J.; Frenette, R. S. y Gall, A. J. (2019). An Effective Model for Engaging Faculty and Undergraduate Students in Neuroscience Outreach with Middle Schoolers. *J Undergrad Neurosci Educ.*, 17(2), A130-A144. PMC: 6650255.

20. Toma, R. B.; Greca, I. M. y Orozco Gómez, M. L. (2018). Una revisión del protocolo Draw-a-Scientist-Test (DAST). *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(3), 3104. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i3.3104.
21. Miller, D. I.; Nolla, K. M.; Eagly, A. H. y Utall, D. H. (2018). The Development of Children's Gender-Science Stereotypes: A Meta-analysis of 5 Decades of US Draw-A-Scientist Studies. *Child Development*, 89 (6), 1943-1955. <http://dx.doi.org/10.1111/cdev.13039>.
22. Rennie, L. J. (2012). A very valuable partnership: Evaluation of the scientists in schools project 2011-12. *Dickson, ACT, CSIRO Education*. <https://www.csiro.au/~media/Education-media/Files/STEM-Prof-Schools/SiS-Evaluation-Report-2011-2012.pdf>.
23. Hulleman, C. S. y Harackiewicz J. M. (2009). Promoting interest and performance in high school science classes. *Science*, 326 (5958), 1410-1412. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1177067>.
24. Catálogo de Conferencias CSIC para centros educativos, <https://www.d-madrid.csic.es/catalogoconferencias/>.
25. Martín-Sempere, M. J.; Garzón-García, B. y Rey-Rocha, J. (2008). Scientists' Motivation to Communicate Science and Technology to the Public: Surveying Participants at the Madrid Science Fair. *Public Understanding of Science*, 17, 349-67. <http://dx.doi.org/10.1177/0963662506067660>.
26. Díaz, N. y Jiménez, N. R. (2012). Las controversias sociocientíficas: temáticas e importancia para la educación científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9 (1), 54-70.
27. Cassany, D. (2012). *En línea. Leer y escribir en Red*. Barcelona: Anagrama.
28. Shermer, M. (2008). *Por qué creemos en cosas raras. Pseudociencia, superstición y otras confusiones de nuestro tiempo*. Barcelona: Alba Editorial.
29. Simmoneaux, L. y Simmoneaux, J. (2009). Socio-scientific reasoning influenced by identities. *Cultural Studies of Science Education*, 4(3), 705-711. <http://dx.doi.org/10.1007/s11422-008-9145-6>.
30. Laursen, S. L.; Thiry, H. y Liston, C. S. (2012). The impact of a university-based school science outreach program on graduate student participants' career paths and professional socialization. *Journal of Higher Education Outreach and Engagement*, 16(2), 47-78.
31. Martín Sempere, M. J. y Rey Rocha, J. (2007). *Cicotec. El papel de los científicos en la comunicación de la ciencia y la tecnología a la sociedad. Actitudes, aptitudes e implicación*. Publicación Madrl+D, Colección mi+d30. Biblioteca virtual de la Comunidad de Madrid. <http://www.comunidad.madrid/publicacion/1354386768204>.
32. Torres-Albero, C.; Fernández-Esquinas, M.; Rey-Rocha, J. y Martín-Sempere, M. J. (2011). Dissemination practices in the Spanish research system: scientists trapped in a golden cage. *Public Understanding of Science*, 20 (1), 12-25. <http://dx.doi.org/10.1177/0963662510382361>.



04

APRENDER CIENCIA
ES UNA EXPERIENCIA
EMOCIONAL Y AFECTIVA

4.1

Pruebas de la
neurociencia sobre el
papel de las emociones
para la educación

DAVID BUENO



Se dice que la palabra más oída en un centro de investigación científica no es "¡eureka!", sino "¡qué curioso...!".

Todo avance científico se inicia con una pregunta, que surge de un reto al que hay que buscar una respuesta o, muy a menudo, de una simple curiosidad ante algo que nos sorprende, por inesperado. Ante cualquier objeto o suceso que desconozcan, los niños y las niñas muestran una tendencia innata a examinarlo, a explorarlo y a buscarle utilidades. Esta capacidad se va perdiendo progresivamente con la edad, puesto que desde la perspectiva adaptativa no resulta útil examinarlo siempre todo. Por este motivo, una de las maneras de mantener la capacidad analítica y deductiva asociada a la ciencia es usándola, y su uso debe nacer de un reto (ver ejemplo para primaria en capítulo 2.1) o de una simple curiosidad, que estimulan las emociones y, con ellas, la atención y la motivación.

En este capítulo vamos a centrarnos en una de las claves principales para conseguir aprendizajes que sean significativos y eficientes, que se encuentra, pues, en las emociones.

CORTEZA FRONTAL Y PREFRONTAL

Redes neurales que generan y gestionan la planificación, el razonamiento y la reflexividad, la toma de decisiones y la gestión emocional, entre otras funciones.

ESTRIADO

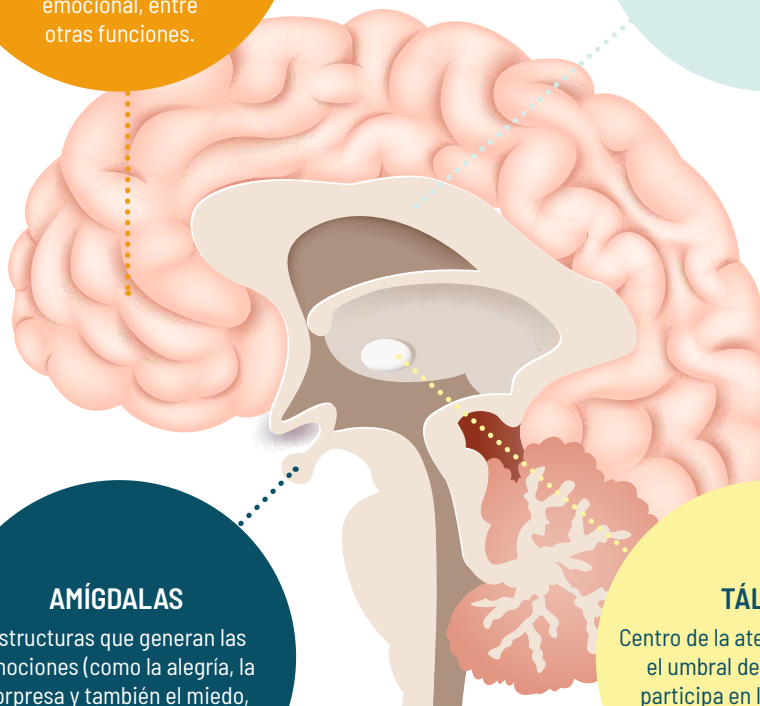
Zona implicada en la generación de sensaciones asociadas a recompensas intrínsecas y a motivación.

AMÍGDALAS

Estructuras que generan las emociones (como la alegría, la sorpresa y también el miedo, entre otras).

TÁLAMO

Centro de la atención que marca el umbral de consciencia y participa en los circuitos de motivación.





SABÍAS QUE...

Las emociones son patrones de reacción que se desencadenan de forma preconsciente ante una situación que requiera una respuesta rápida. Se generan en las amígdalas cerebrales, que forman parte del sistema límbico, una zona evolutivamente primitiva del cerebro.

El componente emocional es mayoritario en todas las decisiones que tomamos. Tomar una decisión implica siempre un cierto riesgo, asociado a que no sea la decisión más acertada, y este riesgo activa procesos neuronales de motivación intrínseca hacia la consecución de la decisión tomada.

Las emociones son fundamentales para determinar nuestros intereses personales.

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

- Las emociones son cruciales para la supervivencia, puesto que permiten responder rápidamente ante cualquier situación. Esto conlleva que el cerebro fije con mucha más eficiencia los aprendizajes que contienen carga emocional que los que son solamente racionales, por si acaso los vuelve a necesitar en el futuro.
- Aunque la base de la ciencia sea racional, es necesario que los alumnos se emocionen con ella para que la integren con eficiencia.
- Una de las maneras de implicar emocionalmente a los alumnos y facilitar el desarrollo de motivación intrínseca es permitir que, siempre que sea posible, tomen sus propias decisiones.
- Tomar decisiones implica poder planificar el futuro y reflexionar sobre los pros y contras de diversos futuros alternativos. Todo ello consume mucho más tiempo que las respuestas emocionales, de índole impulsiva, lo que implica que se debe dejar tiempo a los alumnos para que planifiquen y reflexionen, para tomar decisiones tan acertadas como sea posible.
- Los alumnos, como cualquier persona, se mueven por intereses propios. Estos intereses contribuyen a generar motivación intrínseca para satisfacerlos, lo que estimula la atención y energiza el cerebro; por ello, es crucial incorporar una vertiente emocional afín a los intereses de los alumnos al transmitir cualquier tipo de conocimiento.



SABÍAS QUE...

A pesar de que existen muchas clasificaciones sobre las emociones, hay seis que se consideran básicas: el miedo, la ira, el asco, la tristeza, la alegría y la sorpresa. A nivel de activación cerebral, sin embargo, no todas son equivalentes.

El cerebro es el órgano cuya actividad gestiona y genera nuestros patrones de comportamiento. Es un órgano muy plástico, que va incorporando los aprendizajes en su estructura neuronal a través de las conexiones (las sinapsis) que establecen sus neuronas. No solo incorpora qué se le transmite, sino también cómo se le transmite.

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

- El miedo estimula reacciones emocionales de huida, por lo que contribuye a que se rehúya el uso de los aprendizajes que generan miedo. A pesar de que no se use ya el miedo como estrategia pedagógica, en muchas ocasiones surge del mismo alumno o de su entorno: miedo al ridículo, al fracaso, etcétera. Por ello hay que estar muy vigilantes respecto a los alumnos que viven determinados aprendizajes con un cierto miedo, para reconducirlo con tanta rapidez como sea posible.
- La alegría es una emoción socialmente compartida que transmite confianza: confianza en uno mismo y en los demás, de forma recíproca. Se aprende de quien se confía, y se rehúyen las enseñanzas de quienes se desconfía. Por este motivo, la alegría debería ser la emoción básica transversal en cualquier tipo de aprendizaje.
- La sorpresa se genera ante una situación inesperada, y estimula la curiosidad. A nivel cerebral, activa la atención y la motivación, lo que implica una mayor eficiencia en los aprendizajes y la posibilidad de dedicar más tiempo a ellos. Además, la motivación activa mecanismos de recompensa intrínseca dentro del cerebro, lo que estimula a las personas a mantener activo este sistema de atención y motivación, por la satisfacción que produce, también durante la adquisición de nuevos conocimientos, actitudes y habilidades. Por ello las estrategias pedagógicas deben incluir dosis de sorpresa.
- El hecho de que el cerebro incorpore en su estructura neuronal (estructura sináptica) cómo se transmiten los conocimientos hace que las estrategias pedagógicas contribuyan a moldear el carácter y el comportamiento de los alumnos, la visión que tienen de sí mismos y de su entorno, y las relaciones que establecen. Todo ello repercutirá en su vida futura, puesto que la mayor parte de las conexiones neurales que se generen se mantendrán a lo largo de la vida. Una educación basada en la curiosidad y la reflexividad genera personas curiosas, transformadoras y con una mayor capacidad de análisis introspectivo y del entorno. En cambio, una educación basada en la adquisición acrítica del conocimiento, por simple imposición autoritaria, contribuye a generar personas crédulas más fácilmente manipulables y con menos capacidad de autotransformación.



SABÍAS QUE...

Las emociones se transmiten de forma inconsciente a través de la mirada y el tono de voz.

Las respuestas reflexivas precisan de más tiempo que las emocionales y consumen mucha más energía metabólica. Se generan en la corteza prefrontal del cerebro, mucho más nueva evolutivamente.

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

- Se debe prestar mucha atención a cómo se mira a los alumnos y qué tono se usa. Una mirada y un tono que transmitan confianza contribuye a que los alumnos ganen en autoconfianza, lo que constituye uno de los mejores indicadores de éxito personal y profesional.
- Dada la importante y crucial carga racional de la ciencia y las exigencias de este tipo de actividad mental, es importante dejar el tiempo suficiente para reflexionar sobre lo que se está haciendo, sin prisas.
- Las prisas en los aprendizajes estimulan respuestas impulsivas emocionales, mucho más rápidas y menos costosas energéticamente. Si se combinan con falta de comprensión de lo que se está haciendo, pueden generar emociones basadas en el miedo.





✗ La letra con sangre entra.

- El miedo es una emoción muy poderosa desde la perspectiva de la supervivencia. El pánico bloquea la capacidad de aprendizaje, pero un miedo sutil puede resultar estimulante para el cerebro. Por este motivo el temor ha sido usado en determinadas estrategias de aprendizaje como estímulo. Sin embargo, ¿se debe incorporar durante los aprendizajes? De ninguna manera, puesto que a través de la plasticidad neuronal el cerebro relacionará aprendizaje con temor. Y esto contribuirá a generar personas que rehúyan nuevos aprendizajes, lo que tiene dos consecuencias principales. Por un lado, resulta inevitable ir adquiriendo conocimientos a lo largo de toda la vida, por lo que usar el miedo implica restar calidad de vida a las personas, que experimentarán la incomodidad asociada al temor mucho más a menudo. Además, conlleva generar personalidades poco propensas a la autotransformación, puesto que cualquier cambio implica nuevos aprendizajes, y estos se evitan por temor.

✗ Solo aprendemos aquello que nos emociona.

- Hay diversas estrategias de aprendizaje, como la repetición, el uso de reglas mnemotécnicas, etcétera. Lo que incorporan las emociones es una mayor eficiencia en los aprendizajes y en su uso posterior, y el estímulo intrínseco de la atención y la motivación.

✗ Debemos motivar siempre a los alumnos.

- Los alumnos deben aprender a buscar sus propias motivaciones, y ello implica dejarles tiempo y espacio para que las busquen y experimenten. Durante la infancia, la capacidad de automotivación se activa por sí misma ante cualquier novedad que les genere curiosidad, aunque no es un proceso consciente. En la preadolescencia, la capacidad de automotivación consciente va madurando progresivamente, por lo que es importante combinar motivaciones extrínsecas con espacios suficientes para que busquen y experimenten con su motivación intrínseca. La etapa probablemente más delicada sea la adolescencia, puesto que hay menos elementos que llamen su atención porque ya conocen su entorno, y la capacidad de automotivación no ha empezado a madurar. Es la etapa en que se debe estar más vigilante en proporcionarles elementos y situaciones que les resulten intrínsecamente motivadoras, a través de sus intereses.

✗ Aprender ciencia es una actividad únicamente racional

- La ciencia es racional, pero sin una dosis adecuada de emocionalidad, cualquier aprendizaje resulta menos eficiente. Dicho de otra manera, hay que enseñar ciencia con ciencia, y también con con(s) ciencia.





- ✗ El estrés es siempre perjudicial.**
- El estrés es una reacción fisiológica ante una situación que pueda conllevar una amenaza. Activa la musculatura corporal y concentra la actividad cerebral en el foco de la amenaza. El estrés crónico es muy perjudicial para muchas funciones corporales, y bloquea la capacidad de aprendizaje. El estrés crónico, por consiguiente, debe ser evitado a toda costa. Sin embargo, el estrés puntual, cuando es moderado y se dosifica con mucho cuidado, puede ayudar a centrar la atención cuando se inicia un proceso de aprendizaje. Se puede conseguir con una simple palmada de manos que llame la atención de los alumnos, un comentario que parezca irresoluble, etcétera. Siempre sin abusar de estos recursos, para no provocar habituación.
-
- ✗ No nos podemos enfadar con los alumnos.**
- A pesar de que la alegría deba ser la emoción predominante en las aulas (como debería serlo también en los entornos sociales y familiares), por el efecto de confianza recíproca y de autoconfianza que genera, cuando sea necesario reconducir cualquier actitud inadecuada de los alumnos por supuesto que podemos —y debemos— mostrar nuestro enojo, como una emoción que contribuya al proceso de reconducción de dicha actitud. La cuestión no es mostrar o no mostrar enfado, sino que una vez mostrado debemos reconducirlo con agilidad de nuevo hacia la confianza. El mensaje emocional a transmitir no debe ser “me he enfadado, todo va a cambiar”, sino “me he enfadado porque confío en ti, y tú puedes continuar confiando en mí”.
-
- ✗ A través de las emociones el esfuerzo ya no resulta necesario.**
- Se ha visto que el esfuerzo, cuando se ve recompensado al final de la acción o acciones, genera sensaciones de recompensa (a través de regiones del cerebro como el denominado estriado), lo que contribuye a que vuelvan a esforzarse cuando sea necesario en ocasiones futuras. Cabe decir, sin embargo, que lo que activa más los sistemas de recompensa del cerebro es la aceptación proactiva del entorno, tanto del docente como de los compañeros (y del entorno familiar).
-
- ✗ Los alumnos no pueden —ni deben— decidir qué aprender.**
- Aunque la tarea del docente sea guiar a los alumnos durante el proceso de aprendizaje y generar ambientes que sean proclives a este objetivo, tomar decisiones propias activa mecanismos de motivación intrínseca, como todos los beneficios que este hecho lleva asociados.





- ✘ El trabajo cooperativo es excluyente con respecto al individual y suele resultar una pérdida de tiempo.**
 - El trabajo cooperativo, bien entendido, incluye y dota de su máximo significado el trabajo individual. Implica planificar una tarea conjunta para que después, cada uno de los miembros del grupo, deba aportar una parte diferente a la de los demás, complementaria y parcialmente solapada, pero diferente, al objetivo común. Los procesos comunes quedan determinados por las decisiones iniciales y la puesta en común final, lo que deja mucho espacio al componente individual. A nivel pedagógico permite la adecuación a la diversidad del alumnado, puesto que se pueden encomendar tareas más exigentes a los alumnos más avanzados, para que suponga un reto y mantengan el interés, y tareas más sencillas a los que muestren más dificultades de aprendizaje, para que también suponga un reto y un esfuerzo para ellos, pero que lo vean como accesible. A nivel cerebral el trabajo cooperativo implica la activación del denominado cerebro social, uno de cuyos componentes principales es la gestión emocional, con todas las ventajas de implicar emociones en los aprendizajes.
- ✘ Si temen la ciencia es que no son buenos estudiantes.**
 - El posible temor a la ciencia no proviene de que los estudiantes sean o no sean buenos estudiantes, sino de cómo lo transmitimos los docentes y el entorno educativo y social en general. A través de un sistema neuronal denominado de neuronas espejo, tenemos la tendencia a imitar los procesos y acciones que vemos en las demás personas. Un profesor que no se sienta confiado explicando un tema transmitirá inseguridad y tal vez hasta temor a sus alumnos. Se ha visto que el temor que un número significativo de ellos siente hacia las matemáticas se debe en buena parte a profesores que no se sentían a gusto con esta materia.
- ✘ La genética no cuenta para nada en educación, solo su interés e implicación.**
 - Los alumnos no son una "tabula rasa". El cerebro funciona en base a unos determinados programas genéticos, y a pesar de que todas las personas tenemos todos los genes, podemos presentar distintas variantes para cada uno de ellos. Esto hace que haya personas más predispuestas hacia un tipo de actividades mentales u otras (lógica, lingüística, música, creatividad, empatía, sociabilidad, inteligencia, gestión emocional, etcétera). No se trata de un determinismo genético, sino simplemente de una mayor o menor facilidad, que se percibe en las aulas. En todos los casos, sin embargo, a través de la educación se puede llegar mucho más allá de estos condicionamientos, o bien mutillarlos, según como se produzca el proceso educativo.





EJEMPLO PRÁCTICO PARA SECUNDARIA

El poder del cotilleo

Algunas de las revistas más vendidas en todo el mundo son las que se centran en los cotilleos sociales. Las revistas con contenidos históricos, científicos, económicos, políticos, filosóficos, artísticos, etcétera, tienen tiradas con muchos menos ejemplares que las que se centran en simples cotilleos. ¿A qué es debido, y qué relación tiene con el tema de este capítulo?

Las personas constituimos una especie biológica que sustenta su capacidad de supervivencia en dos aspectos fundamentales: la vida social y la capacidad de aprendizaje a lo largo de toda la vida. Como mamíferos que somos no tenemos ni uñas afiladas, ni grandes colmillos, ni unas piernas suficientemente veloces ni unos brazos con la fuerza necesaria para trepar a un árbol dando unos pocos brincos. Así que sobrevivimos porque vivimos en sociedad y podemos ir aprendiendo cualquier cosa que nos sea necesaria.

Para ello, el cerebro humano mantiene la plasticidad neuronal durante toda la vida; esto es, la capacidad de adquirir nuevos conocimientos mediante el establecimiento de nuevas conexiones neuronales (o sinápticas). Y dedica muchos recursos y zonas cerebrales a gestionar la vida social (el denominado cerebro social, uno de cuyos componentes más destacados es el de gestión emocional). En este contexto, los cotilleos activan extraordinariamente todos los circuitos del cerebro social, y a través de él predisponen a nuevos aprendizajes. Por este motivo, solemos recordar mejor las anécdotas intrascendentes que nos explican que los contenidos curriculares.

En resumen, una de las maneras de activar emocionalmente a los alumnos es buscando y explicándoles cotilleos relacionados con el conocimiento que les queremos transmitir. Hay muchas posibilidades diferentes, según el tema y la materia que se esté impartiendo. Es solo cuestión de dedicar un poco de tiempo a buscar esta información a través de cualquier canal (Internet, libros de divulgación, obras enciclopédicas, noticias recientes de los medios de comunicación, etcétera).

REFERENCIAS

1. Bisquerra, R. (2009). *Psicopedagogía de las emociones*. Madrid: Editorial Síntesis.
2. Blakemore, S. J. y Frith, U. (2011). *Cómo aprende el cerebro: las claves para la educación*. Madrid: Editorial Ariel.
3. Bueno, D. (2016). *Cerebroflexia. El arte de construir el cerebro*. Barcelona: Plataforma Editorial.
4. Bueno, D. (2017). *Neurociencia para educadores*. Barcelona: Editorial Octaedro.
5. Bueno, D. (2019). *Neurociencia aplicada a la educación*. Madrid: Editorial Síntesis.
6. Chen, L.; Bae, S. R.; Battista, C.; Qin, S.; Chen, T.; Evans, T. M. y Menon, V. (2018). Positive Attitude Toward Math Supports Early Academic Success: Behavioral Evidence and Neurocognitive Mechanisms. *Psychol Sci*, 29, 390-402.
7. Du, S.; Tao, Y. y Martínez, A. M. (2014). Compound facial expressions of emotion. *Proc Natl Acad Sci USA*, 11, E1454-E1462.
8. Forés, A.; Gamo, J. R.; Guillén, J. C.; Hernández, T.; Lligoiz, M.; Pardo, F. y Trinidad, C. (2015). *Neuromitos en educación*. Barcelona: Plataforma Editorial.
9. Guillén, J. C. (2017). *Neuroeducación en el aula: de la teoría a la práctica*. UK: CreateS-pace.
10. Hein, S.; Thomas, T.; Yu Naumova, O.; Luthar, S. S. y Grigorenko, E. L. (2019). Negative parenting modulates the association between mother's DNA methylation profiles and adult offspring depression. *Dev Psychobiol*, 61, 304-310.
11. Jack, R. E.; Garrod, O. G. y Schyns, P. G. (2014). Dynamic facial expressions of emotion transmit an evolving hierarchy of signals over time. *Curr Biol*, 24, 187-192.
12. Lin, J.; Xie, J.; Xiang, Y.; Cui, X.; Dai, X.; Liao, J.; Li, Z.; Lin, Z.; Chen, Y. y Mo, L. (2019). Interhemispheric functional connectivity and its relationships with creative problem solving. *Neuroreport*, 30, 415-420.
13. McEwen, B. S. (2011). Effects of Stress on the Developing Brain. *Cerebrum*, 14.
14. Mella, N.; Grob, E.; Döll, S.; Ghisletta, P. y de Ribaupierre, A. (2017). Leisure Activities and Change in Cognitive Stability: A Multivariate Approach. *Brain Sci*, 7, E27.
15. Paredes, M. F.; James, D.; Gil-Perotin, S.; Kim, H.; Cotter, J. A.; Ng, C.; Sandoval, K.; Rowitch, D. H.; Xu, D.; McQuillen, P. S.; García-Verdugo, J. M.; Huang, E. J. y Álvarez-Buylla, A. (2016). Extensive migration of young neurons into the infant human frontal lobe. *Science*, 354, 6308.
16. Redolar, R. (ed.) (2014). *Neurociencia cognitiva*. Madrid: Editorial Médica Panamericana.
17. Redolar, R. (ed.) (2018). *Psicobiología*. Madrid: Editorial Médica Panamericana.
18. Ripollés, P.; Marco-Pallarés, J.; Hielscher, U.; Mestres-Missé, A.; Tempelmann, C.; Heinze, H. J.; Rodríguez-Fornells, A. y Noesselt, T. (2014). The role of reward in word learning and its implications for language acquisition. *Curr Biol*, 24, 2606-2611.
19. Robinson-Cimpian, J. P.; Lubienski, S. T.; Ganley, C. M. y Copur-Gencturk, Y. (2014). Teachers' perceptions of students' mathematics proficiency may exacerbate early gender gaps in achievement. *Dev Psychol*, 50, 1262-1281.
20. Tottenham, N. (2017). The Brain's Emotional Development. *Cerebrum*, cer-08-17.
21. Vogel, S. y Schwabe, L. (2016). Learning and memory under stress: implications for the classroom, *NPJ Sci Learn*, 1, 16011.
22. Willis, J. (2008). *How your child learns best: brain-friendly strategies you can use to ignite your child's learning and increase school success*. Naperville: Sourcebooks.

4.2

Alfabetización científico-ambiental basada en evidencias y educación para la sostenibilidad

JOSÉ GUTIÉRREZ PÉREZ





Los problemas ambientales son el cáncer de nuestra era. Suponen el reto más difícil al que se enfrenta la humanidad en el siglo XXI. Constituyen un foco de atención prioritaria para los científicos. Así lo muestran los aportes de investigación del campo de las ciencias naturales y sociales, en sus diferentes ramas disciplinares de lo ambiental¹. Los hallazgos son contundentes y presentan un elevado consenso científico en el diagnóstico de la situación de emergencia e irreversibilidad en que nos encontramos en algunas dimensiones de la crisis ambiental². El botón de alarma ecológica está activado y las sirenas de emergencia climática han empezado a sonar. ¡Muy a pesar de los persistentes *tuits* negacionistas de Donald Trump!

Los problemas ambientales suscitan confrontación ideológica, polémica social y controversia. Promueven representaciones sociales divergentes del conocimiento científico inspiradas en miradas polarizadas e interpretaciones subjetivas inferidas a partir de efectos y consecuencias discrepantes. Por eso, dan dolor de cabeza a los profesores, a los diseñadores de currículum y a los autores de textos escolares. También

preocupan e indignan a los jóvenes. Basta con seguir la pista a las continuadas protestas, manifiestos y huelgas escolares de adolescentes de secundaria y jóvenes universitarios, encarnadas en las denuncias ambientales mediáticas de la activista *Greta Thunberg* y sus populares viernes climáticos (<https://www.fridaysforfuture.org/>).

La pregunta que orienta y sirve de hilo conductor a este texto intenta responder a cómo superar con éxito las barreras y amenazas del *Antropoceno*³, esa nueva era geológica que nosotros mismos hemos engendrado como especie “inteligente”, a partir de nuestros avances tecnológicos, de nuestros estilos de vida, formas de desplazamiento, hábitos de consumo, modelos de producción industrial, mecanismos de explotación energética y formas de convivencia. Las consecuencias son más que evidentes y preocupantes en forma de amenazas y riesgos debidos al incremento de las cotas de emisiones, alteraciones climáticas, deshielo, aumento de los niveles de contaminación, alteración de ecosistemas y ciclos naturales, desaparición de especies, inequidad e insalubridad humana... No hay un Planeta B alternativo donde refugiarnos.



SABÍAS QUE...

La National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) de los Estados Unidos acaba de descubrir el séptimo continente.

Está situado en el norte del océano Pacífico, entre las coordenadas 135° a 155° O y 35°- 42° N.

Posee una extensión variable entre 710 000 km² y 17 000 000 km².⁴

- Entre los ingredientes básicos de esta sopa de basuras fotodegradadas y fragmentadas por la energía mecánica de las olas encontramos: cepilllos de dientes, redes de pesca, cuerdas de amarre de barcos, boyas, bolsas de plástico, pajitas, vasos de poliestireno, cubiertos y platos de un uso, *tupperware*...
- En ocasiones aparece amalgamada en rocas de *plastiglomerado* con curiosas formas artísticas.
- Algunos de estos materiales se convierten en nicho ecológico, también llamado *plastisfera*⁵, de algunas especies oportunistas como lapas, conchas, caracoles, pulpos, etc.

El último informe del Panel Intergubernamental de Cambio Climático pone de relieve que el calentamiento inducido por el ser humano alcanzó aproximadamente 1° C (probablemente entre 0.8° C y 1.2° C) por encima de los niveles preindustriales en 2017, aumentando a 0.2° C (probablemente entre 0.1° C y 0.3° C) por década.⁷

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

- La investigación científica aporta información relevante para discutir e indagar en el aula de ciencias acerca de las causas, evolución y consecuencias de este nuevo continente cartografiado por los satélites espaciales.⁸
- La presencia del *plastiglomerado* se emplea como índice marcador del comienzo de la era geológica del *Antropoceno*, y ofrece una oportunidad de trabajo interdisciplinar con otras asignaturas.
- Por ejemplo, se pueden exponer resultados de pedruscos diseñados en el laboratorio por los propios alumnos; cartografiar las coordenadas de este continente y algunas de las islas referenciadas por las expediciones científicas; modelizar la evolución de geometría variable de esta sopa de basura, hacer predicciones de crecimiento; y especular con la densidad del caldo y su superficie en relación al tamaño de nuestro país (5 veces más grande); o inventar diseños tecnológicos para su colecta selectiva.
- Hay documentales muy didácticos que muestran cómo afectan a más de 200 especies marinas los plásticos (por ejemplo, tortugas bobas y delfines) y qué riesgos de salud presentan (a través de la cadena alimenticia cuando ingerimos pescados con plásticos y otras dosis de hidrocarburos).
- Se necesita educar a los ciudadanos para que se impliquen en procesos activos, rápidos y drásticos de descarbonización, para acercarnos a un crecimiento cero neto de emisiones para 2050. El consumo de combustibles fósiles se ha comparado a un tipo de adicción que genera serias dependencias.⁸
- La educación ambiental para la sostenibilidad (en adelante EAPs) debe contribuir a esclarecer el poder, la influencia y los intereses del capital fósil. Debe ayudar a superar estas adicciones y desprenderse de una educación científica pusilánime, neutral y servil a las voces e intereses de la industria del petróleo. Debe ser sincera sobre la imposibilidad de mantener tanto el medio ambiente como la producción de combustibles fósiles.

04



SABÍAS QUE...

El último informe del Panel Intergubernamental de Cambio Climático pone de relieve que el calentamiento inducido por el ser humano alcanzó aproximadamente 1° C (probablemente entre 0.8° C y 1.2° C) por encima de los niveles preindustriales en 2017, aumentando a 0.2° C (probablemente entre 0.1° C y 0.3° C) por década.⁷

Los problemas ambientales son controvertidos, diabólicos, endemoniados, raros y retorcidos (*wicked problems*)¹⁰. Son problemas “envenenados”, que con frecuencia acarrear graves consecuencias para las poblaciones humanas, los ciclos naturales, los ecosistemas y los seres vivos que los habitan.

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

- La EApS debe cultivar la sensibilidad e innovación de los profesores para revelarse contra los modelos de *petropedagogía*⁹ heredados de visiones antropocéntricas obsoletas.
- Con herramientas como el visor de futuros *Adapteca* (<http://escenarios.adaptecca.es>) se pueden hacer previsiones y modelizar por regiones diferentes escenarios de futuro.
- Las calculadoras ambientales nos permiten estimar la huella de nuestra actividad energética, hídrica, de emisiones, de residuos, de descarbonización, de consumo... Puedes evaluar tu huella ecológica y la de tu centro con tus compañeros, haciendo un seguimiento regular en el tiempo para reducirla: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/calculadoras.aspx>.
- Son problemas retorcidos debido a su complejidad, a su invisibilidad y a la carga de catastróficas consecuencias que acarrear.
- No son fáciles de resolver, pronosticar ni prevenir a corto y medio plazo.
- Conllevan niveles de abstracción científica elevada, alejada de la formación básica del ciudadano: no son lineales, son poliédricos, multivariantes y refractarios. Su patrón de crecimiento es exponencial.
- Suscitan representaciones sociales persistentes sujetas a controversia, polémica social y confrontación ideológica que en ocasiones choca con las evidencias del *corpus científico* disponible, dando lugar a movimientos contrarios como el negacionismo, el creacionismo, la homeopatía y una diversidad de concepciones ingenuas y resistencias que han de tener en cuenta los profesores en su trabajo ordinario.



SABÍAS QUE...

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

La ambientalización o sostenibilidad curricular promueve la adquisición de competencias de acción.

- Ambientalizar el currículo va más allá de la adquisición de contenidos capacitando para la acción.
- Capacitar para la acción implica incidir conscientemente en la toma de decisiones democráticas individuales y colectivas.
- Enganchar a los alumnos en las actividades de EApS de los centros sostenibles no es algo que se consiga de manera natural, espontánea y gratuita. Los programas de EApS y las acciones de ambientalización curricular compiten con otro tipo de estímulos e intereses sujetos a los múltiples reclamos que asedian a los escolares, inducidos por criterios mercantiles y con frecuencia contrapuestos a los valores de defensa del medioambiente.¹¹

Estudiar en una “ecoescuela” o “escuela verde” marca la diferencia.

- La EApS capacita a los escolares para las demandas ecológicas de nuestra era.¹²
- Diferentes tipologías y modelos de ecoescuelas han sido identificadas por la investigación. Cada modelo enfatiza un determinado tipo de finalidades y promueve impactos formativos diferentes según la motivación intrínseca o extrínseca que inspiren sus programas.¹³
- Una ecoescuela que consigue resultados de alfabetización ambiental en sus estudiantes a largo plazo es aquella que promueve compromisos personales y colectivos que afectan directamente a la vida del centro y a los intereses de sus estudiantes, que proyecta sus acciones en la comunidad educativa y que incentiva a sus profesores para alcanzar estas metas¹⁴ involucrándose en redes.

Tener cerca a una persona comprometida nos hace cómplices y defensores activos de causas compartidas, a veces utópicas.

- El liderazgo ambiental de proximidad influye significativamente en forma de aprendizajes imitativos que se miran en los referentes a seguir y los modelos a imitar. Es una de las variables que más influye en los cambios de comportamiento ambiental.¹⁵
- Algunas campañas ambientales son apoyadas por deportistas, cantantes, músicos, estrellas de cine y famosos, como acciones mediáticas exitosas que despiertan interés y ganas de imitarlos.
- Varias profesoras del centro y alguna compañera de clase se han inscrito en una carrera contra el plástico el pasado mes de julio. Durante una semana de su vida han conseguido poner coto al uso de este material sintético en más del 50%. Los testimonios de los periplos, odiseas y vivencias de esta semana sin plásticos nos los cuentan en su diario:





SABÍAS QUE...

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Tener cerca a una persona comprometida nos hace cómplices y defensores activos de causas compartidas, a veces utópicas.

- Día 1. Todo empezó con un grupo de *WhatsApp*.
- Día 2. La loca de los táperes.
- Día 3. En serio, trae papel higiénico. Urge.
- Día 4. Un día de furia... plástica.
- Día 5. El 2x1 del detergente rellenable: lava la ropa y la conciencia.
- Día 6. Del pepino plastificado al rímel casero, un viaje vertiginoso.
- Resumen de unos días de frenesí y una conclusión.

https://elpais.com/sociedad/2019/06/07/actualidad/1559906457_040641.html

Los procesos participativos generan un tipo de compromiso ambiental más duradero a largo plazo.

- Uno de los motores de la humanidad ha sido el cotilleo desde sus más remotos tiempos, como una manifestación más de nuestras inconmensurables ansias de saber y aprender: averiguar quién viene al centro en bicicleta no es complicado. Algo más laborioso sería entender y explicar por qué no viene en coche. Bastantes profesores dan ejemplo de reducción de emisiones, practican el "coche compartido" y hacen uso de vehículos eléctricos.
 - Un representante en el Consejo Escolar podría incluir en el orden del día un punto relacionado con la posibilidad de participar en el *Proyecto START* de movilidad. Alguien puede sugerir al Dpto. de Ciencias que se organice una semana verde y que nos cuenten qué es el *Proyecto START*.
- <https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/grupos-de-trabajo-y-seminarios/stars/stars.aspx>

Las actividades extraescolares vinculadas a experiencias directas en la naturaleza mejoran las competencias ambientales, favorecen el bienestar individual, estimulan las interacciones sociales, promueven estilos de vida saludables en los escolares.¹⁶

- La escuela no está capacitada para abordar en solitario la compleja tarea de educar al ciudadano en sus múltiples requerimientos y exigencias de la sociedad contemporánea. Pensar que la educación tiene soluciones ideales para todos los problemas ambientales no deja de ser una falacia.¹⁷
- Un sinfín de programas ambientales, no todos de igual calidad educativa, llaman a las puertas de los centros al inicio del curso, con reclamos publicitarios que no siempre cuentan con unos recursos suficientes o disponen de personal cualificado para garantizar unas mínimas condiciones de seguridad, confianza y credibilidad pedagógica.¹⁸

04



✘ Los estudiantes con mejores calificaciones en Conocimiento del Medio y Ciencias Naturales son los más comprometidos con el medioambiente.

- Sabemos, pero no actuamos. Hay una brecha considerable entre conocimientos, actitudes y comportamientos proambientales.¹⁹
- Es cierto que nuestros conocimientos científicos sobre el medioambiente y los problemas ecológicos asociados se han ampliado notablemente y, pese al proceso creciente de sensibilización y concienciación de las personas, nuestro entorno local y global continúa inmerso en un proceso de degradación galopante e irrefrenable.
- Por ejemplo, se sabe que la alfabetización científica sobre el cambio climático es insuficiente para motivar un cambio en la actitud y el comportamiento individual y colectivo para enfrentar los riesgos y amenazas que de él se derivan.²⁰
- Conocemos cada vez con más detalle las explicaciones científicas de los fenómenos ambientales, pero nuestra capacidad de cambio y compromiso hacia unos modelos efectivos de transición ecológica y sostenible es muy limitada aún.
- Se avanza muy lentamente en los cambios ambientales generalizados a la luz de la gravedad que muestran los problemas ambientales y las tendencias que marcan los indicadores y registros disponibles: https://unstats.un.org/sdgs/report/2019/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2019_Spanish.pdf.

✘ Las ecoescuelas son una falacia porque diluyen las responsabilidades ambientales en los equipos directivos.

- El compromiso ambiental pasa por asumir diferentes niveles de responsabilidad por parte de profesores, escolares y miembros de la comunidad educativa. Los programas de Ecoescuelas sostenibles y las Agendas 21 escolares son microejemplos de buenas prácticas sociales en la gestión ambiental participativa.²¹
- La participación en la toma de decisiones de presupuestos verdes e iniciativas de democracia participativa en cuestiones ambientales muestran resultados favorables. Sirva de ejemplo la iniciativa de Parlamento Joven en cuestiones ambientales muestran resultados favorables.

04



✗ Los programas de EApS de corta duración, como visitas, excursiones y actividades en la naturaleza, son una pérdida de tiempo.

- Tras el escepticismo de algunos profesores e investigadores que ponen en duda el valor de las salidas al medio, las visitas y experiencias en la naturaleza se amparan posiciones de confort profesional, esquemas docentes tradicionales, maestros poco dispuestos a innovar en el aula.
- Hay evidencias de los efectos positivos de programas de corta estancia en contextos naturales: ayudan a restablecer las conexiones afectivas entre el mundo natural y la vida cotidiana de los jóvenes, favorecen el descubrimiento de la importancia de los ecosistemas, las plantas y los animales en nuestras vidas.
- Dependiendo de la edad, los niveles de planificación y la secuencia y tipo de actividades, una estancia de un día en una granja-escuela, una visita a un punto limpio de reciclaje o un itinerario urbano basado en la indagación pueden ser detonantes pedagógicos potentes de procesos de alfabetización compleja en escolares.²²

✗ Los programas extraescolares de alta definición tecnológica, caros y supersofisticados, son los medios más eficaces de alfabetización científico-ambiental.

- El tiempo y financiación son dos variables inversamente correlacionadas.²³
- Los programas participativos son baratos y requieren tiempo, priman la comunicación personal y directa en pequeños grupos; van dirigidos a personas muy concretas y sus trabajos suelen tener proyección hacia otros sectores de la sociedad.
- Las campañas publicitarias de contenido ambiental requieren alta financiación y se destinan a una gran cantidad de público con un perfil muy amplio, con periodos de intervención en el tiempo cortos, con formato de comunicación unidireccional que no facilita la implicación del destinatario, ni el cambio de comportamientos a medio y largo plazo.

✗ EApS ofrece recetas mágicas y soluciones a la carta para cambiar el mundo.

- En el campo de la EApS también proliferan “vendedores de humo”. Programas adulterados, pseudoprogramas con intrusismos externos de agentes interesados que bajo la etiqueta “eco” ocultan propósitos no siempre beneficiosos para el ambiente y los participantes.
- Un activismo irreflexivo puede abocarnos al abismo más profundo, y a tropezarnos con un bumerán que rebota con efectos contrarios a los propósitos perseguidos (efecto rebote).





EJEMPLO PRÁCTICO PARA SECUNDARIA

Taller de simulación del calentamiento global

Con esta actividad se pretende investigar los factores que influyen en el incremento de la temperatura del planeta. Para ello se llevará a cabo una simulación del “efecto invernadero” en el laboratorio, demostrando cómo el aumento de las concentraciones de CO_2 en la atmósfera repercute en un incremento de las temperaturas, al actuar este gas como una esponja que retiene el calor que se desprende al enfriarse la tierra.

Material: 2 planchas de corcho, 2 cartulinas negras, 2 peceras, 2 termómetros, 2 lámparas, 2 medidores de CO_2 , 1 matraz, 1 globo, varias pastillas de hielo seco (CO_2 en estado sólido).

A través del debate en grupo pequeño se indagará sobre cuestiones como: causas de este incremento del CO_2 , tomando como referencia información objetiva de los trabajos del IPCC; consecuencias para determinadas especies; acciones individuales a emprender para reducir la huella de carbono; etc.

Este taller se puede enlazar con un proyecto más amplio sobre eficiencia energética en los edificios (<http://www.arfrisol.es/educacion/actividades/index.html>), adaptado a todos los niveles educativos, desde infantil a bachillerato.



EJEMPLO PRÁCTICO PARA PRIMARIA

Ecoescuelas y crowdsourcing



A lo largo de las dos últimas décadas, las Administraciones educativas central y autonómicas han apoyado el desarrollo de programas de ambientalización curricular que involucra a los centros en el desarrollo de compromisos de sostenibilidad a través de Escuelas Verdes, Ecoescuelas y Agendas 21 escolares.

Son proyectos donde la comunidad educativa trabaja en la puesta en marcha de experiencias que tratan de desarrollar la cultura de la sostenibilidad de modo transversal; donde se generan relaciones dialógicas entre alumnado, docentes, familias e instituciones en la realización de diagnósticos escolares o municipales, con el fin de proponer medidas de mejora en clave de sostenibilidad en ámbitos: la gestión de los residuos, del agua o de la energía, la biodiversidad del entorno, la movilidad, el consumo responsable, una alimentación saludable y solidaria, etc. Unos y otros favorecen la gestión sostenible, la participación democrática y la innovación curricular en los centros.

La Red Europea ENSI (*Environment and School Initiatives*) ha desarrollado proyectos escolares de sostenibilidad curricular en el marco de la iniciativa *School Development through Environmental Education* (SEED). Una de sus aportaciones ha sido definir criterios de calidad para escuelas sostenibles.²⁴

Un ejemplo singular de cómo las ecoescuelas pueden colaborar en modelos de ciencia colaborativa orientados a la conservación e identificación de especies es el descubrimiento del *olinguito*, un mamífero de reciente catalogación sobre el que los escolares aportaron fotografías y observaciones de diferentes territorios. Gracias al *crowdsourcing*, un modelo participativo de hacer ciencia con la gente, los investigadores del *Smithsonian's National Museum of Natural History* han podido avanzar significativamente en sus hallazgos²⁵. Trabajar en redes de ecoescuelas es enriquecedor para profesores y estudiantes, permite el intercambio de buenas prácticas docentes, experiencias de innovación exitosas y establecer una comunicación continuada en proyectos de *crowdsourcing* y registro científico colaborativo en abierto.

REFERENCIAS

1. Cook, J.; Oreskes, N.; Doran, P. T.; Anderegg, W. R. L.; Verheggen, B.; Maibach, E. W. y Green, S. A. (2016). Consensus on consensus: A synthesis of consensus estimates on human-caused global warming. *Environmental Research Letters*, 11, 1-7. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/4/048002>.
2. Meira-Carrea, P. A.; González-Gaudio, E. y Gutiérrez-Pérez, J. (2018). Climate crisis and the demand for more empiric research in social sciences: emerging topics and challenges in Environmental Psychology. *Psychology*, 9:3, 259-271. <https://doi.org/10.1080/21711976.2018.1493775>.
3. Keys, P. W.; Galaz, V.; Dyer, M.; Matthews, N.; Folke, C.; Nyström, M. y Cornell, S. E. (2019). Anthropocene risk, *Nature Sustainability*, 2, 667-673.
4. Lebreton, L. et al. (2018). Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic. *Nature*, 22 de marzo.
5. Reisser, J.; Shaw, J.; Hallegraef, G.; Proietti, M.; Barnes, D.; Thums, M.; Wilcox, C.; Hardesty, B. y Pattiaratchi, C. (2014). Millimeter-Sized Marine Plastics: A New Pelagic Habitat for Microorganisms and Invertebrates. *PLoS ONE (PLoS ONE)*, 9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0100289>.
6. Christian Schmidt, C.; Krauth, T. y Wagner, S. (2017). Export of Plastic Debris by Rivers into the Sea. *Environmental Science & Technology*, 51 (21), 12246-12253. <https://doi.org/10.1021/acs.est.7b02368>.
7. https://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15_spm_final.pdf.
8. Suranovic, S. (2013). Fossil fuel addiction and the implications for climate change policy. *Global Environmental Change*, 23(3), 598-60.
9. M. Eaton, E. y A. Day, N. (2019). Petro-pedagogy: fossil fuel interests and the obstruction of climate justice in public education. *Environmental Education Research*. <https://doi.org/10.1080/13504622.2019.1650164>.
10. Dillon, J.; Stevenson, R. B. y Wals, A. (eds.) (2016). Moving from Citizen to Civic Science to Address Wicked Conservation Problems. *Conservation Biology*, 30(3), 450-455. <https://doi.org/10.1111/cobi.12689>.
11. Calvo, S. y Gutiérrez, J. *El espejismo de la Educación Ambiental*. Morata: Madrid.
12. Cebrián, G. y Junyent, M. (2014). Competencias profesionales en Educación para la Sostenibilidad: un estudio exploratorio de la visión de futuros maestros. *Enseñanza de las Ciencias*, 32, 29-49.
13. Burgos, O.; Gutiérrez, J. y Perales, F. J. (2012). La evaluación de la calidad en las ecoescuelas: un estudio comparado entre Chile y España. *Interciencia: revista de ciencia y tecnología de América*, vol. 37, nº 5, 340-348.
14. Perales, F. J.; Burgos, O. y Gutiérrez, J. (2014). El programa Ecoescuelas: una evaluación crítica de fortalezas y debilidades. *Perfiles educativos*, vol. 36, nº 145, 98-121.
15. Swim, J.; Geiger, N. y Lengieza, M. (2019). Climate Change Marches as Motivators for Bystander Collective Action. *Frontiers Communication*. <https://dx.doi.org/10.3389/fcomm.2019.00004>.
Marshall, N. A.; Thiault, L.; Beeden, A. y Pert, P. (2019). Our environmental value orientations influence. How we respond to climate change. *Frontiers in Psychology*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00938>.
Khan, M.; Du, J. D.; Ali, M.; Saleem, S. y Usman, M. (2019). Interrelations between ethical leadership, green psychological climate, and organizational environmental citizenship behavior: a moderated mediation model. *Frontiers in Psychology*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01977>.
16. Ivo, C. (2007). Non-Formal Science Teaching and Learning, 263-273. Pintó, R. y Couso, D. (eds.). *Contributions from Science Education*, Londres: Springer.
Corcadden, K. W. y Kathleen, K. (2017). The TREEhouse: A hybrid model for experiential learning in environmental education, 56-67. *Applied Environmental Education & Communication*, 16(1).
17. Gutiérrez, J. (2011). *Educación Ambiental: fundamentos teóricos, propuestas de transversalidad y orientaciones extracurriculares*. Madrid: La Muralla.
18. Dunkley, A. R. (2016). Learning at eco-attractions: Exploring the bifurcation of nature and culture through experiential environmental education. *The Journal of Environmental Education*, 47:3, 213-221. <https://doi.org/10.1080/0958964.2016.1164113>.

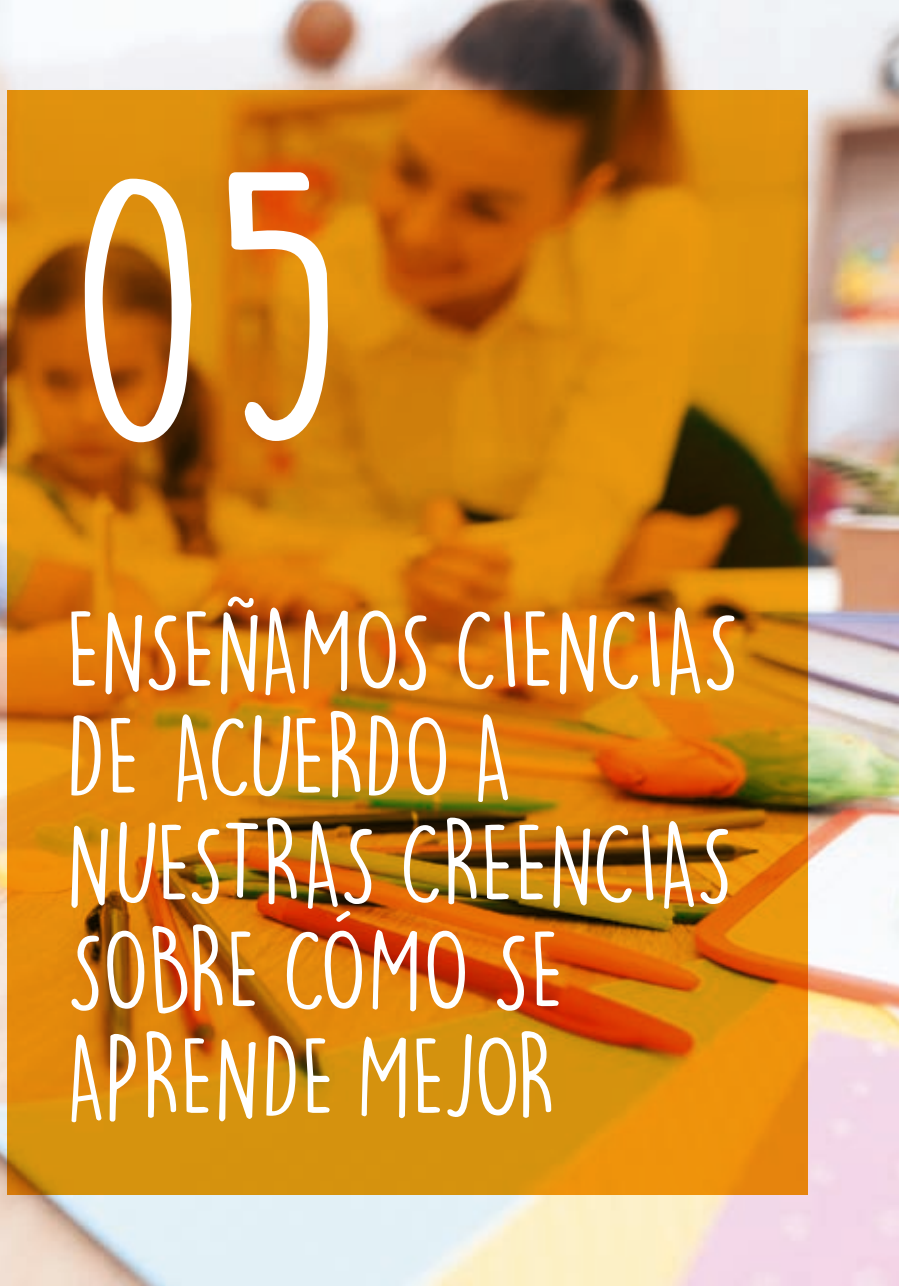
19. Marcinkowski, T. y Reid, A. (2019). Reviews of research on the attitude-behavior relationship and their implications for future environmental education research. *Environmental Education Research*, 25:4, 459-471. <https://doi.org/10.1080/13504622.2019.1634237>.
20. González-Gaudinao, E. (2017). El cambio climático y la gente. Arto, M. y Meira, P. A. (coords.). *RESCLIMA: aproximación ás claves sociais e educativas do cambio climático*. A Coruña: Aldine.
Marlon, J.; Van der Linden, S. y Broad, K. (2019). Detecting local environmental change: the role of experience in shaping risk judgments about global warming. *Journal of Risk Research*, 22:7, 936-950. <https://doi.org/10.1080/13669877.2018.1430051>.
21. Burgos, O.; Gutiérrez, J. y Perales, F. J. (2015). Indicadores de calidad y tipologías de ecoescuelas. *Investigación en la escuela*, n.º 86, 75-88.
22. Clayton, S. (2017). Zoos and aquariums as informal learning environments for climate change communication. *Oxford Research Encyclopedia of Climate Science*. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780190228620.013.394>.
23. Benayas, J.; Gutiérrez, J. y Hernández, N. (2003). *La investigación en educación ambiental en España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.
24. Breiting, S.; Mayer, M. y Mogensen, F. (2005). *Quality Criteria for ESD-Schools*. Viena: Austrian Federal Ministry of Education, Science and Culture-ENSI.
25. Helgen, K. M.; Pinto, C. M.; Kays, R.; Helgen, L. E.; Tsuchiya, M. T.; Quinn, A.; Wilson, D. E. y Maldonado, J. E. (2013). Taxonomic revision of the olingos (Bassaricyon), with description of a new species, the Olinguito. *Zookeys Journal*, 15, 324: 1-83. <https://doi.org/10.3897/zookeys.324.5827>. <https://blogthinkbig.com/crowdsourcing-olinguito>.





05

ENSEÑAMOS CIENCIAS
DE ACUERDO A
NUESTRAS CREENCIAS
SOBRE CÓMO SE
APRENDE MEJOR





5.1

El impacto de los
"neuromitos" en la
formación y el desempeño
profesional

MARTA FERRERO



La atracción que despierta en la sociedad la neurociencia, encargada del estudio del cerebro, es incuestionable. Basta con teclear en Internet el prefijo “neuro” para descubrir palabras tan diversas como neuroeconomía, neuromarketing, neuroyoga, *neurocoaching* o neurodieta. Este interés por la neurociencia también se ha colado en la educación. Muchos docentes consideran que la neurociencia puede ayudarles a mejorar su práctica diaria en el aula¹ y recurren a cursos de formación, libros o blogs para aprender más sobre cómo funciona el cerebro². Sin embargo, el entusiasmo de los docentes choca a menudo con la prudencia de los neurocientíficos^{3,4,5}, que reconocen que no es nada fácil traducir los hallazgos hechos en el laboratorio al trabajo en las aulas⁶. De hecho, esta puede ser una de las causas que ha motivado la aparición de los denominados “neuromitos” o ideas erróneas sobre el cerebro y su funcionamiento. Otras posibles causas son el lenguaje y terminología tan diferentes que usan los investigadores y los docentes^{7,8}, y que puede favorecer los malos entendidos, la prácticamente ausencia de contacto y colaboración entre neurocientíficos y docentes^{1,4,9} o la falta de suficiente formación de estos últimos para

valorar críticamente afirmaciones que se hacen sobre la neurociencia, así como para diferenciar prácticas educativas basadas en pruebas sólidas de prácticas pseudocientíficas o pobremente fundamentadas.^{5,10,11}

A lo largo de estos años se han hecho numerosos estudios sobre la prevalencia de los “neuromitos” entre el profesorado en activo en países como Bélgica, Reino Unido, China, Grecia, Turquía o Argentina, por mencionar solo algunos ejemplos. Todos ellos coinciden en apuntar que los docentes en activo consideran como verdaderos muchos mitos sobre el cerebro^{2,12}. En España también contamos con una investigación donde participaron 284 docentes en activo, que abarcaban desde la etapa de educación infantil hasta bachillerato y FP, de 15 comunidades autónomas. Los resultados mostraron que, de forma similar a lo que ocurre en otros países, en España el profesorado en activo también considera ciertos un alto número de “neuromitos”². Esta alta prevalencia de mitos sobre el cerebro entre los docentes puede afectar a la calidad de la educación, al facilitar la entrada de metodologías pseudocientíficas en los centros



educativos. Este no es un asunto baladí, ya que el uso de métodos ineficaces supone un alto coste en términos de tiempo, dinero y motivación del profesorado, que dejan de invertirse en metodologías con eficacia probada¹¹. Este hecho, a su vez, puede repercutir negativamente en el aprendizaje de los estudiantes¹³, especialmente en aquellos más desfavorecidos. Por poner un ejemplo, en 2005 se lanzó al mercado el programa de gimnasia cerebral Brain Gym^{®14}. Su popularidad a comienzos de la década pasada fue tal que llegó a comercializarse en más de 80 países¹⁵ y fue adoptado por cientos de centros escolares¹⁶. Básicamente, Brain Gym[®] consiste en una serie de ejercicios dirigidos supuestamente a “activar el cerebro”, promover “la reestructuración neurológica” y facilitar “el aprendizaje de la totalidad del cerebro”. Para ello, el programa propone que los alumnos realicen una serie de ejercicios sencillos (por ejemplo, de respiración y equilibrio) en diferentes momentos de la jornada escolar y que beban una determinada cantidad de agua al día para que “sus cerebros no se deshidraten” y “encojan”¹⁵. Supuestamente, esto se traduce en un sinfín de beneficios en cuestiones tan diversas como las

dificultades de aprendizaje o la autoestima¹⁴. En la práctica, adoptar Brain Gym[®] supone una inversión de dinero para formar al profesorado, una reducción de tiempo para programar y realizar otro tipo de actividades escolares y la interrupción frecuente de la rutina habitual del aula para realizar los ejercicios establecidos por el programa. Sin duda, todos estos costes tendrían sentido si Brain Gym[®] efectivamente tuviera beneficios en el aprendizaje del alumnado. Sin embargo, a día de hoy no existen pruebas válidas sobre sus supuestos beneficios en el rendimiento académico. La indignación que el programa ha despertado entre los investigadores¹⁶, junto con la tendencia de muchas modas educativas de desaparecer con el paso del tiempo¹⁷, han contribuido a que el programa haya perdido muchos adeptos. Sin embargo, aún son muchos los docentes que lo siguen usando actualmente en países como, por ejemplo, Reino Unido.¹⁶

En las siguientes líneas, expondremos algunos de los mitos sobre el cerebro más extendidos en la sociedad y aportaremos pruebas y argumentos que ayuden a entenderlos.



NEURO—MITOS

LO QUE LA INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA HA DEMOSTRADO

✘ Las personas solamente usamos un 10 % del cerebro.

- La neurología clínica demuestra que si solo usáramos el 10 % de nuestro cerebro estaríamos en estado vegetativo.¹⁸
- La pérdida de áreas muy pequeñas del cerebro a causa de un accidente o de una enfermedad ya tiene consecuencias catastróficas en las personas, tales como la pérdida del habla o la memoria.¹⁸
- Las técnicas de exploración neurofisiológica, como la resonancia magnética o los potenciales evocados, demuestran que no hay ninguna parte del cerebro que no se use nunca.¹⁸

✘ Adaptar la forma de enseñar a los estilos de aprendizaje de los alumnos favorece su aprendizaje.

- Existen más de 71 clasificaciones diferentes sobre estilos de aprendizaje en el mercado¹⁹. Teniendo esto en cuenta, ¿sería posible personalizar la enseñanza para todos y cada uno de los estudiantes?
- No hay pruebas válidas que demuestren que adaptar la enseñanza al estilo de aprendizaje preferido favorece el rendimiento académico.^{19,20}
- No todos aprendemos igual, pero esto no significa que se nos pueda agrupar de acuerdo con perfiles o etiquetas específicos.
- Lo que ayuda a determinar cómo enseñar es el tipo de contenido o habilidad que queremos enseñar, no los “estilos de aprendizaje” de cada estudiante.²¹

✘ Existen aprendices de cerebro izquierdo y aprendices de cerebro derecho.

- Las exploraciones del cerebro hechas mediante técnicas de neuroimagen muestran que ambos hemisferios trabajan juntos en todas las tareas cognitivas.¹⁸
- Existe cierta especialización hemisférica para determinadas habilidades, pero, al mismo tiempo, en un cerebro normal hay una grandísima cantidad de conexiones interhemisféricas.¹⁸
- No existen pruebas de que las diferencias entre personas en términos de creatividad, lógica o capacidad de emocionarse estén relacionadas con diferencias de procesamiento de uno u otro hemisferio.¹⁸

05



NEURO—MITOS

LO QUE LA INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA HA DEMOSTRADO

✘ Escuchar música clásica, especialmente de Mozart, aumenta la inteligencia de los estudiantes.

- Esta idea surgió de un estudio polémico y además tergiversado de la revista *Nature* donde se encontraba que únicamente la inteligencia espacial de un grupo de universitarios mejoraba tras escuchar música de Mozart.²²
- Muchos estudios no han encontrado mejoras de ningún tipo en la inteligencia tras exponer a los participantes a la escucha de música clásica.²³
- Las pocas investigaciones que han encontrado mejoras (principalmente con población adulta) lo han hecho únicamente en el razonamiento espaciotemporal, nunca en la inteligencia general.²⁴
- Cuando se encuentran mejoras solamente duran unos minutos tras escuchar la música, y después se desvanecen.²⁴

✘ Los jóvenes que han nacido y crecido rodeados de tecnología son “nativos digitales”.

- Al igual que el resto de la población, las nuevas generaciones no pueden hacer dos tareas de forma eficiente a la vez (por ejemplo, atender a una explicación mientras navegan por la red).²⁵
- Tampoco usan más aplicaciones tecnológicas o más sofisticadas que las generaciones previas, sino tecnologías tradicionales como los ordenadores o los móviles.²⁶
- Además, el uso que hacen de estas aplicaciones es muy similar al del resto de la población, (por ejemplo, enviar correos electrónicos, navegar por Internet o visitar Facebook)²⁷. No las usan para fines más sofisticados como, por ejemplo, compartir su conocimiento en blogs o wikis.
- Los jóvenes nacidos en la era digital necesitan recibir una enseñanza explícita y adecuada sobre cómo usar las tecnologías como herramienta de aprendizaje. No aprenden solos.

✘ Los entornos excepcionalmente ricos en estímulos mejoran los cerebros de los niños y niñas prescolares.

- Esta creencia se basa en los resultados obtenidos en estudios de laboratorio con ratas criadas en condiciones de privación sensorial extrema, muy alejadas de las condiciones en las que crece un niño.¹⁸
- Los expertos muestran que la formación de conexiones neuronales comienza incluso antes del nacimiento, es decir, antes de que los bebés reciban ninguna estimulación del ambiente.¹⁸
- Muchos trastornos evidencian que tener niveles de formación de conexiones neuronales especialmente altos no es deseable. Un claro ejemplo de esto son las personas con el síndrome de X-frágil.¹⁸

05



EJEMPLO PRÁCTICO SOBRE LOS ESTILOS DE APRENDIZAJE

Y tú, ¿de qué estilo de aprendizaje cojeas?

Imagina que eres tutor de un grupo de 25 estudiantes de 4^º de Educación Primaria. Como veterano de las asignaturas relacionadas con las ciencias, se te encomienda la labor de determinar cuáles son los estilos de aprendizaje preferidos de cada uno de tus estudiantes y, consecuentemente, adaptar tu programación de aula en esta materia a sus estilos de aprendizaje. Las cuestiones que tienes que resolver son las siguientes:

1. ¿Cuál o cuáles de las más de 71 clasificaciones diferentes que existen en el mercado sobre estilos de aprendizaje vas a utilizar con tus estudiantes? (por ejemplo: estudiante visual, auditivo o kinestésico; estudiantes divergentes, convergentes, asimiladores o acomodadores; etc.).
2. Si uno o varios de los estudiantes muestra una preferencia por más de un estilo de aprendizaje, ¿por cuál te vas a inclinar a la hora de ajustar tu forma de enseñar a esos estudiantes? ¿En qué criterios te vas a apoyar para tomar la decisión?
3. Imagina que ya has optado por la clasificación más popular (estudiante visual, auditivo o kinestésico) y has decidido qué hacer

con aquellos estudiantes que no pueden ser etiquetados solamente bajo un único estilo de aprendizaje. El resultado es que, en suma, tus estudiantes aprenden de cinco maneras diferentes. Concretamente, la mitad de los estudiantes son visuales, un tercio son auditivos y el resto se dividen en kinestésicos, visualauditivos y auditivokinestésicos.

4. El primer tema que vas a trabajar en el aula considerando los estilos de aprendizaje de tus estudiantes es la fotosíntesis: (1) ¿cómo vas a adaptar el tema a cada uno de los cinco tipos de aprendiz que supuestamente hay en el aula? (por ejemplo, la fotosíntesis para estudiantes "100 % kinestésicos"); (2) ¿cómo vas a distribuir el tiempo de clase para poder enseñar a cada subgrupo de estudiantes de acuerdo con su estilo o estilos de aprendizaje preferidos?; (3) ¿de dónde vas a sacar el tiempo para multiplicar por cinco cada explicación, material, actividad o forma de evaluación que quieras utilizar con los estudiantes?

Pregunta final para la reflexión: ¿qué **pruebas rigurosas** te han dado sobre los beneficios de llevar a cabo esta faraónica labor?

REFERENCIAS

1. Ansari, D.; De Smedt, B. y Grabner, R. H. (2012). Neuroeducation. A critical overview of an emerging field. *Neuroethics*, 5, 105-117.
2. Ferrero, M.; Garaizar, P. y Vadillo, M. (2016). Neuromyths in education: Prevalence among Spanish teachers and an exploration of cross-cultural variation. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10, 496.
3. Blakemore, S. J. y Frith, U. (2005). The learning brain: Lesson for education: a précis. *Developmental Science*, 8, 459-465.
4. Goswami, U. (2006). Neuroscience and education: From research to practice? *Nature Reviews Neuroscience*, 7, 406-413.
5. Lindell, A. K. y Kidd, E. (2011). Why right-brain teaching is half witted: a critique of misapplication of neuroscience to education. *Mind, Brain, and Education*, 5, 121-127.
6. Simmonds, A. (2014). *How Neuroscience is Affecting Education: Report of Teacher and Parent Surveys*. Londres: Wellcome Trust.
7. Christodoulou, J. A. y Gaab, N. (2009). Using and misusing neuroscience in education-related research. *Cortex*, 45, 555-557.
8. Howard-Jones, P. A. (2014). Neuroscience and education: myths and messages. *Nature Reviews Neuroscience*, 15, 817-824.
9. Pickering, S. J. y Howard-Jones, P. (2007). Educators' views on the role of neuroscience in education: findings from a study of UK and international perspectives. *Mind, Brain, and Education*, 1, 109-113.
10. Lilienfeld, S. O.; Ammirati, R. y David, M. (2012). Distinguishing science from pseudoscience in school psychology: science and scientific thinking as safeguards against human error. *Journal of School Psychology*, 50, 7-36.
11. Busso, D. S. y Pollack, C. (2014). No brain left behind: Consequences of neuroscience discourse for education. *Learning, Media and Technology*, 1-19.
12. Dekker, S.; Lee, N. C.; Howard-Jones, P. y Jolles, J. (2012). Neuromyths in education: Prevalence and predictors of misconceptions among teachers. *Frontiers in Psychology*, 3, 429.
13. Carnine, D. (2000). Why education experts resist effective practices (and what it would take to make education more like medicine). Recuperado de <http://www.wrightslaw.com/info/teach.profession.carnine.pdf>.
14. *Official Brain Gym® Web Site* (2015). Recuperado el 11 de febrero del 2016 de <http://www.braingym.org/>.
15. Hyatt, K. J. (2007). Brain Gym. Building stronger brains or wishful thinking? *Remedial and Special Education*, 28, 117-124.
16. Goldacre, B. (2006). Brain Gym -Name & Shame. *Bad Science*, 18 de marzo. Recuperado el 11 de febrero del 2016 de <http://www.badscience.net/2006/03/the-brain-drain/#more-225>.
17. Slavin, R. E. (1989). PET and the pendulum: Faddism in education and how to stop it. *Phi Delta Kappan*, 752-758.
18. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (2007). *Understanding the brain: Birth of a new learning science*. París, Francia: OECD.
19. Coffield, F.; Moseley, D.; Hall, E. y Ecclestone, K. (2004). Learning styles and pedagogy in post-16 learning. A systematic and critical review. Londres: Learning and Skills Research Centre.
20. Pashler, H.; McDaniel, M.; Rohrer, D. y Bjork, R. (2008). Learning styles: concepts and evidence. *Psychological Science in the Public Eye*, 9, 105-119.
21. Willingham, D. T. (2004). *Why don't students like school?* San Francisco: Jossey-Bass.
22. Rauscher, F. H.; Shaw, G. L. y Ky, K. N. (1993). Music and spatial task performance. *Nature*, 365, 611.

23. Waterhouse, L. (2006). Multiple intelligences, the Mozart effect, and emotional intelligence: A critical review. *Educational Psychologist*, 41, 207-225.
24. Jenkins, J. S. (2001). "The Mozart effect". *Journal of the Royal Society of Medicine*, 94, 170-172.
25. Kirschner, P. A. y Van Merriënboer, J. J. G. (2013). Do Learners Really Know Best? Urban Legends in Education. *Educational Psychologist*, 48, 169-183.
26. Rowlands, I.; Nicholas, D.; Williams, P.; Huntington, P.; Fieldhouse, M.; Gunter, B.; Withey, R.; Jamali, H. R.; Dobrowolski, T. y Tenopir, C. (2008). The Google generation: The information behaviour of the researcher of the future. *Aslib Proceedings: New Information Perspectives*, 60, 290-310.
27. Kvavik, R. B.; Caruso, J. B. y Morgan, G. (2004). ECAR study of students and information technology 2004: Convenience, connection, and control. Boulder, CO: EDUCAUSE Center for Applied Research. Recuperado de <https://net.educause.edu/ir/library/pdf/ers0405/rs/ers0405w.pdf>.



5.2

La formación inicial y permanente de docentes de ciencias como proceso a largo plazo fundamentado en la investigación

ANA RIVERO
FRANCISCO LÓPEZ





Para enseñar ciencias no basta con saber ciencias ni conocer unas cuantas técnicas pedagógicas. Tampoco es suficiente con tener “arte” y ciertas cualidades personales (como la empatía, o habilidades para la comunicación). Para enseñar ciencias, hay que estar dispuesto a poner en cuestión todos los estereotipos sobre la propia ciencia, así como sobre su enseñanza y aprendizaje, de los que nos hemos impregnado durante nuestro paso por el sistema educativo como estudiantes (en el que suele predominar un modelo transmisivo de dicha enseñanza). Para ello, es necesario analizar la propia práctica y detectar aspectos problemáticos y mejorables, reflexionar sobre las aportaciones de la investigación en Didáctica de las Ciencias, observar las prácticas de calidad de otros docentes, diseñar y experimentar propuestas de mejora fundamentadas, analizar los resultados de la experimentación en función de los aprendizajes conseguidos y reformular las propuestas de intervención y los principios didácticos que las sustentan. Sin olvidar la necesidad de hacer público todo ello, compartiendo y debatiendo conocimientos, emociones, experiencias, resultados y dificultades con otros docentes en un marco de colaboración e intercambio. Participar de estos procesos, de manera profesional y rigurosa, permitirá la elaboración progresiva de un conocimiento práctico, cada vez más fundamentado y útil, para la enseñanza de las ciencias.

A continuación presentamos más detenidamente estas ideas, apoyándonos en los argumentos y pruebas que las sustentan.



SABÍAS QUE... IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Los docentes aprendemos a serlo antes de recibir ninguna formación para ello.

- Los docentes han elaborado conocimientos, creencias y pautas de actuación personales sobre la enseñanza y el aprendizaje de las ciencias antes de comenzar a formarse para ello. Ese conocimiento común es fruto de su larga experiencia como estudiantes y se elabora mediante procesos no conscientes de impregnación ambiental.^{1,2}
- El conocimiento común (basado en estereotipos y suposiciones) es más influyente en la práctica de aula que lo que se aprende en la universidad.³
- Es frecuente detectar incoherencias entre lo que los docentes declaran sobre la enseñanza-aprendizaje de las ciencias (relacionado con lo aprendido en procesos formativos) y lo que los docentes hacen en la práctica (influido por el conocimiento común).⁴
- El conocimiento común de los docentes, al ser implícito, escapa a los procesos de reflexión y crítica. La formación docente debe tenerlo en cuenta y trabajar expresamente con él y a partir de él, para evitar que se mantenga intacto a pesar de la formación.⁵



SABÍAS QUE...

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Cambiar lo que sabemos sobre enseñar ciencias requiere superar obstáculos internos.

- Los obstáculos en el pensamiento docente pueden ser de distinto tipo:^{6,7,8}
 - psicológicos, relacionados con cómo se concibe el aprendizaje y el papel del estudiante. Por ejemplo, creer que la mente del alumnado es como un saco vacío;
 - didácticos, relacionados con cómo se concibe la enseñanza. Por ejemplo, considerar que la enseñanza provoca directa y unívocamente el mismo aprendizaje en todo el alumnado;
 - ideológicos, relacionados con cómo se concibe la finalidad de la educación científica. Por ejemplo, considerar que enseñar ciencias es una actividad neutra ideológicamente y que los docentes no deben “contaminar” al alumnado con un enfoque crítico de los problemas socioambientales que nos afectan;
 - epistemológicos, relacionados con cómo se concibe el conocimiento en general y las ciencias en particular. Por ejemplo, considerar que la ciencia es un conocimiento superior, absoluto y verdadero.
- Entre ellos, los últimos son más difíciles de superar que los primeros.⁷
- La formación del profesorado de ciencias debe organizarse de manera que permita a los docentes ir reconociendo y superando los obstáculos para el cambio.

Aprender a enseñar ciencias requiere tiempo.

- Aprender a enseñar ciencias es un proceso gradual, que requiere de aproximaciones sucesivas. Lo que aprenden los docentes en una actividad de formación concreta no es una copia exacta de las teorías de referencia, sino una versión personal, que depende del grado de superación de diversos obstáculos.⁹
- La formación del profesorado es más efectiva cuando es de larga duración y está diseñada de forma continua y progresiva.^{10,11}
- El desarrollo profesional del profesorado de ciencias debe organizarse en etapas o fases y, en cada una, se deben priorizar distintos aspectos y facilitar las condiciones más adecuadas para ir apoyando la evolución y mejora docente.¹¹ Algunas de estas etapas pueden ser: formación inicial, docente en prácticas, profesorado novel, formación continua.

05



SABÍAS QUE...

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Enseñar ciencias no es solo una actividad cognitiva, es también, y a la vez, emocional.

- Los pensamientos y las emociones interactúan entre sí y se influyen mutuamente en la actividad de enseñar ciencias.¹²
- Las estrategias formativas deben promover un ambiente en el que tanto los conocimientos como las emociones se compartan libremente con seguridad, generando ambientes cargados de confianza y apoyo.^{13,14}
- Asimismo, en el desarrollo de las actividades formativas se debe procurar que el profesorado se sienta capaz y satisfecho con los procesos y los cambios que emprende.

Cambiar sustancialmente la forma de enseñar ciencias es un proceso multifacético que involucra no solo aspectos personales –cognitivos y emocionales–, sino también sociales y culturales.

- Las estructuras y culturas institucionales de los centros educativos habituales suelen imponerse a los intentos de cambio individuales por parte de los docentes, constituyendo importantes obstáculos externos para la mejora de la enseñanza de las ciencias.¹⁵
- Para mejorar la enseñanza de las ciencias, la formación docente es imprescindible, pero no es suficiente. Son precisos cambios estructurales y culturales.¹⁶
- Por otro lado, y a la vez, los cambios estructurales (tales como las reformas educativas) y culturales (tales como el cambio de la cultura analógica a la digital), sin implicación de los docentes y formación del profesorado, son insuficientes para promover cambios importantes y generalizados en la enseñanza de las ciencias.¹⁷
- Mejorar la enseñanza de las ciencias precisa de cambios en los docentes y en la organización de las estructuras educativas, que deben ir promoviéndose de manera progresiva e interrelacionada.

05



SABÍAS QUE...

IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS

Los cursos de formación del profesorado transmisivos y de corta duración no son útiles para mejorar las clases de ciencia.

- El profesorado no cambia sus prácticas habituales solo porque conozca una teoría educativa o algunos ejemplos prácticos, por muy fundamentados que sean.^{18,19}
- Vivir como estudiantes —o en el papel de ellos— experiencias de aprendizaje de las ciencias basada en los modelos que propone la investigación educativa favorece la adopción como enseñante de dichos modelos de enseñanza.²⁰
- Las estrategias formativas basadas en la reflexión sobre la práctica y la experimentación y evaluación de nuevas maneras de enseñar ciencias, que permitan resolver los problemas prácticos de los docentes, son las más efectivas para la mejora educativa.^{21,22,23,24}
- Las actividades formativas deben promover que los docentes vivan experiencias similares a las que se les propone que ellos implementen, así como que desarrollen una cultura de “investigación” sobre su práctica: detectar problemas en su enseñanza, diseñar una intervención educativa, experimentarla y evaluarla, revisando finalmente los principios teóricos que la sustentan y comenzando un nuevo ciclo.

El trabajo docente se desarrolla mucho mejor en equipo.

- Los procesos de mejora de la enseñanza de las ciencias que se realizan en equipos (de centro o intercentros) y apoyados por expertos obtienen resultados de alto impacto y duración.^{21,22,23}
- La profesión docente precisa del desarrollo de una cultura colaborativa, donde prime la apertura y la comunicación para la solución de los problemas profesionales reales y compartidos.

05



EDU—MITOS

LO QUE LA INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA HA DEMOSTRADO

- ✘ Para enseñar ciencias basta con saber ciencias.**

Se puede enseñar ciencias sin saber ciencias, lo que importa es la metodología.

 - La enseñanza de las ciencias requiere del desarrollo de un tipo especial de conocimiento, fundamentado, profesionalizado y práctico, denominado “conocimiento didáctico del contenido” (CDC) o “conocimiento práctico profesional (CPP)”.
 - Este conocimiento es fruto de la interacción entre distintos tipos de saberes (conocimientos y prácticas científicas, conocimiento pedagógico, conocimiento experiencial y conocimiento metadisciplinar).^{25,26,27}
 - Forman parte del CDC conocimientos sobre las finalidades de la educación científica, la ciencia escolar, las ideas de los estudiantes sobre los asuntos científicos, la metodología para enseñar ciencias y la evaluación de la enseñanza de las ciencias.^{26,28}

- ✘ A enseñar ciencias se aprende enseñando.**

 - Los años de experiencia docente no son un factor determinante en la calidad de la enseñanza de las ciencias ni en la mejora de los resultados de aprendizaje de los estudiantes.²⁹

- ✘ Si yo, como docente, transmito bien la ciencia, el estudiante, esforzándose, aprenderá (a no ser que tenga algún problema).**

 - La relación entre enseñanza y aprendizaje no es directa y mecánica.
 - El esfuerzo del alumnado es inútil si los contenidos propuestos quedan fuera de su zona de desarrollo próximo, de aquello que tiene capacidad de aprender según el nivel de desarrollo de sus diferentes capacidades.³⁰
 - El grado de aprendizaje de los estudiantes es distinto según el enfoque de enseñanza utilizado. La enseñanza transmisiva provoca aprendizajes de baja calidad (se olvidan pronto, no se transfieren a situaciones prácticas fuera del contexto escolar...). La enseñanza de las ciencias basada en la investigación escolar fomenta aprendizajes más diversos y de mayor calidad que la enseñanza transmisiva.³¹

- ✘ Si, pero con tantos contenidos obligatorios, no se puede...
(...enseñar como no sea de manera transmisiva)**

 - La legislación educativa actual promueve prácticas de enseñanza de las ciencias coherentes con un modelo de investigación escolar, para el aprendizaje no solo de saberes, sino de habilidades y valores propios de la metodología científica. La enseñanza transmisiva y centrada solo en contenidos conceptuales no tiene cobertura legal.
 - La legislación vigente no determina exactamente los contenidos que hay que enseñar. Son los libros de texto los que proponen, bajo su criterio editorial, contenidos de manera detallada. Estos varían entre unas editoriales y otras. El grado de coherencia entre lo que propone la legislación y lo que proponen los libros de texto es desigual según las editoriales.^{32,33}
 - Si los docentes seleccionan y organizan los contenidos relevantes —o grandes ideas— para un contexto concreto, obtienen mejores resultados de aprendizaje en sus estudiantes que si no lo hacen.³⁴

05



EJEMPLO DE DESARROLLO PROFESIONAL

Presentamos a continuación la entrevista realizada al equipo directivo del CEIP El Valle (Écija) sobre el proceso formativo seguido en los dos últimos años, y a Francisco López (jefe de estudios del CEIP Príncipe de Asturias, Sevilla), que ha actuado de guía experto durante dicha experiencia.

El CEIP El Valle es un colegio de Écija situado en una zona de compensatoria. Con todas las dificultades, pero superando prejuicios y con la determinación de que otra escuela es posible, en solo dos años ha generado un gran cambio educativo. Se pueden destacar muchos ámbitos, pero es llamativo el desarrollo a nivel metodológico, pasando de un modelo tradicional y una cultura profesional de aislamiento a propuestas compartidas y basadas en aprendizajes basados en proyectos.

Este curso ha recibido el premio Wind Experts por un proyecto sobre energías renovables.

¿Cómo empezó el proceso de formación?

Equipo El Valle (EV): Las cosas no funcionaban bien, nosotros enseñábamos pero los niños no aprendían, no había un ambiente bueno de participación, de interés... Nuestro centro es de difícil desempeño y los resultados que conseguíamos no eran buenos. Había que hacer algo, teníamos que cambiar.

Un padre de un alumno nos “daba la vara” a menudo con que el colegio no iba bien, que teníamos que mejorar, que se podían hacer otras cosas... Nos habló de Paco, al que había escuchado hablar en algunos actos, lo había invitado a su programa de radio... y nos insistió mucho en que hablásemos con él. Y así lo hicimos.

Paco nos invitó a las reuniones del colectivo Con+ciencia y empezamos a asistir nosotros tres una vez al mes y a aprender sobre el trabajo por proyectos. Queríamos formarnos antes de proponer al claustro esta forma de trabajar.

¿Qué es Con+ciencia?

Paco (P): Un colectivo de docentes de diferentes centros y niveles educativos que diseña, experimenta y comparte propuestas educativas alternativas al modelo tradicional. Esta concepción profesional compartida supone la apuesta por un modelo didáctico personal, coherente con las teorías científicas y con la práctica contextualizada, lo que supone una implicación que no es solo racional, sino también ética y emocional. En el grupo compartimos conocimientos, afectos, nos enriquecemos y nos fortalecemos como colectivo.

La relación entre enseñanza y aprendizaje no es directa y mecánica.

Los docentes aprendemos a serlo antes de recibir ninguna formación para ello; ese conocimiento es el más influyente en la práctica.

El trabajo docente se desarrolla mucho mejor en equipo.

Enseñar no es solo una actividad cognitiva, es también, y a la vez, emocional.

¿Cómo se ha desarrollado el proceso? ¿Qué ha sido lo más útil? ¿Y lo menos?

EV: La primera vez que vinimos a reunirnos con el colectivo, trajimos un diseño de trabajo por proyectos del que estábamos muy orgullosos. Veníamos en el coche pensando: “Cómo se van a quedar cuando presentemos nuestro proyecto, van a alucinar”. Y no veas, nos dijeron miles de cosas. El proyecto iba para atrás lleno de tachones, cambios, partes arrancadas... En el coche íbamos en silencio absoluto. Pero **perseveramos**. Entendimos que lo que nos había pasado era normal, que **la primera vez que haces algo no es perfecto**.

Lo más útil para nuestra formación ha sido ese intercambio constante con colegas sobre recursos, ideas, propuestas... Eso ha sido muy enriquecedor.

¿En qué destacan las propuestas de aprendizajes basadas en proyectos respecto a las anteriores, más tradicionales?

EV: El ABP es una propuesta mucho más atractiva e inclusiva; por lo tanto, más adecuada a las características de nuestro centro. Genera actividades que no se quedan solo en el aula o en el libro de texto, por lo que permite la participación del resto de la comunidad educativa. Al estar más conectado con problemas reales, genera aprendizajes más significativos y funcionales para el alumnado.

¿Cómo lo habéis extendido al resto del profesorado del centro?

EV: Solicitamos al CEP una formación en nuestro centro sobre el trabajo por proyectos, pidiendo que fuese Paco el formador. En esta formación ha participado todo el claustro de una forma u otra, porque se aprobó la actividad en el plan de centro y había que hacerla.

Paco ha estado viniendo con regularidad y nos proponía tareas, revisaba lo que habíamos hecho, nos hacía sugerencias...

Aprender a enseñar ciencias requiere tiempo.

Cambiar lo que sabemos sobre enseñar ciencias requiere superar obstáculos.

La legislación educativa actual promueve prácticas de enseñanza de las ciencias coherentes con un modelo de investigación escolar.

Aprender a enseñar ciencias requiere tiempo.

Paco, ¿qué elementos de este proceso crees que han sido los más influyentes en el cambio experimentado por los docentes de El Valle?

P: Hay muchos modelos de formación, dependiendo del objetivo de esta. No se debe utilizar la misma modalidad formativa para que el profesorado aprenda a manejar la pizarra digital que para hacer una transición desde una metodología tradicional al ABP. La formación impartida fue dirigida a producir cambios en las **concepciones docentes** que afectan a la **práctica de aula** y a establecer **modelos didácticos compartidos**. Por ello optamos por una formación **contextualizada** atendiendo a los problemas detectados en el centro a nivel colectivo e individual y que contemplara **la evolución individual progresiva** a través de **varios ciclos de información, puesta en práctica, valoración y mejora**. Exponer abiertamente las dificultades encontradas y también los logros **aminoran los miedos inherentes al cambio** y ayuda a normalizarlo, entendiéndolo como algo ineludible en nuestra profesión dentro de un mundo y una sociedad cambiante.

¿Por qué apostáis por este tipo de formación y no otra, por ejemplo por cursos?

EV: Porque era la única que considerábamos que nos sería realmente útil. Asistir a un curso de dos tardes donde alguien te viene a contar algo no nos iba a ayudar a cambiar nuestras clases y el colegio.

¿Cómo habéis ido implicando al resto del profesorado?

EV: **Lo metimos en el proyecto educativo**, así que no tenían más remedio que participar de alguna manera. De todas formas, es verdad que hacía falta un grupo que tirase y animase, pero han estado predispuestos porque también ellos eran conscientes de que la cosa no iba bien en el colegio.

En el trabajo por proyectos se han involucrado también las familias. Han participado en las cosas que les hemos pedido y nos han ayudado mucho. Incluso hemos cambiado el formato de las fiestas de fin de curso a otro de semana cultural y nos han felicitado por ello. Nos decían cosas como: esto sí ayuda a aprender a nuestros hijos, es educativo...

Enhorabuena por vuestra apuesta por ofrecer a vuestro alumnado un modelo de escuela diferente al tradicional. Nos sirve como evidencia de que otra manera de enseñar y aprender es posible a pesar de todas las dificultades.

Cambiar sustancialmente la forma de enseñar ciencias es un proceso multifacético que involucra no solo aspectos personales —cognitivos y emocionales—, sino también sociales y culturales.

Los cursos de formación del profesorado transmisivos y de corta duración no son útiles para mejorar las clases de ciencia.

REFERENCIAS

1. Gil, D. (1991). ¿Qué hemos de saber y saber hacer los profesores de Ciencias? *Enseñanza de las Ciencias*, 9 (2), 188-199.
2. Tobin, K. y Espinet, M. (1989). Impediments to change: application of coaching in high school science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 26 (2), 105-120.
3. Hewson, P. W.; Tabachnick, B. R., Zeichner, K. M. y Lemberger, J. (1999). Education prospective teachers of Biology: findings, limitations and recommendations. *Science Education*, 83 (3), 373-384.
4. Mansour, N. (2008). Science teachers' beliefs and practices: issues, implications and research agenda. *International Journal of Environmental & Science Education*, 4(1), 25-48.
5. Guisasola, J.; Barragués, J. I. y Garmendia, M. (2013). El Máster de Formación Inicial del Profesorado de Secundaria y el conocimiento práctico profesional del futuro profesorado de Ciencias Experimentales, Matemáticas y Tecnología. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 10, 568-581.
6. Cañal, P.; Travé, G. y 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.
7. Porlán, R.; Martín del Pozo, R.; Rivero, A.; Harres, J.; Azcárate, P. y Pizzato, M. (2011). El cambio del profesorado de ciencias II: itinerarios de progresión y obstáculos en estudiantes de magisterio. *Enseñanza de las Ciencias*, 29 (3), 413-426.
8. Walker, S.; Brownlee, J.; Whiteford, C.; Exely, B. y Woods, Annette (2012). A longitudinal study of change in preservice teachers' personal epistemologies. *Australian Journal of Teacher Education*, 37(5), Article 4. Disponible en: <http://ro.ecu.edu.au/ajte/vol37/iss5/4>.
9. Rivero, A.; Solís, E.; Porlán, R.; Martín del Pozo, R. y 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>.
10. Fonseca-Tinoca, L. (2004). *From professional development for science teachers to student learning in science*. Tesis doctoral. University of Texas at Austin.
11. Berry, A. Depaepe, F. y Van Driel, J. (2016). Pedagogical content knowledge in teacher education. Loughran, J. y Hamilton, M. (eds.). *International Handbook of Teacher Education*. Singapur: Springer.
12. Mellado, V.; Borrachero, A. B.; Brígido, M.; Melo, L. V.; Dávila, M. A.; Cañada, F.; Conde, M. C.; Costillo, E.; Cubero, J.; Esteban, R.; Martínez-Borreguero, G.; Ruiz, C.; Sánchez, J.; Garritz, A.; Mellado, L.; Vázquez, B.; Jiménez, R. y Bermejo, M. L. (2014). Las emociones en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 32(3), 11-36.
13. Saunders, R. (2012). The role of teacher emotions in change: Experiences, patterns and implications for professional development. *Journal of Educational Change*, 14(3), 303-333.
14. Korthagen, F. y Vasalos, A. (2005). Levels in reflection: core reflection as a means to enhance professional growth. *Teachers and Teaching. Theory and practice*, 11(1), 47-71. <http://dx.doi.org/10.1080/1354060042000337093>.
15. Binns, I. C. y Popp, S. (2013). Learning to teach science through inquiry: Experiences of preservice teachers. *Electronic Journal of Science Education*, 17(1), 1-24. Recuperado de <http://ejse.southwestern.edu/article/view/11346>.
16. Bradford, C. y Braaten, M. (2018). Teacher evaluation and the demoralization of teachers. *Teaching and Teacher Education*, 75, 49-59.
17. Fullan, M. (1993). *Change forces: probing the depths of educational reform*. Londres: Palmer Ed.
18. Bahr, N.; Dole, S.; Bahr, M.; Barton, G. y Davies, K. (2007). *Longitudinal evaluation of the effectiveness of professional development strategies*. Queensland: University of Queensland y Bond University.
19. Solbes, J.; Fernández-Sánchez, J.; Domínguez-Sales, M. C.; Cantó, J. y Guisasola, 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.

20. Martínez-Chico, M.; López-Gay, R. y 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.
21. Crawford, B. A.; Capps, D. K.; Van Driel, J.; Lederman, N.; Lederman, J.; Luft, J.; Wong, S.; Tan, A. L.; Lim, S.; Loughran, J. y Smith, K. (2014). Learning to teach science as inquiry: developing an evidence-based framework for effective teacher professional development. Lederman, N. y Abell, S. (eds.). *Handbook of research on science education*, pp. 193-211. Nueva York: Routledge.
22. Korthagen, F. A. J.; Loughran, J. y Russell, T. (2006). Developing fundamental principles for teacher education programs and practices. *Teaching and Teacher Education*, 22, 1020-1041.
23. Furió, C. y Carnicer, J. (2002). El desarrollo profesional del profesor de ciencias mediante tutorías de grupos cooperativos. Estudio de ocho casos. *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (1), 47-73.
24. Vázquez, B.; Jiménez, R. y Mellado, V. (2010). Los obstáculos para el desarrollo profesional de una profesora de enseñanza secundaria en ciencias experimentales. *Enseñanza de las Ciencias*, 28 (3), 417-432.
25. Crawford, B. y Capps, D. (2016). What knowledge do teachers need for engaging children in science practices? Dori, J.; Mevarech, Z. y Baker, D. (eds.). *Cognition, Metacognition and Culture in STEM Education*. Nueva York: Springer.
26. Porlán, R. y Rivero, A. (1998). *El conocimiento de los profesores*. Sevilla: Diada.
27. Shulman, L. S. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14. <https://doi.org/10.3102/0013189X015002004>.
28. Gess-Newsome, J. (2015). A model of teacher professional knowledge and skill including PCK: Results of the thinking from the PCK summit. Berry, A.; Friedrichsen, P. y Loughran, J. (eds.). *Re-examining pedagogical content knowledge in science education*, pp. 28-42, Londres: Routledge Press.
29. Friedrichsen, P. J.; Abell, S. K.; Pareja, E. M.; Brown, P. L.; Lankford, D. M. y Volkmann, M. J. (2009). Does Teaching Experience Matter? Examining Biology Teachers' Prior Knowledge for Teaching in an Alternative Certification Program, *Journal of Research in Science Teaching*, 46, 357-383.
30. Vigotsky, L. S. (1979). *El desarrollo de los procesos psicológicos superiores*. Barcelona: Crítica.
31. Aguilera, D.; Martín-Páez, T.; Valdivia-Rodríguez, V.; Ruiz-Delgado, A.; Williams-Pinto, L.; Vilchez-González, J. M. y Perales, F. J. (2018). La enseñanza de las ciencias basada en indagación. Una revisión sistemática de la producción española. *Revista de Educación*, 381, 259-284.
32. Meira, P.; Bisquert, K.; García-Vinuesa, A. y Pérez, A. (2019). RESCLIMA-EDU: A alfabetización climática en Educación Secundaria. Análise transcultural das representações sociais do cambio climático en estudantes, docentes e material curricular. Alonso-Ferreiro, A. y Gewerc, A. (2019). *Conectando Redes. La relación entre la Investigación y la Práctica educativa*, pp. 795-808. Simposio REUNI+D y RILME. Santiago de Compostela: Grupo Stellae.
33. Montañés, B. y Jaén, M. (2015). ¿Qué características presentan los contenidos relacionados con las problemáticas ambientales propuestos en los libros de texto de 3º de la ESO? *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 12(1), 130-148. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2015.v12.i1.09.
34. Kang, J. (2017). Preservice teachers' learning to plan intellectually challenging tasks. *Journal of Teacher Education*, 68(1) 55-68.

AUTORES Y COORDINADORES

José R. Alonso Peña

Catedrático de Biología Celular de la Universidad de Salamanca. Investigador principal del Instituto de Neurociencias de Castilla y León.

David Bueno i Torrens

Profesor e investigador de Genética de la Universidad de Barcelona y divulgador de la ciencia.

Digna Couso Lagarón

Directora del Centro de Investigación en Ciencias y Educación Matemática (CRECIM). Universidad Autónoma de Barcelona.

Bárbara de Aymerich Vadillo

Doctora en Ciencias. Licenciada en Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Graduada en Químicas. Experta Universitaria en Enseñanza STEAM con Programación y Robótica Educativas. Directora de la Escuela de Pequeñ@s Científic@s Espiciencia. Espinosa de los Monteros. Burgos.

Jordi Domènech Casal

Doctor en Biología y licenciado en Humanidades. Profesor de secundaria en el Instituto Marta Estrada de Granollers. Formador de profesorado en el Departamento de Enseñanza. Coordinador proyectos en relación a la innovación en la enseñanza de las ciencias (EduWikiLab y Proyecto C3) y la evaluación por competencias (IndComp).

Paloma Domingo García

Licenciada en Ciencias Físicas especialidad de Astrofísica por la Universidad Complutense de Madrid y doctora en Informática por la Universidad Politécnica de Madrid. Directora general de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT).

Marta Ferrero González

Doctora en Psicología. Licenciada en Psicopedagogía. Diplomada en Magisterio Infantil. Directora de la jornada de divulgación científica *Las pruebas de la educación*. Autora del blog *Si tú supieras...* sobre prácticas educativas basadas en la evidencia.

José Gutiérrez Pérez

Catedrático de Métodos de Investigación, Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad de Granada. Pionero en educación ambiental y experto en evaluación de proyectos ambientales.

Marilar Jiménez Aleixandre

Catedrática de Didáctica de las Ciencias Experimentales *ad honorem*. Facultad de Ciencias de la Educación. Universidad de Santiago de Compostela.

M. Rut Jiménez-Liso

Profesora Titular de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Almería (@Sensociencia).

Francisco López Moreno

CEIP Príncipe Asturias-Torreblanca. Sevilla (grupo +Ciencia).

Marta Macho-Stadler

Profesora del departamento de Matemáticas, Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea.

Juan Ignacio Pozo Municio

Catedrático de Psicología del Aprendizaje. Facultad de Psicología. Universidad Autónoma de Madrid.

Cintia Refojo Seronero

Responsable de Educación y Vocaciones Científicas - Departamento de Cultura Científica y de la Innovación. Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT).

Ana Rivero García

Catedrática de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Facultad de Ciencias de la Educación. Universidad de Sevilla.

José Antonio Sacristán

Doctor en Medicina. Especialista en Farmacología Clínica. Director de la Fundación Lilly.

Neus Sanmartí i Puig

Catedrática emérita de Didáctica de las Matemáticas y de las Ciencias Experimentales. Facultat de Ciències de la Educació. Universitat Autònoma de Barcelona.

Juan José Sanz Ezquerro

Investigador en el Centro Nacional de Biotecnología del CSIC (@CNB_CSIC). Cofundador de la asociación Apadrina la Ciencia (@apadrinaciencia).

Susanna Tesconi

Doctora en Educación por la UAB, Stanford FabLearn Senior Fellow. Profesora de los Estudios de Informática, Multimedia y Telecomunicaciones de la Universitat Oberta de Catalunya.

REVISORES / AVALISTAS

Juan Luis García Hourcade

Licenciado en Ciencias Físicas y Catedrático de Física y Química de Enseñanza Secundaria, Segovia. Secretario de la Real Academia de Historia y Arte de San Quirce (RAHASQ).

Pampa García Molina

Licenciada en Física y periodista especializada en ciencia y tecnología. Coordinadora agencia SINC. FECYT.

Clara Grima Ruiz

Doctora en Matemáticas y divulgadora científica. Profesora del área de Matemática Aplicada de la Universidad de Sevilla.

Enseñando ciencia con ciencia quiere hacer hincapié en la necesidad de conectar la práctica docente de enseñanza de las ciencias con la abundante investigación científica existente en este ámbito. Este cuerpo de investigación interdisciplinario, que aglutina resultados de la neurociencia, la psicología del aprendizaje, la pedagogía y, sobre todo, la didáctica de las ciencias, nos aporta pruebas científicas y consensos sobre lo que sabemos que funciona y no funciona actualmente en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. La mejor forma de aprender ciencias es practicando sus formas de hacer, hablar y pensar en el aula.

