

Educación Científica en una Era de Desinformación



This report is a product of a collaboration of a group led by Jonathan Osborne and funded by a grant from the Gordon and Betty Moore Foundation. The content stems from a series of discussions held among the following participants:

Jonathan Osborne, Stanford University, Stanford, USA

Daniel Pimentel, Stanford University, Stanford, USA

Bruce Alberts, University of California, San Francisco, USA

Douglas Allchin, University of Minnesota, Minnesota, USA

Sarit Barzilai, University of Haifa, Israel

Carl Bergstrom, University of Washington, Seattle, USA

Janet Coffey, Gordon and Betty Moore Foundation, Palo Alto, USA

Brian Donovan, BSCS Science Learning, Colorado, USA

Rena Dorph, The Lawrence, University of California Berkeley, Berkeley, USA

Kari Kivinen, Faktabaari, Finland

Anastasia Kozyreva, Max Planck Institute for Human Development, Berlin, Germany

Kathy Perkins, University of Colorado Boulder, USA

Saul Perlmutter, University of California Berkeley, Berkeley, USA

Sam Wineburg, Stanford University, Stanford, USA

Many of these participants are also authors of this document. And while there is broad agreement of all with the issues and concerns, not all authors concur with every point.

To cite this document

Osborne, J., Pimentel, D., Alberts, B., Allchin, D., Barzilai, S., Bergstrom, C., Coffey, J., Donovan, B., Kivinen, K., Kozyreva, A., & Wineburg, S. (2022). *Science Education in an Age of Misinformation*. Stanford University, Stanford, CA.

Accompanying website: sciedandmisinfo.sites.stanford.edu

Copyright © Jonathan Osborne, Stanford University, 2022

Typesetting [Shakspeare Editorial](#)

Cover image from [Creative Christians](#), Unsplash

Contents

El desafío que afronta la educación científica	1
1. ¿Por qué los estudiantes deben desarrollar la capacidad de evaluar la maestría y la información científicas?	3
2. ¿Qué evidencia hay de que a los jóvenes les cuesta evaluar la información de manera efectiva?	7
3. ¿Por qué es urgentemente prioritario que los científicos y los profesores de ciencias desarrollen la competencia de los estudiantes para evaluar la información?	9
4. ¿Qué pueden hacer los científicos y los profesores de ciencias a fin de desarrollar la competencia para evaluar la información y los conocimientos científicos?	14
Los fundamentos de los medios digitales y la alfabetización informacional.....	14
Las prácticas sociales de la ciencia.....	16
Los indicadores de maestría en ciencias	16
Cómo produce la ciencia conocimiento confiable.....	18
El consenso científico	18
Revisión por pares.....	20
Lidiar con la incertidumbre.....	22
<i>La estadística y la teoría de la probabilidad</i>	23
<i>Muestreo</i>	24
<i>Causalidad</i>	25
<i>Los límites de los modelos</i>	25
Tergiversación de datos	26
Valorar la humildad intelectual y la verdad	26
Implicaciones para la práctica.....	30
Ejemplo 1	30
Ejemplo 2	32
Ejemplo 3	34
Ejemplo 4	36
Implicaciones para una política.....	38
Recomendación 1: Revisión de los estándares y currículos de educación científica	39
Recomendación 2: Desarrollo de materiales curriculares	40
Recomendación 3: Formación de profesores de ciencias	40
Recomendación 4: Mejorar la evaluación	41
Conclusiones.....	41
Referencias.....	43

EL DESAFÍO QUE AFRONTA LA EDUCACIÓN CIENTÍFICA

El conocimiento de la verdad es un bien colectivo... Sin embargo, existe una creciente preocupación por la forma en que se puede utilizar internet para difundir información falsa.

El conocimiento de la verdad es un bien colectivo. Hoy en día, internet brinda acceso a un mar de información interconectada que, simplemente, era inimaginable 20 años atrás. Usualmente se supone que esto es algo bueno, ya que internet ofrece respuestas a preguntas sobre todo, desde cómo reparar una bicicleta rota hasta nuestras preocupaciones con respecto a problemas de salud. Además, ha reunido a individuos aislados para el logro de sus intereses compartidos.

Sin embargo, existe una creciente preocupación por la forma en que se puede utilizar internet para difundir información falsa, ya sea errónea (ofrecida de buena fe, pero defectuosa) y, lo que es peor, desinformación (brindada por personas muy conscientes de sus defectos o inexactitudes). Gran parte de ella socava la confianza en la ciencia [1–3], como la aceptación generalizada de afirmaciones infundadas, por ejemplo, la idea de que las vacunas causan autismo, que la Tierra es plana o que el cambio climático es un engaño. Porque, si bien el conocimiento verdadero es un bien colectivo, el conocimiento defectuoso o falso puede ser un peligro, tanto a nivel individual como colectivo. Así, la idea de que las vacunas son dañinas pone en peligro no solo la vida de quienes la sostienen, sino la de toda la comunidad que depende de un alto nivel de vacunación para asegurar su salud.

Una de las características de este fenómeno es que vivimos en una sociedad de “posverdad”, que minimiza o niega el papel de los hechos concretos en la vida pública [4-7]. Y aunque siempre ha habido personas que presentaban información falsa y teorías de conspiración, o que desdibujaban la línea entre una opinión y un hecho, internet y las redes sociales proponen plataformas que difunden mentiras a una velocidad mucho mayor, que supera la comunicación de la verdad [3]. Además, ofrecen herramientas para disfrazar la falta de experiencia y lucrar con su difusión, moldeando así el comportamiento humano a escala global [2,8].

Gran parte de esta información falsa intenta socavar la ciencia bien afirmada o, alternativamente, encubrir ideas con adornos superficiales de ciencia para presentar argumentos falaces.

Gran parte de esta información falsa intenta socavar la ciencia bien afirmada o, alternativamente, encubrir ideas con adornos superficiales de ciencia para presentar argumentos falaces. Mediante el uso de una jerga científica con enlaces a artículos de revistas y evidencias, o seleccionando las evidencias de manera incorrecta, se invita al usuario a evaluarlas por sí mismo, apelando a la noción de que todos pueden ser intelectualmente independientes; en resumen, haga usted su propia investigación. De esta manera, los proveedores de desinformación simplemente explotan una creencia fuera de lugar en nuestras propias capacidades, para erosionar la confianza en hallazgos científicos bien establecidos. No obstante, la realidad es que todos dependemos de la maestría [9-11]; solo los expertos en determinado ámbito pueden evaluar las afirmaciones de otros expertos.

Además, el panorama de la información se ha transformado de un modo fundamental. En internet, a menudo no es seleccionada por mentores profesionales; es probable que los jóvenes obtengan su información de YouTube y TikTok. Si bien algunos canales de estas plataformas son fuentes de información confiables, muchos de ellos no lo son. En

esencia, vivimos en una sociedad en la que todos se ven obligados a emitir juicios sobre la credibilidad de la información y de nuestras fuentes. Nuestra incapacidad para hacerlo bien y la falta de educación sobre cómo abordar la tarea han desatado una vorágine que permite a agentes perniciosos aprovechar nuestras limitaciones para sus propios fines. Los científicos y los profesores de ciencias lo observan con creciente consternación, frustración y preocupación [4,11-14].

Junto con otras personas, vemos este desarrollo como una amenaza para la salud de las sociedades democráticas, equivalente a aquella planteada por el lanzamiento del Sputnik en 1957.

En primer lugar, los científicos y los educadores formales e informales en disciplinas científicas deben contribuir a construir el conocimiento y las capacidades necesarias para adquirir conocimientos *a nivel informacional y de medios digitales*, particularmente en ciencias. En segundo lugar, deben desarrollar una comprensión de la importancia del *consenso en la ciencia*.

Junto con otras personas, vemos este desarrollo como una amenaza para la salud de las sociedades democráticas, equivalente a la que fuera planteada por el lanzamiento del Sputnik en 1957. Esa amenaza percibida condujo a importantes iniciativas educativas para mejorar la formación de los jóvenes; asimismo, requiere una respuesta similar, en particular, una respuesta importante de la educación científica. ¿Por qué? Porque muchos problemas que requieren nuestra toma de decisiones personales o colectivas basan su información en cierta comprensión de la ciencia. Desde la decisión de aplicarse una vacuna hasta qué acciones tomar sobre el cambio climático, la ciencia tiene una importante contribución que hacer. Sin embargo, a veces puede parecer incierta, cuestionable o confusa. En estos casos, es difícil saber qué decisiones debemos tomar. Saber en quién confiar, por qué se puede confiar en ellos y cuánto se puede confiar es una habilidad esencial para la vida.

Cuando se vive en una era de desinformación, se deben hacer dos cosas para abordar este desafío. En primer lugar, los científicos y los educadores formales e informales en disciplinas científicas deben contribuir a construir el conocimiento y las capacidades necesarias para adquirir conocimientos *a nivel informacional y de medios digitales*, particularmente en ciencias. En segundo lugar, deben desarrollar una comprensión de la importancia del *consenso en la ciencia* y, además, las prácticas sociales que utiliza la comunidad científica para examinar las afirmaciones de conocimiento, a fin de producir un conocimiento confiable. Actualmente, la educación científica, desde la primaria hasta la licenciatura, rara vez, si es que alguna, explica a los estudiantes cómo las ciencias aseguran que se pueda confiar en el conocimiento que producen. Esta omisión perjudica a la ciencia, permite que la información errónea se propague y proporciona un espacio para que los proveedores de desinformación socaven la autoridad y la legitimidad del conocimiento científico confiable.

Por ello, en este informe exponemos cómo puede la educación científica cumplir con su responsabilidad de proporcionar a todos los estudiantes las competencias necesarias para surcar ese mar de información falsa y cuestionable sin perderse ni confundirse y, lo que es aún más importante, sin engañarse. Al hacerlo, abordamos cuatro preguntas:

- 1. ¿Por qué los estudiantes deben desarrollar la capacidad de evaluar la maestría y la información científicas?**
- 2. ¿Qué evidencia hay de que a los jóvenes les cuesta evaluar la información de manera efectiva?**
- 3. ¿Por qué es urgentemente prioritario que los científicos y los profesores de ciencias desarrollen la competencia de los estudiantes para evaluar información?**
- 4. ¿Qué pueden hacer los científicos y los profesores de ciencias a fin de desarrollar la competencia necesaria para evaluar la información y los conocimientos científicos?**

Concluimos con ejemplos ilustrativos de lo que se puede hacer de forma inmediata en las aulas y con una serie de recomendaciones políticas para la acción.

1. ¿POR QUÉ LOS ESTUDIANTES DEBEN DESARROLLAR LA CAPACIDAD DE EVALUAR LA MAESTRÍA Y LA INFORMACIÓN CIENTÍFICAS?

Ahora, el proveedor de conocimiento defectuoso puede presentar sus afirmaciones al público directamente, a menudo disfrazadas de ciencia, de una manera que parece creíble para los no expertos.

“**L**os científicos son nuestros expertos designados para estudiar el mundo.”

La comprensión y el conocimiento en el mundo real están limitados tanto por nuestras propias capacidades cognitivas finitas como por la complejidad del entorno, un principio que Herbert Simon llamó “racionalidad limitada”

Treinta años atrás, las fuentes de información estaban más reguladas. Generalmente, la información era filtrada por mentores en los medios de comunicación. Su tarea profesional era editar y curar, esencialmente para filtrar la plétora de conocimiento producido, evaluar lo realmente significativo, estimar la credibilidad de las fuentes y transmitir solo información confiable. Una consecuencia fue que los consumidores podían encontrar con frecuencia conocimientos que desafiaban su forma de pensar. Para las ciencias, este papel fue desempeñado por periodistas científicos y comunicadores científicos experimentados. El problema hoy no es que ya no existan (aunque su número ha disminuido significativamente), sino que internet y las redes sociales permiten pasarlos por alto. Ahora, el proveedor de conocimiento defectuoso puede presentar sus afirmaciones al público directamente, a menudo disfrazadas de ciencia, de una manera que parece creíble para los no expertos. El problema se acrecienta, entonces, por el hecho de que la gente puede compartir fácilmente dicha información en las redes sociales.

Nos guste o no, como vivimos en una sociedad compleja, dependemos de la experiencia de los demás [9,11,15]. Los automóviles que conducimos, el avión en el que volamos y la televisión que vemos requieren una gran maestría para funcionar. Asimismo, las decisiones sobre nuestra salud, cómo afrontar el cambio climático, cómo mitigar la contaminación del aire y muchas otras requieren del conocimiento que los expertos tienen para ofrecer; en este contexto complejo, “*los científicos son nuestros expertos designados para estudiar el mundo*” [16] Dada esta obvia perogrullada, ¿por qué, entonces, tantos parecen alimentar la ilusión de que están en condiciones de ejercer independencia cognitiva [11]? Este sentimiento se refleja sucintamente en la declaración de un político británico en el debate sobre el Brexit en el Reino Unido, “la gente está harta de expertos” [17] Tales creencias amenazan nuestra confianza en la maestría y socavan nuestra capacidad para abordar con eficacia los problemas que enfrentamos. O, como algunos han sugerido, a los cuatro jinetes del apocalipsis —la guerra, el hambre, la peste y la muerte— podríamos agregar un quinto, la desinformación.

Claramente, siempre ha habido más información disponible de la que cualquier persona puede adquirir en su vida. Sin embargo, han sucedido dos cosas que hacen que este problema sea más pronunciado. Primero, el cuerpo de conocimiento se ha expandido de un estanque a un lago, a un océano de información que continúa creciendo exponencialmente [18,19]. En segundo lugar, desde el desarrollo de internet, el acceso público a la información es más fácil que nunca; no obstante, las capacidades humanas individuales para procesar información no se han adaptado en consecuencia. La comprensión y el conocimiento en el mundo real están limitados tanto por nuestras propias capacidades cognitivas finitas como por la complejidad del entorno, un principio que Herbert Simon llamó “racionalidad limitada” [20,21].

La consecuencia para los expertos es que son maestros de un surco de comprensión cada vez más estrecho [22]. El licenciado ya no estudia una licenciatura en biología sino

en inmunología o genética molecular. Se ha logrado la profundidad a expensas de la amplitud; no obstante, la maestría en un ámbito no es garantía de maestría en otro. Y así, como nuestro conocimiento siempre está limitado [20,23], la brecha entre el conocimiento disciplinario cada vez más especializado del experto y el del lego crece día a día. Reconocer los límites de lo que cualquier persona puede saber es fundamental para dar forma tanto a los objetivos como a los resultados de la educación.

En vista de los límites finitos de lo que puede lograr la educación, todas las sociedades se ven obligadas a repetir la antigua pregunta “¿qué conocimiento es más valioso?” [24]. El ideal imaginado por el gran educador y filósofo estadounidense John Dewey, de que es posible educar a los estudiantes para que sean completamente independientes intelectualmente, es simplemente una ilusión. Siempre dependemos del conocimiento de los demás. Más aún, la idea de que la educación puede formar pensadores críticos independientes ignora el hecho de que para pensar críticamente en cualquier área se necesita cierta maestría en ella [25,26]. Entonces, ¿cómo debe la educación preparar a los estudiantes para un contexto en el que frontarán afirmaciones de conocimiento basadas en ideas, evidencia y argumentos que no entienden?

La pregunta para el forastero competente es, ¿se puede confiar en estas afirmaciones de saber? En resumen, ¿son creíbles esta información y quienes la sostienen? La formulación de ese juicio requiere una comprensión de la ciencia como práctica social.

El enfoque actual en la educación científica se centra en el desarrollo de “iniciados marginales”, es decir, estudiantes que “se han asentado a través de un larga serie de conceptos y teorías” y que tienen un amplio conocimiento científico [27]. Si bien dicho conocimiento es valioso, con demasiada frecuencia la ciencia que afrontamos a diario se encuentra más allá de la comprensión limitada que se logra mediante la educación formal [27,28]. Por el contrario, dada la naturaleza limitada de nuestro conocimiento, a menos queelijamos convertirnos en científicos profesionales, la mayoría estamos destinados a ser extraños, al igual que lo somos para todas las profesiones menos la nuestra. La educación debería, por lo tanto, apuntar a convertirnos en “forasteros competentes” de la ciencia profesional. En tal contexto, entonces, la pregunta para el forastero competente es, ¿se puede confiar en estas afirmaciones de saber? En resumen, ¿son creíbles esta información y quienes la sostienen? La formulación de ese juicio requiere una comprensión de la ciencia como práctica social. Así es como la comunidad científica examina y escudriña las afirmaciones de conocimiento que promueven los científicos en ejercicio para garantizar que dichas afirmaciones sean confiables. Tomemos, por ejemplo, el informe del IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) sobre el cambio climático. Los forasteros competentes aceptan su veracidad porque confían en el panel de expertos que congregó este informe y no porque hayan evaluado la evidencia por sí mismos. Si se preguntara a un forastero competente cómo justificaría su creencia, se referiría al historial de las ciencias en el suministro de conocimientos confiables, la falta de sesgo perceptible, el papel de la revisión por pares y la importancia del consenso. Dichos criterios son los que el forastero competente despliega juiciosamente para llegar indirectamente a una visión informada de si las afirmaciones hechas sobre el cambio climático son confiables y fidedignas.

Si se preguntara a un forastero competente cómo justificaría su creencia, se referiría al historial de las ciencias en el suministro de conocimientos confiables, la falta de sesgo perceptible, el papel de la revisión por pares y la importancia del consenso.

En ausencia de nuestro propio conocimiento, es racional confiar en otros sobre la base de su credibilidad profesional entre sus pares. Sin embargo, al emitir juicios sobre la “maestría”, habitualmente se tiende a confiar en la reputación de la fuente, es decir, cómo percibimos nosotros y otros su estatus social [29]. En cierto sentido, esto es simplemente un atajo cognitivo eficiente. Al carecer de tiempo, tendemos a creer en quienes consideramos líderes o exitosos. Sin embargo, el éxito en un campo no es un indicador de maestría en otro.

El problema con el uso de criterios sociales como medio para juzgar a quién creer es que puede conducir a cascadas de información [29]. Esto ocurre cuando un grupo de personas

acepta una opinión sin ninguna evidencia de su validez y luego la difunde a otros, algo que las redes sociales facilitan. “Las cascadas se desarrollan porque las personas ‘compran’ opiniones... sin verificar qué compran, porque aparentemente todos en su comunidad han hecho la misma compra.” En esta situación, la gente confía en una forma de “inteligencia colectiva” que selecciona para ellos las opiniones “aceptables”. Nuestro razonamiento es que, si todos comparten esa opinión, debe haber buenas razones para creerla, incluso si no investigamos cuáles son dichas razones [29]. Los juicios de reputación y confiabilidad pueden surgir simplemente de nuestras percepciones de la fuente de la información y no de si tienen la maestría relevante. Esta tendencia puede verse reforzada por el miedo a adquirir una mala reputación por no adoptar la norma del grupo. Por ejemplo, quienes viven en comunidades en las que los medios de subsistencia dependen de los combustibles fósiles, probablemente se vean inmersos en una comunidad que cuestiona la existencia del cambio climático.

En una era de desinformación, las preguntas iniciales cuando alguien se enfrenta a cualquier afirmación de saber deben ser: ¿Se puede creer en esta fuente de información? ¿Qué evidencia hay de maestría y credibilidad? En resumen, ¿es confiable? Tal disposición debe provenir de reconocer que existen límites a lo que podemos saber y que *dependemos de la maestría* [9,10]. Por lo tanto, para evaluar la maestría no debemos preguntarnos primero si es esto cierto, sino algo muy diferente: si esta fuente es creíble. Y eso requiere una política de cautela, una postura que sepa que “cuando la mayoría de los expertos están de acuerdo, la opinión contraria no puede considerarse segura” [15]. De hecho, en el caso de la ciencia, es muy probable que sea falso.

El gran desafío radica en el hecho de que internet es un entorno de información relativamente novedoso. Puede ser peligroso no saber cómo navegar por la web ni conocer los arrecifes y rocas que podemos encontrar.

El gran desafío radica en el hecho de que internet es un entorno de información relativamente novedoso. Puede ser peligroso no saber cómo navegar por la web ni conocer los arrecifes y rocas que podemos encontrar. Los jóvenes necesitan entender los principios básicos que les permitirán evitar los peligros a los que se pueden enfrentar. Por lo tanto, la educación en medios digitales debe ser un requisito básico en todas las disciplinas para permitir que los estudiantes se orienten y naveguen por este traicionero mar de información de manera informada y competente. O, en otras palabras, si nos van a lanzar al mar, nos ayudará contar con una licencia para navegar.

El desafío más limitado, que es específico de este informe, es que gran parte de esta información contiene un elemento científico. A fin de evaluarlo, lo que el forastero competente debe entender es que para que la información científica sea creíble, debe pasar por una serie de procesos (que serán discutidos a continuación) realizados por científicos expertos y con maestría en el dominio relevante [16,30-32]. Estos procesos permiten que la información científica sea examinada desde múltiples perspectivas dentro de la comunidad, para garantizar que sea confiable. Si bien el proceso no es perfecto, elimina la mayor parte del conocimiento en el que no se puede confiar. Además, el trabajo creíble se basa en un edificio de conocimiento construido durante décadas, si no siglos. Entender cómo se establece el conocimiento en la ciencia y cómo surge el acuerdo consensuado de sus normas y estructuras institucionales es vital para establecer la confianza en la ciencia. Y si este conocimiento y esta comprensión no se desarrollan mediante la educación científica formal, ¿dónde más se adquirirán?

En resumen, los científicos y los educadores de ciencias tienen una nueva y crítica responsabilidad de garantizar que sus estudiantes estén munidos del conocimiento y las estrategias que puedan protegerlos de los vendedores de aceite de serpiente y los agentes de la duplicidad que habitan en internet. Parte de este conocimiento es de dominio general, y parte es específica de la ciencia. El desarrollo de esta comprensión ofrecería

a los estudiantes una competencia perdurable, que puede usarse independientemente del conocimiento del contenido de cualquier ciencia específica. En el contexto actual, cualquier educación científica que no explique por qué y cuándo se puede confiar en la ciencia perjudica los logros intelectuales y morales de las ciencias y perjudica a sus futuros ciudadanos [32-34]. Sin este conocimiento, las personas simplemente están a la deriva en el mar.

Entender cómo se establece el conocimiento en la ciencia y cómo surge el acuerdo consensuado de sus normas y estructuras institucionales es vital para establecer la confianza en la ciencia.

2. ¿QUÉ EVIDENCIA HAY DE QUE A LOS JÓVENES LES CUESTA EVALUAR LA INFORMACIÓN DE MANERA EFECTIVA?

Una suposición común es que los estudiantes son digitales nativos. Inmersos en la tecnología digital, los jóvenes adquieren las habilidades necesarias para utilizar la tecnología actual de manera fluida e informada. La evidencia sugiere lo contrario.

Una suposición común es que los estudiantes son digitales nativos [35,36]. Inmersos en la tecnología digital, los jóvenes adquieren las habilidades necesarias para utilizar la tecnología actual de manera fluida e informada. La evidencia sugiere lo contrario. Los jóvenes y los adultos tienen dificultades para evaluar la información [37,38]. Una encuesta nacional de 2019, de 3446 estudiantes de secundaria, reveló importantes debilidades en la capacidad de los estudiantes para evaluar la credibilidad de las fuentes en línea [38]. Por ejemplo, el 52% de los estudiantes dijo que un video de Facebook que afirmaba mostrar papeletas llenas durante las elecciones primarias demócratas de 2016 en EE.UU. (un video que provino de Rusia, un hecho fácilmente comprobado al buscar “video de fraude electoral de 2016”) constituía una “prueba sólida” de fraude electoral en EE.UU. Los autores afirman que “nueve de diez estudiantes no pudieron encontrar una razón convincente para rechazar el video” [39].

Cuando son entrevistados, los estudiantes suelen decir que basarían sus evaluaciones en la credibilidad de la fuente de información; sin embargo, en la práctica suelen ignorar las fuentes [37,40,41]. En cambio, a menudo basan sus evaluaciones en características superficiales, como la apariencia visual de un sitio web o la relevancia de la información proporcionada [42,43]. Más aún, les cuesta distinguir los anuncios o el contenido patrocinado de las noticias u otro contenido imparcial. Esto es especialmente un problema en un entorno en línea donde se puede obtener una ganancia monetaria de los anuncios integrados, y donde los proveedores de medios usan perfiles psicológicos e información personal para orientar sus visualizaciones y enlaces [2,42].

Como reveló una encuesta de 2019, los estudiantes juzgaron abrumadoramente los sitios web en función de su dominio de nivel superior (es decir, si un sitio era “punto.com” o “punto.org”), su apariencia y diseño, enlaces a otros sitios e información en la página “Acerca de” [44]. Sin embargo, la creencia predominante de que se puede confiar en un “punto.org” como fuente independiente de información es incorrecta [45]. Por ejemplo, incluso los sitios web muy unilaterales, como “answeringogenesis.org” o “911truth.org”, usan direcciones URL “punto.org”. Y, tal como señalan Wineburg y Ziv, “mientras que notables organizaciones sin fines de lucro, organizaciones civiles y grupos religiosos han adoptado el dominio, también lo han hecho una gran cantidad de malos actores”. A los estudiantes de todos los grupos demográficos les ha ido mal, por lo general asumía erróneamente que cuanto más arriba está un sitio en los resultados de búsqueda, más confiable es [37]. Rara vez los estudiantes abandonaban el sitio web original para consultar otras fuentes.

Una sociedad democrática depende del acceso a un conocimiento verdadero y confiable, y de la capacidad de distinguir el conocimiento defectuoso, incompleto o que pretende engañar de aquel en el que se puede confiar. Por lo tanto, el abismo entre la percepción pública de la competencia de los jóvenes y su desempeño real [37,46,47] representa una amenaza creciente para la sociedad, particularmente cuando prolifera la desinformación y los adultos jóvenes pasan cada vez más tiempo en dispositivos digitales.

En resumen, un conjunto abrumador de evidencias sugiere que, si bien los estudiantes son nativos digitales en su facilidad con la tecnología, siguen siendo novatos digitales en su capacidad para evaluar la credibilidad y la calidad de la información que encuentran. Pueden estar en el mar digital, pero no tienen timón, carecen de las herramientas básicas de navegación que garantizarían que no serán engañados. Y, sin cierta fluidez básica, ¿cómo pueden obtener información científica confiable que informe mejor sus acciones personales y nuestra toma de decisiones colectiva?

En resumen, un conjunto abrumador de evidencias sugiere que, si bien los estudiantes son nativos digitales en su facilidad con la tecnología, siguen siendo novatos digitales en su capacidad para evaluar la credibilidad y la calidad de la información que encuentran. Pueden estar en el mar digital, pero no tienen timón, carecen de las herramientas básicas de navegación que garantizarían que no serán engañados.

3. ¿POR QUÉ ES URGENTEMENTE PRIORITARIO QUE LOS CIENTÍFICOS Y LOS PROFESORES DE CIENCIAS DESARROLLEN LA COMPETENCIA DE LOS ESTUDIANTES PARA EVALUAR LA INFORMACIÓN?

En este punto, el lector puede preguntarse por qué la educación científica debe asumir la responsabilidad de desarrollar la alfabetización informacional y de los medios digitales en los jóvenes. ¿Es seguro que esta es la función de la educación cívica? Y de todos modos, al menos en los EE.UU., ¿no se abordan algunos de estos problemas en los Estándares de Ciencias de la Próxima Generación (NGSS)? Si bien entendemos este argumento, nuestra opinión es que el contexto ha cambiado significativamente desde que estos estándares fueron escritos, una década atrás. El desafío que la era de la desinformación plantea a la ciencia es grave; de hecho, tan grave que exige una respuesta educativa por parte de los educadores en ciencias.

¿Por qué? Porque, fundamentalmente, muchos de los problemas a los que nos enfrentamos hoy en día tienen una base científica. Por ejemplo, en 2021 la gente preguntaba:

- ¿Las mascarillas son esenciales para controlar la propagación de la COVID?
- ¿El cambio climático es el responsable de inundaciones, sequías y otros eventos extremos?
- ¿Las vacunas son efectivas?
- ¿Cuán peligrosa es la variante Omicron de COVID-19?
- ¿Cómo prevenir los incendios forestales o mitigar las inundaciones?

Y luego están las preguntas en curso, tales como: ¿la ingestión de los alimentos transgénicos es segura?, ¿cómo podemos minimizar de la mejor manera la contaminación, y ¿cómo puedo llevar un estilo de vida más respetuoso con el medio ambiente? Entonces, ¿cómo puede el no experto, que no conoce la ciencia, responder a estas preguntas? Son interrogantes en los que la comprensión de cómo la ciencia produce conocimiento confiable puede contribuir claramente a una respuesta informada y confiable. Porque a menos que los científicos, los educadores científicos y los comunicadores científicos informen a sus audiencias sobre por qué y en quién confiar, otros llenarán ese espacio..

El hecho de que la ciencia ocupe un lugar epistémico elevado queda demostrado por el hecho de que incluso los antivacunas y los negacionistas climáticos suelen encubrir su información errónea con el lenguaje de la ciencia, usándolo para poner en duda el consenso científico [16,48]. Por ejemplo, la industria de los combustibles fósiles presenta afirmaciones “científicas” sobre el cambio climático. A menudo, sembrar la duda es todo lo que se requiere para desafiar la autoridad de los hallazgos científicos, incluso cuando existe un consenso bien establecido producido por una comunidad científica grande, internacional y diversa. Entender la importancia del consenso en la ciencia requiere cierto conocimiento de cómo fue producido por los científicos, y de sus prácticas sociales. Los educadores de ciencias, por lo tanto, deben explicar por qué y cuándo se puede confiar, o no, en las afirmaciones científicas del discurso público.

El hecho de que la ciencia ocupe un lugar epistémico elevado queda demostrado por el hecho de que incluso los antivacunas y los negacionistas climáticos suelen encubrir su información errónea con el lenguaje de la ciencia.

¿Qué capacidades se necesitan? En resumen, el forastero competente necesita plantear una serie de preguntas bien definidas y comprender su significado, algo que solo sucederá si se ha enseñado a los estudiantes su importancia. La figura 1 ofrece una descripción esquemática del enfoque que, en nuestra opinión, se debe tomar para evaluar las afirmaciones científicas en internet.

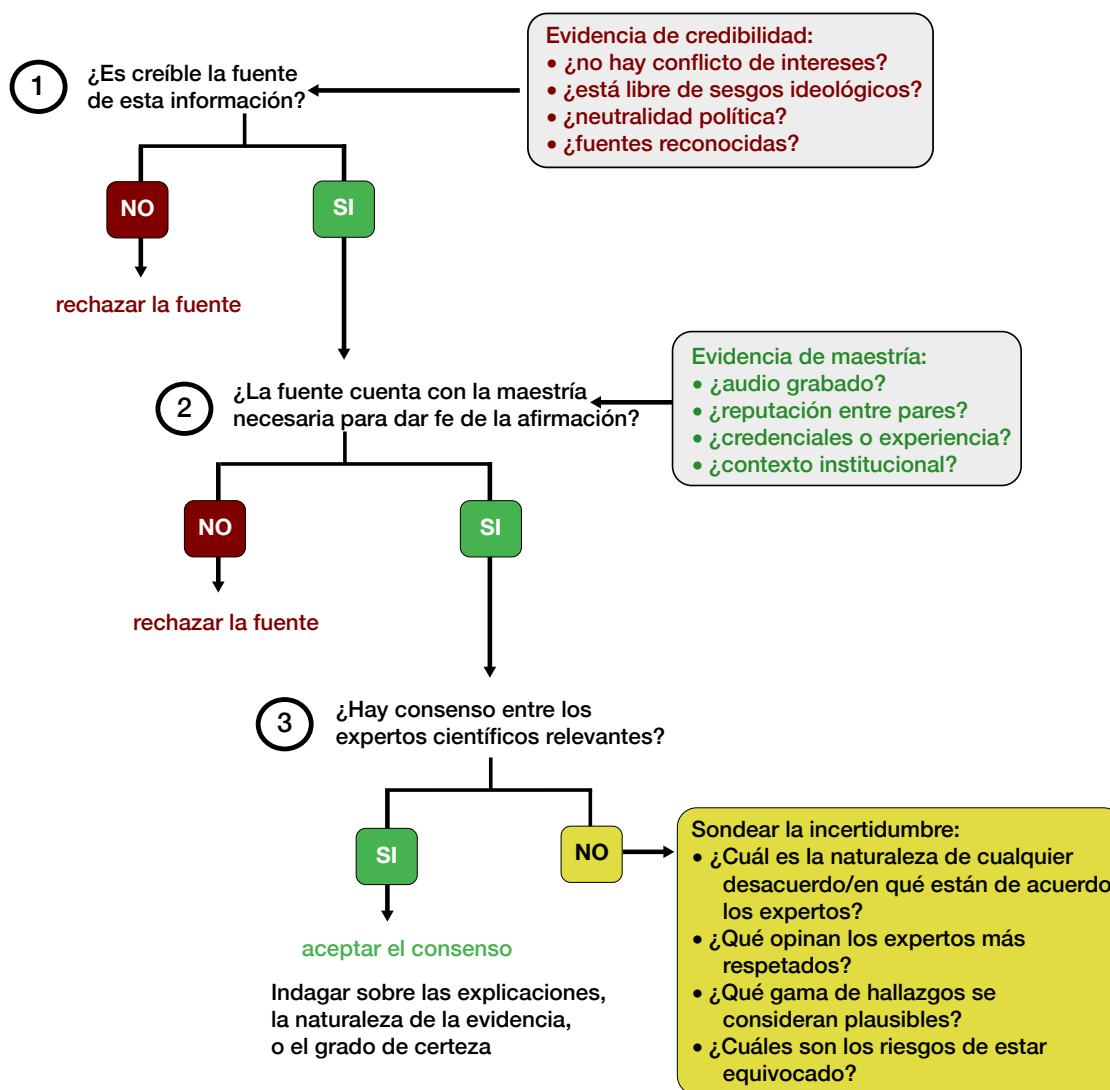


Figura 1: Un árbol de decisiones para evaluar información científica

Ante una afirmación científica desconocida, las preguntas iniciales deben ser: ¿Tiene este individuo/organización un conflicto de intereses? ¿Hay evidencias de que puedan estar motivados por intereses, económicos o políticos, creados? Si alguna respuesta es afirmativa, gran parte de la información tiene el mismo valor que un anuncio pago y debe ser considerada con un alto grado de escepticismo.

Solo cuando la investigación inicial sugiere que no existe ningún conflicto, vale la pena proseguir con las siguientes preguntas:

- ¿La persona/organización tiene la maestría pertinente?
- ¿Cuál es la posición del autor dentro de la comunidad científica?
- ¿Tienen un historial de integridad?
- ¿Tiene el autor las credenciales apropiadas u otra experiencia relevante?
- ¿Existe un fuerte consenso científico entre los expertos? Si no, ¿qué piensa la mayoría de los científicos?
- ¿Cuán segura de esas afirmaciones está la comunidad científica?
- ¿El hallazgo ha sido investigado por expertos similares, y en qué medida?

Estas preguntas son esenciales para una lectura inicial de la situación. Básicamente, ¿cuál es la naturaleza del debate? ¿Cuánto o qué poco acuerdo hay? Wikipedia es un buen lugar para empezar a obtener una respuesta en el mundo de habla inglesa. Los sitios web de las principales instituciones científicas, como las Academias Nacionales de Ciencias (www.nap.edu), y de los medios de comunicación establecidos desde hace mucho tiempo, también son fuentes confiables de información.

El enfoque de estas preguntas se centra en las *prácticas sociales a las que la comunidad científica recurre para examinar las afirmaciones de conocimiento.*

El lector debe notar que el enfoque de estas preguntas se centra en las *prácticas sociales a las que la comunidad científica recurre* para examinar las afirmaciones de conocimiento. La comprensión de las respuestas se basa en el conocimiento de la naturaleza social de la ciencia, sus normas, valores y prácticas. Sin embargo, no se suele enseñar nada de esto. Solo lo entienden los expertos (los científicos e ingenieros en ejercicio) y aun entonces, a menudo no del todo [49,50]. Si la meta consiste en desarrollar ciudadanos científicamente alfabetizados, un objetivo central de la educación científica debe ser la comprensión de cómo funcionan los mecanismos sociales en una comunidad científica para permitir la producción de conocimiento confiable [27,51,52]. Y sin embargo, este aspecto social de las ciencias está notablemente ausente de casi todos los currículos escolares de ciencias y de la educación de los estudiantes universitarios. Y si este conocimiento es tan vital para comprometerse con afirmaciones científicas y para validar la confiabilidad de los expertos, ¿dónde más se enseñará, que no sea en la escuela y en las clases de ciencias de pregrado?

Esencialmente, los estudiantes deben completar su educación obligatoria con cierta comprensión de lo siguiente: los marcadores tradicionales de maestría en ciencias; el papel de la revisión por pares; la importancia del consenso entre los científicos; la reputación de la revista, publicación o institución, ya sea gubernamental (p. ej., IPCC, CDC [Centros para el Control y Prevención de Enfermedades], NOAA [Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica]) o científica (p. ej., National Academies [Academias nacionales], Royal Society [Real Sociedad de Londres para el Avance de la Ciencia Natural], etc.).

Además, los forasteros competentes necesitan saber que la ciencia valora su compromiso con la evidencia como base de la creencia, y que este compromiso es fundamental para la confiabilidad de sus afirmaciones de saber [32,53,54]. Mientras que los errores menores son comunes en la ciencia, las estructuras sociales de la ciencia están organizadas para ponerlos en evidencia y remediarlos [55]. Sin embargo, rara vez enseñamos a los estudiantes las formas y los medios que la comunidad científica ha desarrollado para protegerse contra el error. Y nuevamente, si no se enseñan en la escuela o en la educación universitaria, ¿cómo se adquirirá esta comprensión?

El desarrollo de la capacidad de evaluar evidencias es fundamental para los científicos profesionales, y lo es menos para los forasteros externos competentes, ya que la capacidad de interpretar evidencias depende del conocimiento [26,56], y los forasteros competentes

Los forasteros competentes comúnmente carecen del conocimiento requerido para evaluar conclusiones a partir de datos sin procesar, sin que importe cuán bien puedan explicarse.

comúnmente carecen del conocimiento requerido para evaluar conclusiones a partir de datos sin procesar, sin que importe cuán bien puedan explicarse. En consecuencia, es fácil ser engañado por individuos cuyos argumentos están envueltos en el lenguaje de la ciencia. Por ejemplo, los escépticos del cambio climático argumentaban que la expansión del hielo marino en 2014 era una prueba irrefutable de que los temores sobre el cambio climático eran infundados.¹ En la superficie, la expansión del hielo marino en un ambiente cálido parece anómala; sin embargo, un examen más detenido muestra que el argumento de los escépticos adolece de dos errores: primero está la confusión entre el cambio climático (un patrón a largo plazo observado durante décadas, si no siglos) y el clima (una variación a corto plazo en las condiciones atmosféricas locales). Lo que importa es la tendencia a largo plazo, que no se ve socavada por excepciones a corto plazo.

En segundo lugar, el agua liberada por el derretimiento del hielo es agua dulce, que es menos densa que el agua de mar y, por lo tanto, flota en la superficie. Además, el agua dulce se congela a una temperatura más alta que el agua de mar y produce más hielo. La respuesta integral es compleja y los científicos aún no la entienden completamente. Sin embargo, no se puede esperar que la mayoría de los forasteros identifiquen las fallas en tales afirmaciones.

Si bien la educación científica históricamente ha desempeñado un papel en la presentación a los estudiantes de ideas científicas sobre áreas específicas, simplemente no es posible exponer todas las ideas que los jóvenes necesitarán para el resto de sus vidas

Si bien la educación científica históricamente ha desempeñado un papel en la presentación a los estudiantes de ideas científicas sobre áreas específicas, simplemente no es posible exponer todas las ideas que los jóvenes necesitarán para el resto de sus vidas [4,28,57]. Más aún, la mayoría de los temas contemporáneos relacionados con la ciencia requieren un conocimiento científico que no se enseña en las escuelas [28]. La pandemia de COVID-19, por ejemplo, requirió entender qué son los virus, cómo se transmiten, cómo se reproducen, cómo afectan al cuerpo y por qué y cómo cambian. Entender la cantidad de casos y muertes exige una comprensión del crecimiento exponencial, las representaciones logarítmicas, etc. En resumen, la ciencia escolar no puede anticipar qué tipo de conocimiento científico se requerirá para hacer frente a la próxima crisis humanitaria relacionada con la ciencia. Además, la ciencia actual (es decir, la edición de genes con técnicas como CRISPR [Repeticiones Palindrómicas Cortas Agrupadas y Regularmente Espaciadas]) simplemente no existía hace una década. Asimismo, dentro de tres décadas, ¿qué nuevos conocimientos científicos habrá que no hayan sido abordados en la educación formal?

En un contexto como éste, ¿qué conocimiento sería de valor general y duradero? Además de las principales ideas de la ciencia que enmarcan nuestra comprensión del mundo material, sostenemos que este es el conocimiento necesario para evaluar la credibilidad de una fuente; por ejemplo, el conocimiento que permite determinar si se cree en el argumento anterior contra el cambio climático o si se decide si la NASA es una autoridad científica creíble. Responder a la pregunta clave “¿se puede confiar en esta afirmación científica?” requiere la comprensión de las estructuras sociales de la ciencia. Por lo tanto, el desarrollo de esta comprensión debe ser *un componente central y fundamental de toda la educación científica* desde la cuna hasta la tumba, una característica de la educación científica formal e informal y de la comunicación científica.

Un enfoque como este falta porque los puntos de referencia actuales para la educación científica se desarrollaron para un contexto muy diferente. Actualmente vivimos en una era de información errónea y desinformación. Hasta la fecha, el enfoque común de la educación científica había sido cuáles son los conceptos básicos necesarios para convertirse en un científico profesional. Tales currículos dan preeminencia a las ideas centrales de las disciplinas. En los EE.UU., el NGSS dedica mucho tiempo a las “prácticas

¹ Para una descripción más completa, véase earthdata.nasa.gov/learn/sensing-our-planet/unexpected-ice

científicas” y la medición de los resultados basados en el desempeño, algo que vemos como una mejora notable.

Sin embargo, el enfoque sigue siendo interno a la ciencia y no centrado en lo que el forastero competente necesita saber. Si bien la práctica del NGSS de “obtener, evaluar y comunicar información” puede sugerir que aborda nuestras preocupaciones, necesita una elaboración mucho más detallada de las capacidades y el conocimiento requerido. Por ejemplo, los estándares NGSS establecen que los estudiantes deben “reunir, leer y evaluar información científica de múltiples fuentes autorizadas”, pero no especifican los principios por los cuales un estudiante debe juzgar que una fuente es “autorizada”.

Lo que importa en la ciencia es la producción de conocimiento confiable (aunque no infalible) para informar y guiar nuestra toma de decisiones y acciones [11,58]. Sin embargo, el compromiso de la ciencia de producir conocimiento confiable nunca se comunica explícitamente en la educación científica [59]. Y si la ciencia y la educación científica rara vez explican por qué se puede confiar en el conocimiento científico, ¿cómo puede ser valorado por extraños?

En resumen, el contexto cultural de los medios ha cambiado drásticamente en la última década, y lo que era adecuado para su propósito ayer es inadecuado hoy. La sociedad actual demanda que los estudiantes dispongan de las herramientas de hoy. ¿Cuáles podrían ser?

El compromiso de la ciencia de producir conocimiento confiable nunca se comunica explícitamente en la educación científica. Y si la ciencia y la educación científica rara vez explican por qué se puede confiar en el conocimiento científico, ¿cómo puede ser valorado por extraños?

4. ¿QUÉ PUEDEN HACER LOS CIENTÍFICOS Y LOS PROFESORES DE CIENCIAS A FIN DE DESARROLLAR LA COMPETENCIA PARA EVALUAR LA INFORMACIÓN Y LOS CONOCIMIENTOS CIENTÍFICOS?

Los fundamentos de los medios digitales y la alfabetización informacional

El cuadro pintado hasta ahora puede parecer sombrío. Sin embargo, tanto a los escolares como a los universitarios se les pueden enseñar estrategias para evaluar tácticas engañosas comunes e información en línea. Un grupo con sede en Stanford [39,42,44] y otro en Finlandia [60] han realizado un trabajo considerable sobre lo que podría hacerse en educación.²

Los estudios muestran que los verificadores de hechos expertos comienzan por orientarse. Se abstienen de preguntar “¿debería creerse esta información?” y, más bien, empiezan por plantear una pregunta mucho más fundamental: “¿esta fuente es creíble?”

Al desarrollar nuestras recomendaciones nos basamos, en particular, en estudios recientes en los EE.UU. [67] sobre cómo los verificadores de hechos y los periodistas profesionales evalúan la información en la web, un enfoque que también ha sido probado empíricamente con estudiantes [39,60]. Esto muestra que los verificadores de hechos expertos comienzan por orientarse. Se abstienen de preguntar “¿debería creerse esta información?” y, más bien, empiezan por plantear una pregunta mucho más fundamental: “¿esta fuente es creíble?” La primera tarea para el lector competente en línea es ubicar dónde están [68]. ¿Por qué? Porque como cualquier explorador habilidoso, los verificadores de hechos saben que cuando uno se pierde, es importante establecer su posición. Por lo tanto, la primera pregunta debe ser: “¿Quién está detrás de esta historia?” En resumen, el enfoque inicial debe centrarse en *cuestionar la fuente*, y no el contenido, su justificación o evidencia de apoyo. Asimismo, Bergstrom y West defienden tres preguntas clave: 1) ¿Quién es la fuente? 2) ¿Cómo saben esto? y 3) ¿Qué intereses tienen? [69]

Cuando se navega por un mar desconocido, la orientación es esencial. Por lo tanto, los verificadores de datos expertos suelen abandonar la página web en la que han aterrizado en 30 segundos y abren una nueva pestaña en su navegador web. Luego buscan información sobre la fuente, una estrategia conocida como “lectura lateral”. Usan sitios como Wikipedia, Sourcewatch.org y Snopes.com para evaluar, no la información presentada sino la fuente en sí misma, al abordar la cuestión de si son independientes y confiables. En el caso de la información científica, existen organizaciones científicas sólidas cuya credibilidad depende de proporcionar información científica confiable, como las Academias Nacionales, la Royal Society y los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades de EE.UU.

La pregunta crítica inicial es si la fuente es independiente, objetiva y confiable, o si presenta un conflicto de intereses o un sesgo ideológico o político particular. Solo cuando se ha establecido la credibilidad de la fuente, los verificadores de datos expertos regresan a la página misma. Los estudiantes no capacitados, por el contrario, generalmente se quedan en la página e intentan evaluarla, o deambulan por otras fuentes sobre el mismo tema, que a menudo son singularmente inútiles [42]. La lectura lateral es, por lo tanto, una herramienta

² Además, se ha llevado a cabo un trabajo considerable con intervenciones de ciencias del comportamiento para abordar la desinformación. Esto incluye (pero no se limita a) “empujones de precisión” [61]; “inoculación” [6, 62–63]; “fricción” [64]; “consejos para la alfabetización digital” [65]; y “desacreditación” [66].

Los verificadores de datos experimentados no solo sospechan de la fuente, sino que también tienen una orientación crítica hacia los resultados de la búsqueda. En particular, escanean la página de resultados y decodifican los fragmentos de información allí antes de decidir cuál podría valer la pena seguir.

básica, esencial, para determinar la credibilidad para el forastero competente.

Otra estrategia es la “restricción de clics”. Los verificadores de datos experimentados no solo sospechan de la fuente, sino que también tienen una orientación crítica hacia los resultados de la búsqueda. En particular, escanean la página de resultados y decodifican los fragmentos de información allí antes de decidir cuál podría valer la pena seguir. Por lo general, no buscan los mejores resultados, sino que se detienen para considerar cuáles parecen brindar la información deseada antes de continuar.

La restricción de clics no puede ser evaluada por dos razones. En primer lugar, los resultados de cualquier búsqueda dependen en gran medida de los términos. La búsqueda de “cambio climático verdadero” produce un conjunto de resultados muy diferente a la búsqueda de “cambio climático falso”. La información que aparece primero a menudo no es la más destacada y, además, con frecuencia es paga. En segundo lugar, el orden de los resultados puede estar sesgado. Por lo general, las fuentes pagas aparecerán primero. Más sutilmente, el algoritmo de búsqueda puede manipularse mediante una elección cuidadosa de la terminología o mediante estadísticas de volumen infladas artificialmente. Por lo tanto, los mejores resultados a menudo no son los más relevantes ni los más informativos. Por ello, la restricción de clics no solo proporciona una mejor información, sino que también es muy eficiente para minimizar la cantidad de tiempo en el que el usuario se pierde en el mar.

En particular, los enfoques de los verificadores de hechos profesionales difieren significativamente de muchos enfoques de alfabetización informacional y medios digitales comúnmente defendidos, que ofrecen listas de verificación para evaluar las fuentes. Como han demostrado los investigadores, tales listas de verificación, por ejemplo, la denominada CRAAP (actualidad, relevancia, autoridad, precisión, propósito), no ayudan a exponer el engaño o la duplicidad. ¿Por qué? Porque no preguntan principalmente sobre la credibilidad de la fuente. Más bien, ponen demasiado énfasis en la capacidad de un individuo para analizar el contenido o el argumento. No reconocen adecuadamente la naturaleza limitada de la racionalidad humana y la importancia de verificar primero la credibilidad de la fuente. El resultado es que la mayoría de la gente no se da cuenta de que el argumento en sí era erróneo y de que estaban siendo engañados [70].

Por el contrario, las estrategias de los verificadores de hechos son similares a las rutinas que han mejorado el rendimiento en un amplio espectro de campos [71] (por ejemplo, pilotar un avión o realizar procedimientos quirúrgicos). Estos clasifican las decisiones en orden de importancia en una serie que se desarrolla lógicamente y que ofrece una salida potencial en cada punto [72]. Si queremos mejorar los medios digitales y la alfabetización informacional, la adquisición de las rutinas básicas de los verificadores de hechos profesionales debe convertirse en un elemento esencial de toda la educación formal, desde el jardín de infancia hasta la universidad. Estas herramientas sencillas establecerán una rutina para los estudiantes acerca de las primeras preguntas que deben plantearse para establecer la credibilidad. Todos los estudiantes (y, para este caso, todos los adultos) necesitan tales rutinas de verificación de hechos para evaluar cualquier información nueva que se cruce en su camino (para un ejemplo, véase la figura 1).

Los lectores en línea también se beneficiarán de una comprensión básica de cómo se estructura internet, incluido cómo se organiza una SERP (página de resultados del motor de búsqueda) y cómo decodificar las convenciones de Google (como los tres puntos verticales junto a una URL que muestran dónde y de cuán profundo proviene el resultado). Y, que la mayoría de los sitios web están configurados por decisiones algorítmicas que influyen en lo que ven las personas, en función de los datos sobre el lector [2,70].

Lo que es más importante, todo este conocimiento sobre cómo interactuar críticamente con la información digital debe enseñarse explícitamente y adquirirse como un hábito arraigado desde el segundo grado en adelante. Así como no se puede aprender a tocar el piano en una hora, tampoco se puede adquirir tal competencia en una sola lección.

Lo que es más importante, todo este conocimiento sobre cómo interactuar críticamente con la información digital debe enseñarse explícitamente y adquirirse como un hábito arraigado desde el segundo grado en adelante. Así como no se puede aprender a tocar el piano en una hora, tampoco se puede adquirir tal competencia en una sola lección. Los medios digitales y la alfabetización informacional deben enseñarse y practicarse hasta que se vuelvan tan naturales como andar en bicicleta. Este es el enfoque adoptado en Finlandia al desarrollar un plan de estudios coherente para educar a sus jóvenes desde el jardín de infancia hasta el final de la escuela secundaria [60]. La investigación ha demostrado que incluso seis horas de capacitación en estas técnicas de verificación de hechos pueden mejorar significativamente el rendimiento [73]

Las prácticas sociales de la ciencia

Los planes de estudios actuales no son adecuados para los desafíos que planteamos aquí. Incluso si la “alfabetización científica para todos” se aborda adecuadamente en los planes de estudio actuales, ninguno ha sido escrito para abordar los desafíos planteados por esta era de desinformación, teorías de conspiración y ataques a la ciencia legítima. ¿Qué conocimientos, entonces, se requieren para esta tarea?

Los indicadores de maestría en ciencias

Si no existe un conflicto de intereses aparente en una fuente o una evidencia de sesgo, el forastero competente debe establecer si dicha fuente cuenta con la maestría relevante. La ciencia no es una especie de democracia donde, en aras del equilibrio, ambos lados de un argumento tienen la misma voz. Más bien, el forastero competente se ve obligado a confiar en los expertos. Quienes carecen de la maestría relevante, independientemente de su estatus social o reputación, simplemente no tienen la posición para hablar en nombre de la ciencia. Pero, ¿en qué consiste la maestría, o la maestría relevante?

La investigación indica que incluso las personas bien instruidas en las formas tradicionales de pensamiento crítico no son competentes en la evaluación de fuentes para su maestría [74,75]. En el caso de cualquier afirmación científica, una pregunta crucial es: “¿Este individuo es un experto reconocido en el campo?” Al elegir un abogado, un plomero o un arquitecto, buscamos evidencias de maestría: la certificación, las licencias profesionales o las recomendaciones que nos llevarán a confiar en la calidad de su juicio. Pero, ¿cómo se juzga la maestría de un científico? La respuesta es que los criterios apropiados se asemejan a los de otros expertos, es decir, los juicios de otros expertos relevantes, su historial anterior de trabajo en el campo, junto con la conciencia de los posibles sesgos e intereses [11,76]. Las preguntas que se deben plantear son:

Pero, ¿cómo se juzga la pericia de un científico? La respuesta es que los criterios apropiados se asemejan a los de otros expertos, es decir, los juicios de otros expertos relevantes, su historial anterior de trabajo en el campo, junto con la conciencia de los posibles sesgos e intereses.

1. ¿Cuál es su trayectoria y, en concreto, su historial de publicaciones en la materia?
2. ¿Tienen una posición dentro de su campo? Por ejemplo, ¿son miembros de un organismo científico reconocido o han ganado un premio por su trabajo científico? Cada grupo profesional tiene organismos de control, juntas y autoridades de certificación que supervisan a sus propios miembros para cerciorarse de que cumplan con los estándares de la profesión y garantizar que estén calificados para ejercerla.
3. ¿Qué calificaciones tienen? ¿Un doctorado en ese campo? ¿O tienen otra experiencia relevante, más allá de las credenciales formales?

4. ¿Dónde trabajan? ¿Para un organismo científico reconocido o una institución de investigación?
5. ¿Hay alguna evidencia de posible sesgo o interés pecuniario?

Convertirse en un científico en ejercicio requiere años de formación, por lo general, un título universitario como mínimo y, para la mayoría, un doctorado. Incluso un doctorado solo marca el conocimiento especializado de un campo muy pequeño, que no es fácilmente transferible. La maestría también se puede adquirir a partir de la formación profesional en ciencias o de la experiencia en la realización de trabajos calificados en ciertos contextos, como las enfermeras y parteras que trabajan con pacientes, los conocimientos de los agricultores sobre el medio ambiente o la comprensión de los pescadores de las prácticas sostenibles. Aquellos que carecen de algún tipo de maestría no merecen tener la misma voz en un debate.

Sin embargo, ser un científico en ejercicio no es suficiente. El individuo debe ser un científico practicante *en el campo relevante*. Ser ganador del premio Nobel en un campo no convierte en un experto en otros. No obstante, las personas pueden agrupar fácilmente a todos los científicos como “autoridades” indiferenciadas. Un especialista en radiología no es alguien a quien se le pediría consejo sobre virus.³ Ser un científico en un campo de la ciencia no nos convierte en expertos en todos los campos de la ciencia. Un cosmólogo teórico no sabe más sobre ecología que cualquier otro forastero competente. Sin embargo, los críticos de la ciencia a menudo convocan a un experto en un campo científico para desafiar el consenso científico en otro campo, generalmente utilizando evidencias dudosas o manipuladas estadísticamente.

Por ejemplo, la industria tabacalera reclutó a algunos físicos —famosos veteranos de la investigación de la bomba atómica— para cuestionar la asociación entre el fumar y el cáncer; más tarde estuvieron al servicio de la industria petrolera al dudar públicamente del vínculo entre la quema de combustibles fósiles y el cambio climático, y, finalmente, plantearon desafíos similares al papel de los fluorocarbonos en el agotamiento del ozono y al papel de la quema de carbón cargado de azufre en la producción de lluvia ácida. En ninguno de estos casos tenían maestría, publicaciones ni programa de investigación en los campos relevantes. Nada de lo que afirmaron fue respaldado por quienes eran expertos en esos campos; sin embargo, para el ingenuo no experto, que comúnmente considera a todos los científicos como un solo bloque, esta práctica engañosa de los medios sembró semillas de duda que confieren legitimidad a tales afirmaciones espurias. Una estrategia similar ha sido, y continúa siendo, extremadamente eficaz para obstaculizar las acciones destinadas a proteger el medio ambiente y la salud pública [48,77]. El forastero competente tiene que entender que no todos los científicos son iguales. Asuntos relevantes de pericia.

Si bien los criterios necesarios para responder las cinco preguntas anteriores pueden parecer obvios para muchos lectores, no lo son para los estudiantes que han recibido poca o ninguna educación sobre las normas y valores sociales que dan derecho a las personas a reclamar el estatus de expertos calificados en ciencias. En resumen, las medidas apropiadas de credibilidad (frente a la mera reputación) no son evidentes por sí mismas y deben enseñarse explícitamente en el contexto de la educación científica, porque ¿dónde más se hará?

¿Cómo puede esperar la comunidad científica que se confíe en ella si no pide a sus profesores que expliquen qué justifica las reclamaciones de la ciencia a las autoridades?

³ Un buen ejemplo de esto ocurrió recientemente cuando el Dr. Scott Atlas, un experto en radiología, reivindicó la experiencia para asesorar al presidente Trump sobre cómo lidiar con la Covid-19 y promovió ideas que diferían mucho del consenso científico.

Sin embargo, ser un científico en ejercicio no es suficiente. El individuo debe ser un científico practicante *en el campo relevante* ... Sin embargo, los críticos de la ciencia a menudo convocan a un experto en un campo científico para desafiar el consenso científico en otro campo.

¿Cómo puede esperarse la comunidad científica que se confíe en ella si no pide a sus profesores que expliquen qué justifica las reclamaciones de la ciencia a las autoridades?

Esto no quiere decir que los expertos no deban ser cuestionados. Más bien, la comprensión de quién puede afirmar legítimamente que es un experto es un requisito previo vital para evaluar cualquier afirmación científica. El mero uso del lenguaje de la ciencia, u otros símbolos culturales de ella, como batas blancas de laboratorio, gráficos y jerga específica, no garantiza la atribución de maestría y no es suficiente para justificar la creencia.

Cómo produce la ciencia conocimiento confiable

El forastero competente necesita entender cómo una comunidad de científicos, no un solo científico o laboratorio, llega a conclusiones confiables. Tal comprensión requiere un conocimiento de las prácticas sociales que forman parte integral del trabajo de construcción del conocimiento de la ciencia.

El estereotipo de un científico solitario en un laboratorio, que sigue diligentemente los pasos prescritos del “método científico” y llega a una verdad en un momento explosivo, similar a un eureka, es muy engañoso [78]. Además, no existe un método científico singular, a menudo concebido como una especie de procedimiento casi algorítmico para construir nuevos conocimientos. La racionalidad de la ciencia está asegurada por un compromiso fundamental con la evidencia empírica y por inferencias extraídas de ella [54,78]. Para lograr sus objetivos, las ciencias han desarrollado una caja de herramientas que incluye muchos estilos de razonamiento, combinados con formas específicas de protegerse contra el error permanente [55,80,81].

Los NGSS exigen a los estudiantes que participen en prácticas científicas que requieren razonamiento científico y evidencia, como diseñar experimentos, argumentar a partir de evidencias y desarrollar modelos. Sin embargo, esto no es suficiente. No existe “un andamiaje para llevar a los estudiantes de prácticas individuales aisladas” a una comprensión de “las prácticas sociales e institucionales de las diversas comunidades”, que forman la base de nuestra confianza en la ciencia [82].

Contrariamente a la imagen estereotipada, se trata de *un conjunto de prácticas sociales* que es fundamental para transformar una afirmación científica tentativa en un hecho generalmente aceptado y sin problemas [83]. En definitiva, es la crítica recíproca, la detección del error y la resolución de los desacuerdos a través de la investigación, la comunicación y la publicación permanentes, junto con otras prácticas para construir un consenso pactado.

Además de ello, se necesita cierta conciencia de las capacidades y los límites de la ciencia. La incertidumbre es intrínseca a las ciencias y aparece de muchas formas. Los ciudadanos y los jóvenes necesitan cierta comprensión de cómo la incertidumbre limita las afirmaciones de saber de la ciencia y cómo afrontarla.

Lo que se puede esperar que sepa el forastero competente sobre el consenso científico, el papel de la revisión por pares, la naturaleza de la incertidumbre y sus implicaciones son tres cuestiones que abordaremos a continuación.

El consenso científico

El objetivo de la ciencia es el consenso, que se logra cuando la respuesta a una pregunta empírica está tan universalmente acordada que ya no es de gran interés para investigar, y ese campo ha avanzado. La mayoría de los libros de texto escolares de ciencias tratan sobre conocimientos de esta naturaleza, que son inequívocos, incuestionados e incuestionables [83,84]. Por el contrario, la ciencia en proceso es exactamente lo contrario, ya que se

Sin ni siquiera una pizca de la diferencia entre la ciencia bien establecida y acordada por consenso y la ciencia contemporánea de vanguardia, ¿es sorprendente que la educación formal en ciencias deje a las personas desconcertadas y confundidas cuando la ciencia no puede proporcionar respuestas autorizadas?

trata de un conocimiento equívoco y cuestionable, propuesto por expertos que pueden legítimamente estar en desacuerdo, a veces en público. La resolución requiere tiempo, más investigación y múltiples estudios antes de que surja un consenso. Sin ni siquiera una pizca de la diferencia entre la ciencia bien establecida y acordada por consenso (la sustancia de la educación científica formal) y la ciencia contemporánea de vanguardia (ciencia en proceso), ¿es sorprendente que la educación formal en ciencias deje a las personas desconcertadas y confundidas, o incluso enojadas, cuando la ciencia no puede proporcionar respuestas autorizadas?

Los ciudadanos afrontan a menudo la necesidad de información para la toma de decisiones y la acción, en las que la ciencia puede ser incierta (por ejemplo, si una nueva variante de virus es una amenaza mayor que las variantes anteriores). En tales contextos, la primera pregunta esencial es: “¿Existe un consenso, o un consenso emergente, sobre este tema?” En el caso del cambio climático, la evolución o el origen del universo, la respuesta es un inequívoco “sí”; en el caso de las amenazas planteadas por nuevas variantes de virus o los efectos a largo plazo de nuevos tratamientos médicos, la respuesta es menos segura y más equívoca. No es sorprendente que las personas estén confundidas. Y, sin ningún sensación de los criterios necesarios para emitir un juicio, el desafío se capta con elocuencia en la declaración de un individuo que dice: “Busqué en internet, había 500 opiniones diferentes, simplemente no sabía en quién confiar. Me asusté y apagué.” [85]

La importancia del consenso científico se puede ver en los esfuerzos por confundirlo en los medios públicos. Un método es sembrar “semillas de duda” (como se mencionó anteriormente), otro es generar la impresión de que existe otro consenso. En este sentido, se reunieron largas listas de firmas contra el hecho del cambio climático, por ejemplo, la Declaración de Leipzig y el Protocolo de Oregón, para convencer al público de que había un consenso “alternativo”, listas que fueron desacreditadas como llenas de no expertos y personas con conflictos de intereses. Irónicamente, tales intentos reconocen la autoridad epistémica adjunta al consenso para establecer afirmaciones en la medida en que los detractores están listos para promover y organizar un falso consenso. El forastero competente debe estar prevenido, debe ser advertido y entender que solo importa un consenso de expertos relevantes.

Si no hay consenso, la posición legítima es dudar de cualquiera que se atribuya el saber. Sin embargo, si la evidencia es inequívoca y el consenso entre quienes afirman legítimamente ser expertos es abrumador, cualquier cuestionamiento de este tipo debe ser considerado con sospecha [15]. El consenso científico no es una especie de pensamiento grupal, un engaño masivo de expertos; ha sido establecido por un extenso, cuidadoso y minucioso trabajo empírico que ha sido examinado críticamente en todas las etapas. Si bien la ciencia en desarrollo siempre está abierta a cuestionamientos, una sola voz no tiene el mismo peso que la abrumadora mayoría. No todas las voces son iguales. Los profesores de ciencias están, por lo tanto, plenamente justificados para defender la ciencia establecida y el hecho aceptado, a pesar de cualquier afirmación en contrario en los medios o en línea. De hecho, deberían verlo como una parte esencial de su función. Después de todo, los profesores de ciencias hablan por la ciencia y no es aceptable que enseñen diseño inteligente o negación climática [86].

Además, frente a cualquier cuestionamiento del consenso científico, las preguntas que surgen no son solo “¿quién habla?” sino también “¿para quién hablan?”, ¿representan intereses comerciales, políticos o ideológicos?, ¿se beneficiarán al expresar ciertas afirmaciones sobre la ciencia y su consenso?

Nuestra opinión es que la educación científica tiene la responsabilidad fundamental de

El consenso científico no es una especie de pensamiento grupal, un engaño masivo de expertos; ha sido establecido por un extenso, cuidadoso y minucioso trabajo empírico que ha sido examinado críticamente en todas las etapas.

desarrollar una comprensión de los mecanismos y prácticas sociales de la ciencia para *resolver los desacuerdos* y lograr su objetivo de consenso; ya no se puede justificar la falta de tratamiento de este problema. Tal omisión no solo falla a la ciencia sino que también falla a nuestros futuros ciudadanos. Por lo tanto, lo mínimo que se requiere de cualquier educación científica formal es cierta comprensión de la importancia del papel del consenso en la ciencia para establecer nuestra confianza.

Revisión por pares

La ciencia es fundamentalmente una empresa social y colaborativa cuyo objetivo común es la construcción de creencias verdaderas y justificadas sobre el mundo material y viviente. El proceso de revisión por pares, en el que las nuevas afirmaciones de saber son examinadas por pares que también son expertos en el mismo ámbito de la ciencia, proporciona un control importante, entre muchos otros, contra errores persistentes.

En sentido estricto, el término “revisión por pares” se refiere al proceso mediante el cual los expertos evalúan los informes escritos a fin de determinar su idoneidad para su publicación en revistas académicas, actas de congresos o libros. Esta comprensión básica se refleja en la declaración del juez Jones en el caso *Kitzmiller vs. Dover School Board*, sobre la enseñanza del diseño inteligente:

La revisión por pares ayuda a garantizar que los trabajos de investigación sean científicamente precisos, cumplan con los estándares de los métodos científicos y sean relevantes para otros científicos en ese ámbito. Además, la revisión por pares involucra a científicos que envían un manuscrito a una revista científica en esa área, editores de revistas que solicitan revisiones críticas de otros expertos en el área y deciden si el científico ha seguido correctamente los procedimientos de investigación, ha empleado métodos actualizados, ha considerado y citado literatura relevante y, en general, si el investigador ha empleado ciencia sólida [87].

El proceso de revisión lleva tiempo y los revisores normalmente evalúan los manuscritos utilizando un conjunto de criterios ampliamente reconocidos:

- ¿El trabajo es metodológicamente sólido?
- ¿Las conclusiones están justificadas por los datos presentados?
- ¿El estudio constituye una contribución original al conocimiento?
- ¿Los hallazgos son suficientemente significativos para merecer el tiempo y la atención de los editores y lectores?

Sin embargo, esta visión de la revisión por pares es demasiado limitada y demasiado simplista. El proceso de revisión por pares no está destinado a detectar todos los errores lógicos o metodológicos en un estudio científico, y mucho menos a detectar fraudes deliberados. Los revisores pares no intentan replicar los experimentos ni tampoco los análisis estadísticos descriptivos. Más bien, se considera que el trabajo de los autores ha sido realizado de buena fe por personas con la habilidad adecuada para llevar a cabo los procedimientos correctamente. La revisión por pares como tal no puede ser una garantía de corrección. Al situar el trabajo en el contexto de otra investigación, simplemente se enriquece el conjunto de trabajos publicados considerados competentes y como una contribución al conocimiento, por pequeña que sea. Tampoco son de igual importancia los hallazgos de todas las publicaciones revisadas por pares. El artículo de Crick y Watson

En sentido estricto, el término “revisión por pares” se refiere al proceso mediante el cual los expertos evalúan los informes escritos a fin de determinar su idoneidad para su publicación en revistas académicas, actas de congresos o libros.

sobre el ADN, el de Mary-Claire King sobre la base genética del cáncer de mama, o el de Jennifer Doudna y Emmanuelle Charpentier sobre CRISPR, por ejemplo, tienen mucha más importancia que el 99 % de los artículos que se publican semanalmente, incluso en una revista. como *Science*.

Si bien el proceso de revisión del manuscrito antes de su publicación es importante, hay un sentido mucho más amplio en el que la ciencia se basa en la revisión por pares. Los científicos empiezan a examinar el trabajo de los demás mucho antes de que un manuscrito sea enviado a una revista y continúan haciéndolo mucho después de la publicación. La mayor parte de la financiación de la investigación se asigna a través de la revisión por pares de propuestas de subvenciones competitivas. Los pares critican el trabajo de los demás en las primeras etapas de desarrollo: en encuentros científicos; compartiendo borradores de documentos a través de redes informales de comunicación; y en respuesta a documentos de trabajo o preimpresiones publicados en repositorios en línea como *arXiv*, *bioRxiv* y *medRxiv*. Los científicos también revisan y discuten el trabajo de los demás después de que se hayan publicado los informes, ya sea en persona, por correspondencia, en metaanálisis de la investigación sobre un tema determinado, o en plataformas sociales y en línea, como *pubPeer*, que han sido diseñadas específicamente para este propósito. Dicha verificación permite una evaluación más exhaustiva a través de la crítica de los pares en todas las etapas del proceso, lo que permite la objetividad al exponer errores de ejecución y sesgos en la interpretación [88].

Debido a que la revisión por pares antes de la publicación es solo una verificación parcial de la validez de los hallazgos de la investigación, los científicos confían en la naturaleza comunitaria y colaborativa de la investigación científica para establecer la confiabilidad de los hallazgos; eso es *la revisión por pares en el sentido más amplio*.

Debido a que la revisión por pares antes de la publicación es solo una verificación parcial de la validez de los hallazgos de la investigación, los científicos confían en la naturaleza comunitaria y colaborativa de la investigación científica para establecer la confiabilidad de los hallazgos; eso es *la revisión por pares en el sentido más amplio*. Además, una sola afirmación individual rara vez es suficiente. Se necesitan estudios posteriores, a menudo utilizando diferentes métodos, para confirmar conclusiones novedosas o para mostrar cómo otros pueden construir productivamente sobre nuevos hallazgos. La replicación independiente realizada por otros científicos indica que los mismos métodos producirán consistentemente los mismos resultados, otra ocasión para detectar errores. La necesidad de verificar el trabajo de los demás ha llevado a muchos a abogar por un intercambio de datos más abierto y por la publicación previa de métodos y estándares de análisis. En resumen, la ciencia se beneficia del examen crítico organizado por pares. De esta manera, la comunidad trabaja para desarrollar prácticas que ayuden a exponer sesgos y corregir errores a corto plazo. Sólo entonces es posible construir un conocimiento en el que se pueda confiar con creciente certeza..

Construir un consenso lleva tiempo. En 1989, Pons y Fleischman aparecieron en los titulares con notables afirmaciones sobre un “descubrimiento” de la fusión fría. La creencia se disparó cuando otros investigadores informaron que habían repetido con éxito sus hallazgos. Sin embargo, en unos pocos meses, un equipo de investigadores con la maestría adecuada demostró cómo fallas críticas en los métodos habían llevado a resultados engañosos. La revisión por pares (en su sentido más amplio) y la investigación posterior expusieron los errores.

Si bien el proceso puede ser complejo, la idea básica de verificación cruzada, o de controles y contrapesos, se comprende fácilmente, y esto es lo que debe enseñarse en la educación científica. La ciencia no se trata solo de lógica abstracta, argumentación y experimentación; un elemento esencial es también la interacción social que permite el discurso y la crítica entre muchos expertos con múltiples perspectivas.

Por lo tanto, dado el papel crucial de la revisión por pares (en su sentido más amplio) para establecer la confianza en la ciencia, no se puede permitir que se adquiera *a la ligera* ... enseñar sobre ella debe convertirse en un elemento esencial de cualquier educación científica formal.

Por lo tanto, dado el papel crucial de la revisión por pares (en su sentido más amplio) para establecer la confianza en la ciencia, no se puede permitir que se adquiera *a la ligera* una comprensión que solo pueden adquirir quienes se convierten en científicos en ejercicio. Más bien, enseñar sobre ella debe convertirse en un elemento esencial de cualquier educación científica formal. Un público informado necesita una apreciación más profunda de cómo los procesos sociales dentro de la ciencia contribuyen a un conocimiento en el que se puede confiar más allá de los límites de la comunidad de expertos.

Lidiar con la incertidumbre

¿Qué pasa si no hay consenso científico? ¿Entonces qué?

La ciencia a nivel escolar y superior ocupa el paisaje de la ciencia asentada [89,90]. Sin embargo, la incertidumbre impregna el desarrollo del conocimiento científico en casi todas sus etapas: desde identificar brechas importantes en nuestro conocimiento existente hasta imaginar posibles hipótesis explicativas; identificar variables experimentales y controles relevantes; realizar análisis estadísticos apropiados; y finalmente, cómo comunicar los hallazgos a la comunidad científica y al público.

Gran parte de la ciencia relevante para las políticas es ciencia en proceso de desarrollo. La ciencia en proceso ocupa un paisaje diferente de hipótesis tentativas pero viables, donde los hallazgos pueden ser discutidos y donde todas las afirmaciones de saber están circunscritas por tantos modificadores como sean posibles o probables. Los detractores de la ciencia capitalizan esta diferencia y el fracaso de la ciencia para estar a la altura del ideal mítico perpetrado por la educación científica formal. Por ejemplo, en una estrategia generalizada, establecen expectativas imposibles al “exigir estándares de certeza poco realistas antes de actuar sobre la ciencia” [91]. El uso de declaraciones engañosas como “si los científicos ni siquiera pueden predecir el estado del tiempo la próxima semana, ¿cómo pueden predecir el clima en 100 años?” incitan a la duda al implicar que solo se puede confiar en la ciencia que opera con un 100% de certeza. Este estándar imposible erosiona la autoridad cultural de la ciencia, aun cuando esté respaldado por un consenso de expertos [92].

Dado que cualquier conocimiento del mundo material solo puede sostenerse con un grado de confianza, en una era de desinformación, una comprensión básica de la incertidumbre es un requisito fundamental intrínseco. Formular predicciones o juicios sobre la base de un conocimiento tan limitado implica necesariamente un riesgo. Esto no significa que no se pueda confiar en el conocimiento científico, sino que la incertidumbre es algo con lo que los científicos han aprendido a convivir mediante el desarrollo de herramientas para limitar la incertidumbre inherente a los hallazgos empíricos.

Reconocer la incertidumbre marca un cambio importante en nuestro enfoque del conocimiento científico, desde un requisito de certeza inequívoca hasta otro que sea lo suficientemente preciso [53]. Los científicos reconocen los diversos grados de confianza en su conocimiento, que van desde completamente desconocido (sin evidencia concluyente) hasta un consenso de expertos (basado en evidencias acumuladas, métodos múltiples, investigación desde numerosas perspectivas teóricas, etc.). Incluso entonces, puede persistir cierta incertidumbre. Los datos limitados solo pueden proporcionar cierta precisión. Es posible que no se disponga de tecnologías o métodos para recopilar las observaciones que idealmente podrían responder a nuestras preguntas. Explicaciones alternativas o inimaginables pueden estar al acecho inesperadamente, a la vuelta de la esquina. Sin embargo, tales límites no amenazan la importancia de un consenso. El acuerdo mutuo de expertos relevantes es el mejor criterio de confianza disponible para nosotros, aun si

incluye calificaciones, advertencias o incógnitas. Una vez más, diversos proveedores de información errónea se esfuerzan por descartar las afirmaciones científicas, basándose en la creencia ingenua de que, a menos que exista una certeza absoluta, solo se puede dudar de dichas afirmaciones. En resumen, intentan falsamente, a menudo con éxito, aprovechar los límites de la ciencia para un escepticismo injustificado. Los estudiantes deben entender lo suficiente sobre la naturaleza de la ciencia y la incertidumbre para descartar la imagen idealizada y poco realista de una ciencia infalible y absolutamente cierta.

Por lo tanto, los intentos de utilizar la incertidumbre inherente a la ciencia y las mediciones empíricas para generar dudas son simplemente falsos. Por ello, la pregunta correcta no es si la ciencia es correcta, sino “¿cuán seguros podemos estar de estas predicciones?” Solo así podremos evaluar el grado de riesgo.

Las escuelas aún dedican muy poco tiempo a enseñar a los estudiantes la ciencia de la incertidumbre y cómo se aborda.

Las escuelas aún dedican muy poco tiempo a enseñar a los estudiantes la ciencia de la incertidumbre y cómo se aborda, es decir: cómo abordar y entender los resultados científicos expresados en formas numéricas o probabilísticas, la importancia del uso de estudios múltiples y cómo tomar decisiones informadas basadas en información limitada. En un mundo ideal, el pensamiento estadístico y la alfabetización del riesgo se convertirían en un curso obligatorio propio; en el mundo real, la educación científica debe dar un paso al frente.

Un desafío para la educación científica formal es que los datos que los estudiantes comúnmente recolectan suelen ser elegidos porque ejemplifican relaciones lineales simples, como la Ley de Hooke, la Ley de Ohm o tabulaciones cruzadas simples (por ejemplo, genética mendeliana). Se puede confiar en estos fenómenos para producir conjuntos de datos predecibles con pocas o ninguna anomalía. Sin embargo, en la ciencia real, los datos son confusos y la detección de señales a partir de ruido requiere una maestría metodológica considerable.

Se puede ver la incertidumbre en un gráfico simple de la frecuencia respiratoria contra la frecuencia del pulso recopilada antes, durante y después del ejercicio, en los intentos de medir la longitud y el ancho de una hoja de papel o el punto de ebullición del agua, y en muchos otros conjuntos de datos simples.

Y, sin embargo, no hay dificultad en la exploración de la incertidumbre. Se la puede ver en un gráfico simple de la frecuencia respiratoria contra la frecuencia del pulso recopilada antes, durante y después del ejercicio [94], en los intentos de medir la longitud y el ancho de una hoja de papel o el punto de ebullición del agua, y en muchos otros conjuntos de datos simples. Por ejemplo, como señalan Collins y Pinch, cuando se les pide que determinen el punto de ebullición del agua, una actividad de poco valor ya que todos saben la respuesta (o, si no, pueden buscarla en un instante), “casi nadie llegará a 100°C”. Entonces, en lugar de intentar convencer a los estudiantes de que habrían obtenido el resultado “perfecto” si “no fuera por algunas dificultades locales que no afectan al mundo adulto de la ciencia y la tecnología, con su personal totalmente capacitado y su aparato perfeccionado”, un enfoque mucho más honesto sería preguntar a los estudiantes cómo sería posible lidiar con la incertidumbre que existe en sus datos [95,96].

Además, internet brinda ahora acceso a una variedad de conjuntos de datos que muestran incertidumbre y, lo que es aún más importante, las herramientas para explorar las relaciones y los patrones que podrían existir. Por lo tanto, simplemente no hay excusa para que la incertidumbre no se convierta en una característica destacada de la educación científica. Entonces, ¿qué tipos de incertidumbre fácilmente abordables en la educación científica podrían ayudar a los adultos a convivir más cómodamente con la incertidumbre que produce la ciencia?

La estadística y la teoría de la probabilidad

La ciencia moderna se basa en herramientas que le permiten abordar matemáticamente la incertidumbre mediante la aplicación de reglas de cálculo de probabilidad. Las reglas del azar

Un forastero competente debe ser capaz de interpretar información estadística básica e identificar tácticas engañosas comunes.

y la teoría y las estadísticas de probabilidad asociadas que surgieron en el siglo XVIII siguen siendo los puntos de referencia de cómo lidiar con el riesgo y la incertidumbre para calcular el precio del seguro, elegir entre opciones de decisión o probar hipótesis científicas (véase Hacking, [97]) etc. Las estadísticas y la teoría de la probabilidad proporcionan a la ciencia las herramientas y el lenguaje básicos para hacer frente a la incertidumbre [98]. Además, tomar decisiones informadas en el mundo moderno implica con frecuencia información estadística (p. ej., sobre los riesgos de los efectos secundarios o cómo interpretar los resultados positivos de las pruebas [99]). La actual pandemia de COVID-19 ha hecho que ese conocimiento sea relevante para todos nosotros [100]. Sin embargo, el público carece de habilidades para interpretar la información presentada de esta manera (por ejemplo, [101, 102]).⁴ Un forastero competente debe ser capaz de interpretar información estadística básica e identificar tácticas engañosas comunes (por ejemplo, expresar cambios en el riesgo como aumentos porcentuales mientras se ignora la tasa básica). Para ayudar a los estudiantes a lidiar con la incertidumbre de manera informada, se debe enseñar la evaluación e interpretación de estadísticas y riesgos, no solo en ciencias sino también en matemáticas [105,106].

Muestreo

Una forma generalizada de error que rodea a la incertidumbre es confundir los datos de una pequeña muestra con una medida de toda la población. Rara vez somos capaces de medir de forma exhaustiva toda la población de objetos que estudiamos. En su lugar, confiamos en el muestreo y el análisis estadístico. Por lo tanto, todos los resultados vienen con un margen de error y cuanto mayor sea la muestra, menor será el margen de error. Es por eso que, por ejemplo, los grandes ensayos clínicos aleatorios que minimizan los posibles sesgos se consideran un punto de referencia para una política de salud científicamente confiable. Sin duda, es fácil citar casos individuales como “evidencia”, particularmente si provienen de nuestra propia experiencia; de hecho, una historia vívida puede parecer muy persuasiva. Sin embargo, así como una golondrina no hace verano, las muestras aisladas no reflejan la norma. No son necesariamente representativas de todos los casos. Sin embargo, el uso de muestras pequeñas o no representativas, con sesgo de selección, es una táctica frecuente que es la base de afirmaciones científicas engañosas en los medios. El forastero competente debe tener especial cuidado con las afirmaciones que utilizan datos anecdóticos y tamaños de muestra pequeños.

Explorar estos temas no es difícil. En el centro de la comprensión de la incertidumbre del muestreo se encuentra el concepto de una distribución normal, algo que se revela fácilmente al trazar un histograma de las estaturas de los niños en cualquier clase. Predecir cómo sería la distribución de una muestra en el aula contigua se puede hacer con bastante confianza. Predecir cuáles podrían ser las alturas máximas y mínimas es mucho menos seguro. Las muestras en ese sentido son representativas de una población y no pueden predecir mediciones individuales. Además, las muestras pueden estar sesgadas si la muestra no es aleatoria ni representativa de toda la población, por ejemplo, al no usar una muestra separada de niños y niñas cuando medimos alturas o al usar solo hombres para probar la eficacia de un medicamento.

⁴ En el trabajo de David Spiegelhalter y colegas [103,104] se puede encontrar una descripción útil de las trampas y prácticas comunes involucradas en la visualización de información estadística.

Causalidad

La ciencia busca identificar patrones en el mundo. Una vez que un patrón está bien establecido, comienza la búsqueda de una explicación causal. Buenos ejemplos son la correlación entre la latitud y la incidencia de cáncer de piel [107]. Claramente, la explicación causal radica en la exposición a la luz solar, pero ¿por qué? Incluso entonces, el hecho de que haya una correlación no significa que haya una explicación causal; establecer una relación requiere una comprensión del mecanismo que vincula estas dos variables.

Para investigar las asociaciones causales, los estudiantes suelen conocer la estrategia de control de variables investigando el efecto de un factor sobre otro (p. ej., cómo la temperatura afecta la cantidad de azúcar que se disolverá en un volumen fijo de agua). Si bien una buena hipótesis causal explicativa (en este caso, el modelo de partículas de la materia) es una poderosa herramienta explicativa, la vida real es compleja y multivariada. En ausencia de una explicación causal, la ciencia ha desarrollado técnicas sofisticadas para probar asociaciones. Por ejemplo, se utiliza un ensayo clínico aleatorizado para probar la eficacia de los medicamentos y otras intervenciones. Este enfoque excluye todos los factores que no sean el factor de interés, es decir, si el fármaco en sí produce una diferencia notable en el resultado. Si bien es posible que cualquier efecto positivo haya ocurrido por casualidad, la comunidad científica tiene un medio para evaluar su probabilidad y, si es menos de 1 en 20, comúnmente lo acepta como evidencia de un efecto no aleatorio. Por lo tanto, si bien se reconoce la incertidumbre inherente, este criterio permite un grado considerable de confianza en los resultados.

Los estudiantes necesitan una introducción a la noción de qué es un ensayo clínico aleatorizado, por qué es necesario, cómo se mide la evidencia de un efecto y qué tipo de fallas podría tener. Dada su importancia para la prueba de fármacos, también es necesario explicar la extensión de estas ideas a los ensayos controlados aleatorios doble ciego. Incluso entonces, una asociación puede ser más correlacional que causal. Muy pocos pueden detectar fácilmente los abusos de este concepto. Se necesitan ejercicios que requieran el mapeo de conexiones causales, por ejemplo: cuál es la posible explicación causal de la correlación entre las poblaciones de cigüeñas y el número de bebés nacidos; cuál es la posible conexión causal entre la incidencia de enfermedades del corazón y la latitud. El desarrollo de un buen modelo causal que explique cualquier fenómeno contribuye en gran medida a aumentar nuestra confianza y reducir nuestra incertidumbre sobre cualquier patrón.

Los límites de los modelos

La ciencia se ocupa de fenómenos complejos. Un objetivo de la ciencia es responder a la pregunta causal de “¿por qué sucede?” mediante la construcción de modelos explicativos [53, 108]. Y, al desarrollar un modelo, “el objetivo... es llegar a una representación que permita una comprensión de los fenómenos, no una que reproduzca los fenómenos” [53]

La ciencia, por lo tanto, hace uso de modelos representacionales (por ejemplo, el modelo de Bohr del átomo); modelos analógicos (por ejemplo, explicar el comportamiento de un circuito eléctrico por analogía con el comportamiento del flujo de agua); modelos matemáticos (por ejemplo, el uso de la función de onda en la mecánica cuántica). Si bien los modelos nunca pueden ser completos, los buenos modelos son lo suficientemente verdaderos, suficientemente cierto para proporcionar una poderosa representación explicativa del mundo que puede usarse para hacer inferencias o predicciones confiables, incluso si existe un grado de incertidumbre en su resultado. Los modelos climáticos, los modelos de la

En ausencia de una explicación causal, la ciencia ha desarrollado técnicas sofisticadas para probar asociaciones.

Si bien los modelos nunca pueden ser completos, los buenos modelos son lo suficientemente verdaderos, suficientemente cierto para proporcionar una poderosa representación explicativa del mundo que puede usarse para hacer inferencias o predicciones confiables.

propagación de una enfermedad o de la variación en la demanda de electricidad, entran en esta categoría. Y cuanto mejores sean los datos en los que se basa el modelo, más precisas y fiables serán sus predicciones. Además, los modelos en los que la ciencia basa la toma de decisiones suelen estar bien establecidos y ofrecen un alto grado de confianza.

Parte de esa evaluación de riesgos se basa en el conocimiento de las limitaciones del modelo. Los modelos son selectivos en lo que eligen representar. Además, muchos modelos tienen supuestos incorporados: superficies sin fricción, masas puntuales o gases idealizados. En resumen, los modelos son solo eso, modelos, y no una representación detallada de cada característica. Y por ello no pueden ofrecernos certeza. No representan todas las características en detalle. Los educadores de ciencias, por lo tanto, deben sincerarse con su audiencia y reconocer abiertamente que un modelo es solo eso: un modelo, una heurística útil que nos ayuda a comprender el mundo material y, en algunos casos, puede permitir la predicción, aunque con limitaciones.

Tergiversación de datos

Cada vez más, las personas se encuentran con datos presentados en un gráfico o cuadro. Todas estas visualizaciones de datos deben ser leídas. Los autores tienen opciones en la construcción de dichos datos, que afectan la forma en que se perciben (por ejemplo, si se utiliza una gráfica lineal o logarítmica). Los vendedores ambulantes de desinformación a menudo explotan la incapacidad de las personas para cuestionar e interrogar gráficos y tablas, utilizando esta debilidad para engañar [69,109,110]. Los ejes o períodos de tiempo se seleccionan comúnmente para exagerar o minimizar un efecto. Por lo tanto, los estudiantes necesitan ser educados para leer tipos básicos de visualización de datos e identificar fallas comunes en su presentación e interpretación. En resumen, ¿el gráfico apoya la historia que pretende contar?

Valorar la humildad intelectual y la verdad

Un efecto secundario desafortunado del acceso casi instantáneo al conocimiento en internet es que nos engaña haciéndonos creer que podemos saber más de lo que sabemos [13]. Con solo presionar unas pocas teclas, se nos brindan respuestas inmediatas a nuestra curiosidad. Sin embargo, el conocimiento es más que una recopilación de hechos. En el caso de la ciencia, no basta con saber qué es un ion, un átomo o una célula; más bien, es importante saber cómo esta entidad o concepto se relaciona con otros, cuál es su significado, cómo llegó a existir y por qué se puede confiar en este conocimiento. Saber qué es la fotosíntesis, por ejemplo, es de poco valor por sí mismo, pero ser capaz de explicar su importancia en el ciclo del carbono y el cambio climático sí lo es. En resumen, cómo encaja la fotosíntesis en el esquema de las cosas que sustentan la vida es una comprensión que se adquiere a través de un estudio extenso. El conocimiento no es una miscelánea de hechos para ser regurgitados al presionar un botón o en respuesta a una pregunta de examen; requiere un conjunto de marcos conceptuales coherentes que integren un conjunto de interrelaciones complejas y expliquen el significado de cada elemento. Toma tiempo adquirir ese conocimiento. Como dijo Claude Bernard: “La ciencia es un salón lleno de asombro y maravilla, el problema es la cocina larga y oscura por la que tienes que pasar para llegar allí”[111].

Ante una amplia gama de información, a la que se agregan más volúmenes cada día, la respuesta adecuada debe ser una respuesta de humildad intelectual nacida de la comprensión de lo poco que cualquiera de nosotros realmente sabe, y mucho menos entiende.

Además, las ciencias no producen opinión, no son una ideología..

Ante una amplia gama de información, a la que se agregan más volúmenes cada día, la respuesta adecuada debe ser una respuesta de humildad intelectual nacida de la comprensión de lo poco que cualquiera de nosotros realmente sabe, y mucho menos entiende. También se requiere humildad intelectual frente a otros que saben más. En tal contexto, debemos reconocer nuestras propias limitaciones, respetar la maestría de los demás y estar listos para ceder ante evidencias convincentes o mejores argumentos. Tal comprensión de nuestras limitaciones solo puede producirse al estar expuestos a los errores, tanto los nuestros como los de los demás.

Producir conocimiento confiable es un enorme esfuerzo intelectual y requiere una investigación minuciosa y sistemática, que es la ocupación profesional de tiempo completo de los científicos dedicados. Los resultados de su trabajo son un historial notable de conocimiento confiable del mundo material, que es la base de nuestro suministro de energía, sistemas de transporte, atención médica, agricultura moderna y mucho, mucho más [31,53]. Además, tal conocimiento permite a la humanidad actuar sabiamente. Por ejemplo, el conocimiento sobre el cambio climático obliga a las sociedades a plantearse cómo hacer frente a los inminentes desafíos que plantean las acciones humanas. Por el contrario, el conocimiento defectuoso o simplemente incorrecto es una mala guía para la acción, algo de lo que pueden dar fe quienes han negado el consejo sobre las vacunas contra la COVID y luego han enfermado gravemente, o incluso han muerto.

Además, las ciencias no producen opinión, no son una ideología. Rara vez involucran compromisos políticos inherentes, aunque indudablemente los científicos individuales sí lo hacen. Sus prioridades son un reflejo de los valores sociales, económicos y culturales. Pueden producirse malas interpretaciones, y han ocurrido cuando la ciencia ha sido utilizada con fines políticos. Por ejemplo, los conceptos genéticos alguna vez fueron mal utilizados para apoyar ideologías racistas [112,113].

Parte del proyecto de construir la humildad intelectual requiere exponer las formas comunes en las que el razonamiento humano falla. Algunas son genéricas. Por ejemplo, todos los seres humanos tienen una tendencia natural a vivir en cámaras de eco, a socializar con quienes piensan como ellos. Además, como ha documentado Kahneman, la respuesta natural es pensar rápido y confiar en la intuición, cuando lo que a menudo se requiere es una consideración deliberativa más lenta del problema, la evidencia y la confiabilidad de la fuente o fuentes [114].

Explorar una lista exhaustiva de tipos de errores está más allá de lo que puede lograr la educación científica. Sin embargo, algunos son específicos de las ciencias y las matemáticas [69,115,116] y deben explorarse, como confundir la correlación con la causalidad, usar valores atípicos como base de un argumento, hacer amplias generalizaciones a partir de muestras pequeñas (por ejemplo, mi abuela tiene 90 años y aún fuma diez cigarrillos al día) o “hacer trampa” con escalas inapropiadas en los gráficos. Por lo tanto, un objetivo curricular apropiado sería introducir una muestra amplia de tales errores como ilustraciones que ejemplifican un problema general y cómo pueden detectarse.

Así como la humildad nace del reconocimiento y la experiencia de nuestras propias fallas, puede ser alentada por una sensación de asombro. El asombro es una experiencia para ser compartida y fomentada con todos los estudiantes [117,118] y sentida: al ver los colores de la luz blanca que produce un prisma en una habitación oscura; las huellas que emergen de una fuente radiactiva en una cámara de niebla; o producir una fibra de vidrio y doblarla 360°. El desarrollo del sentido de asombro requiere que se elimine “el anestésico de la familiaridad, el sentido de lo ordinario que embota los sentidos y oculta las maravillas de la existencia” [34].

La ciencia tiene una historia que contar que es *simplemente increíble*; por ejemplo: todas las sustancias que nos rodean están hechas de solo 80 elementos; nos parecemos a nuestros padres porque cada célula de nuestro cuerpo lleva una receta codificada químicamente sobre cómo reproducirse..

La ciencia tiene una historia que contar que es *simplemente increíble*; por ejemplo: todas las sustancias que nos rodean están hechas de solo 80 elementos; nos parecemos a nuestros padres porque cada célula de nuestro cuerpo lleva una receta codificada químicamente sobre cómo reproducirse; el planeta que habitamos es solo uno de los millones potenciales en un universo en constante expansión que comenzó hace 13.800 millones de años. Desarrollar un sentido de asombro requiere que los profesores de ciencias reconozcan que son narradores de una historia del enorme logro intelectual y cultural del desarrollo del conocimiento científico. Su papel no es solo transmitir ese patrimonio cultural, sino también su valor y el logro que representa.

El énfasis actual en la comprensión de los componentes básicos de la ciencia (por ejemplo, la célula, la ley del movimiento de Newton, el cambio químico versus el cambio físico) rara vez proporciona a los estudiantes una sensación de asombro ante el edificio intelectual que la ciencia ha construido, como nuestro conocimiento del cuerpo humano. Es como si gran parte de la educación científica pidiera a sus estudiantes que miraran por el extremo equivocado del telescopio y luego se preguntaran por qué parecen tan singularmente desinteresados.

Tomando prestada una metáfora arquitectónica, es imposible ver el edificio completo si nos enfocamos demasiado en los ladrillos individuales. Sin un cambio de enfoque, es imposible comprobar si miramos el Partenón de Atenas o un montón de piedras, o apreciar qué hace de este edificio uno de los grandes monumentos del mundo. Los estudiantes deben completar su educación científica obligatoria capaces de explicar por qué las ideas de Dalton sobre los átomos, las ideas de Darwin sobre la selección natural o la comprensión de Rachel Carson sobre el efecto del DDT en el medio ambiente se encuentran entre los conocimientos más valiosos y significativos que poseemos. En definitiva, si no comunicamos el valor de lo que aprenden, ¿por qué los alumnos deberían valorarlo ellos mismos? Y dada la falta de énfasis en los logros de la ciencia, ¿es sorprendente que, para muchos estudiantes, el interés por la ciencia decaiga cuanto más tiempo se estudia; que la ciencia no se perciba como un sujeto creativo; y que, de ser necesario, el conocimiento que ofrece podría recuperarse fácilmente con una búsqueda rápida en Google [119, 120]. Sin embargo, ofrecer a los estudiantes una visión del salón de las maravillas y las “grandes ideas” que ofrecen las ciencias es fundamental para generar cierto sentido de humildad [121]. THacer menos es perjudicar a las ciencias y al trabajo de los científicos.

Parte del desafío de enfatizar la construcción de un sentido de humildad y asombro consiste en el enfoque singular en reproducir la respuesta correcta. Tal como preguntan Lapsley y Challoner, “¿cómo lograr que los estudiantes que han pasado toda su carrera académica persiguiendo valores académicos, es decir, calificaciones, premios, puntos y rango en la clase (bienes ciertamente externos a la práctica del aprendizaje) deseen conocimiento y verdad como una búsqueda fundamental por sí misma y por un profundo deseo personal? [122]. Claramente, tal enfoque en la prueba y el recuerdo de hechos y conceptos misceláneos no puede comunicar los valores más profundos de un respeto por la verdad, o fomentar una apreciación más profunda o un sentido del valor de la ciencia que han aprendido.

Imaginen evaluaciones que podrían promover no la capacidad de reproducir el conocimiento científico canónico, sino la capacidad de detectar el error, el razonamiento científico defectuoso, la escala inapropiada o la debilidad de los datos en los que se basa una afirmación, o que demuestren la capacidad de evaluar la credibilidad de afirmaciones científicas dudosas. Dichos ejercicios ayudarían a desarrollar una “postura de búsqueda de la verdad” que reconozca que la credibilidad es importante, que solo se puede confiar en algunas fuentes, y que es posible que no sepan lo suficiente como para emitir un juicio.

Imaginen evaluaciones que podrían promover no la capacidad de reproducir el conocimiento científico canónico, sino la capacidad de detectar el error, el razonamiento científico defectuoso, la escala inapropiada o la debilidad de los datos en los que se basa una afirmación.

Los docentes son actores racionales y, mientras se utilicen los puntajes de las pruebas como una medida de su desempeño, siempre estarán bajo presión para enseñar para la prueba. Por lo tanto, las nuevas formas de evaluación deben reflejar y valorar las nuevas metas educativas y proporcionar un contexto para guiar las metas, motivaciones y recompensas del aprendizaje en el aula. Sin tal énfasis, la creciente difusión de información errónea corre el peligro de crear una ciudadanía que no reconozca los logros intelectuales y la maestría. Y, cuando los ciudadanos comunes creen que nadie sabe más que los demás, las propias instituciones democráticas corren el peligro de caer en el populismo o en la tecnocracia o, en el peor de los casos, en una combinación de ambos [11].

IMPLICACIONES PARA LA PRÁCTICA

Proponemos cuatro ejemplos de lo que podría significar prestar atención a estas nuevas metas de aprendizaje en el aula.

Ejemplo 1

En el contexto de la enseñanza sobre el cambio climático, se puede pedir a los estudiantes que evalúen los argumentos que se encuentran en el sitio web CO₂science.org. A simple vista es un “punto.org” que podría predisponer al individuo a pensar que es imparcial.

The image shows a screenshot of the CO₂ Science website. The header features the logo 'CO₂ SCIENCE' with a green leaf icon, and a background image of a hummingbird feeding from a pink flower. Below the header is a navigation menu with links: HOME, ABOUT US, CONTRIBUTE, ISSUES, EDUCATION CENTER, VIDEOS, SUBJECT INDEX, DATA, and SEARCH. The main content area is titled 'Carbon Dioxide and Global Warming' with the subtitle 'Where We Stand on the Issue'. The authors are listed as 'C. D. Idso and K. E. Idso' from the 'Center for the Study of Carbon Dioxide and Global Change'. The article text discusses the relationship between CO₂ concentration and global warming, stating that while there is a weak short-term correlation, it does not prove causation. The text is partially obscured by a watermark.

Figura 2 Artículo del Centro de Estudios del dióxido de carbono y el cambio global (/about/position/globalwarming.php)

Este sitio web afirma que existe una correlación débil a corto plazo entre la ciencia y la temperatura. No niega que las concentraciones de CO₂ estén aumentando, pero sostiene que esta no es la causa principal del cambio climático y utiliza una variedad de argumentos

para criticar la conexión causal. Los argumentos parecen científicos y se presentan con evidencias. Por ejemplo, tienen una página completa de datos llamada centro de datos. Superficialmente, tales argumentos pueden parecer creíbles; así, afirman que el calentamiento previsto como resultado de una duplicación del contenido de CO₂ en el aire puede ser totalmente contrarrestado por: (1) un mero aumento del 1% en la reflectividad del planeta, o (2) un aumento del 10% en la cantidad de nubes bajas del mundo, o (3) una reducción de 15-20% en el radio medio de las gotas de las nubes de la capa límite de la tierra, o (4) un aumento del 20-25% en el contenido de agua líquida de las nubes. Además, se ha demostrado que la producción inducida por el calentamiento de nubes de alto nivel sobre los océanos ecuatoriales anula casi por completo el poderoso efecto invernadero del vapor de agua de esa región, que proporciona gran parte del aumento de temperatura en el escenario de calentamiento global inducido por CO₂ ([/about/position/globalwarming.php](#))

Superficialmente, podría parecer que estos argumentos tienen sustancia. Están envueltos en el lenguaje de la ciencia; parecen referirse a investigaciones publicadas y el trabajo ha sido realizado por una organización independiente. Nada más lejos de la verdad. Para descubrir esto se requiere que los estudiantes participen en la lectura lateral, empezando por preguntar: ¿es creíble esta fuente? Al buscar en Google CO2science.org, este sitio web aparece como el primer resultado de búsqueda, pero abajo se lee la información de que está financiado por ExxonMobil. Debajo de eso está la información de que CO2science.org está financiado por el Centro para el Estudio del Dióxido de Carbono y el Cambio Global, que es identificado por Wikipedia y Sourcewatch.org como un grupo de fachada para la industria de los combustibles fósiles.

En este punto, se debe alentar al estudiante a que no intente evaluar la ciencia presentada en el sitio web; no tiene el conocimiento para hacerlo. Más bien, deberían participar en una lectura lateral y preguntar “¿cuál es el consenso científico sobre el cambio climático?” Las dos fuentes principales provienen de la NASA y Wikipedia: la primera es una institución científica bien establecida y de considerable autoridad, que los estudiantes pueden no conocer pero que la educación científica necesita enseñarles explícitamente; la segunda tiene una credibilidad generalizada como fuente independiente. Yendo más allá, una tercera fuente es openscience.org, que ofrece un artículo revisado por pares publicado en *Environmental Research Letters* con el título “Más del 99% de consenso en la literatura científica revisada por pares”. De acuerdo, en este punto no sería razonable esperar que los maestros supieran si *Environmental Research Letters* es una revista de prestigio en la comunidad. Sin embargo, el documento se puede encontrar junto con muchos otros [92]. De ahí que se deba aplicar la máxima de Bertrand Russell: “Si los expertos están de acuerdo, no se puede creer lo contrario” [15].

Ejemplo 2

Se puede utilizar este ejemplo cuando se enseña acerca de las vacunas. Se puede pedir a los estudiantes que evalúen los argumentos presentados en el sitio web, childrenshealthdefense.org. Nuevamente, el sitio web es un “punto.org”, lo que podría hacer que los estudiantes crean que es imparcial. Esta URL crea una oportunidad para la discusión en el aula sobre los dominios de internet y la idea falsa de que algunos de ellos son indicadores de calidad y confiabilidad.

The image shows a screenshot of the website childrenshealthdefense.org dated March 28, 2022. The main heading is "It's Time to Follow the Science: COVID Vaccines". Below the heading is a video player featuring Robert F. Kennedy, Jr. with the text "It's Time To Follow The Science: COVID-19 Vaccines". To the right of the video is a sign-up form for "Get FREE News & Updates!" with fields for "First Name", "Last Name", and "Email", and a "SIGN UP" button. Below the sign-up form is a "Donate Now" button with the text "You make the difference." and a logo. At the bottom right, there is a sidebar titled "The Defender" with a "Latest Posts" section listing "COVID", "Big Pharma", "Big Energy", "Big Food", "Big Tech", and "Big Chemical". The top of the page has a navigation bar with buttons: "JOIN THE MOVEMENT", "SUPPORT OUR EFFORTS", "TAKE ACTION", "MEMBERS ONLY", and "DONATE".

Figura 3 Carátula del 28 de marzo de 2022 (childrenshealthdefense.org/child-health-topics/health-freedom/its-time-to-follow-the-science-covid-vaccines/)

En este caso, el sitio web afirma que las personas deben resistir activamente los mandatos de COVID-19, alentando a las personas a seguir “lo último que nos dice la ciencia”. El sitio incluye una lista vinculada de artículos que pretenden servir como ejemplos de la falta de eficacia de las vacunas en los niños. Muchos de los titulares hacen referencia a información estadística como “al menos el 58% de los niños ya tienen inmunidad natural”. El sitio web se basa en la autoridad de los científicos con afirmaciones como: “la ciencia nunca ha estado de su lado”.⁵ Un sitio web como este brinda múltiples oportunidades para que los estudiantes aprendan sobre las ideas que hemos presentado a lo largo de este informe. Como en el caso de CO2science, se debe alentar a los estudiantes a que no comiencen su

⁵ Como se ha mostrado el 31 de marzo de 2022.

evaluación del sitio web intentando descifrar las afirmaciones que presenta. En su lugar, se debe enseñarles a participar en la lectura lateral para buscar información sobre la maestría científica de las personas y organizaciones detrás del sitio web. Una búsqueda de “Defensa de la salud infantil” muestra la página web del grupo como primer resultado. Aquí, se debe enseñar a los estudiantes a usar la restricción de clics al no hacer clic en el primer resultado que aparece. En cambio, deberían tomarse el tiempo para leer los fragmentos de búsqueda, que contienen información sobre el contenido de cada resultado de búsqueda. Por ejemplo, la entrada de Wikipedia establece que Children’s Health Defense es “un grupo activista estadounidense conocido principalmente por sus actividades contra las vacunas y ha sido identificado como una de las principales fuentes de información errónea sobre las vacunas” (en.wikipedia.org/wiki/Children's_Health_Defense) El resultado de National Public Radio (NPR) afirma que la organización es “un grupo antivacunas encabezado por Robert F. Kennedy Jr.” (www.npr.org/search)

The image shows a screenshot of the website 'the Defender', which is focused on children's health defense. The main article is titled 'COVID Vaccines Don't Prevent Transmission, Severe Illness or Deaths, Data Show' by Meryl Nass, M.D. The article includes a sub-headline: 'All we have to do is look at high-quality epidemiological data to get to the truth — COVID-19 vaccines aren't preventing COVID or its transmission, and they aren't preventing severe illness or death.' Below the article is an image of a COVID-19 vaccine vial and syringe. The website header features navigation links for CHD, COVID, BIG PHARMA, BIG ENERGY, BIG FOOD, BIG TECH, BIG CHEMICAL, COMMUNITY, and LEGAL. A banner at the top promotes a book: '1 Million Copies Sold — The Real Anthony Fauci — The book that launched a movement. BUY TODAY!'. On the right side, there are sections for 'Donate Now', 'Latest News', and 'Latest Views'.

Figura 4 Artículo del 4 de abril de 2022 (childrenshealthdefense.org/defender/covid-vaccines-dont-prevent-transmission-severe-illness-deaths-data/)

Otra búsqueda, esta vez sobre Robert F. Kennedy Jr., revela que no tiene maestría en vacunas. Es licenciado en derecho y es un conocido opositor a las vacunas. La falta de maestría relevante de Kennedy indica que no es una fuente creíble con respecto a la ciencia de las vacunas, lo que arroja dudas sobre las afirmaciones de su organización. Esta falta de credibilidad, junto con un amplio consenso científico con respecto a la seguridad de las vacunas COVID, puede usarse como justificación para ignorar las afirmaciones que hace Children’s Health Defense sobre las vacunas.

Ejemplo 3

En el contexto de una unidad sobre nutrición, se puede pedir a los estudiantes que evalúen dos sitios web que brindan información sobre salud. El primero (Figura 5) es una página de Partnership for A Healthier America (PHA, Asociación para una América más saludable) (www.ahealthieramerica.org/); el segundo (Figura 6) es la página del Instituto Internacional de Ciencias de la Vida (ilsa.org)

Una discusión inicial, basada en mirar cada sitio web, podría mostrar que los estudiantes ven ambos sitios como creíbles. Ambos tienen un nombre de dominio “punto.org” y ambos parecen profesionales y autorizados. Luego se les puede pedir que usen el árbol de decisiones que se muestra en la Figura 1 para determinar en qué sitio web confiarían para obtener información relacionada con la salud.

Comenzamos con la primera pregunta en el árbol de decisión: “¿Es creíble la fuente de esta información?” El primer desafío de los estudiantes es determinar si estas fuentes están libres de prejuicios y si existe algún conflicto de intereses. Para hacer esto, deberán abrir una nueva pestaña y empezar con la lectura lateral.

Si buscan “Partnership for a Healthier America”, encontrarán que uno de los primeros enlaces que aparecen en los resultados de búsqueda es de Wikipedia. Después de usar la restricción de clics para escanear los fragmentos de información debajo de cada resultado y mirar los tres puntos al lado de cada uno, pueden decidir comenzar con la página de Wikipedia para tener una idea amplia de qué otra información está disponible sobre la organización. Allí los estudiantes leerán que PHA es una organización sin fines de lucro enfocada en la salud y la nutrición. Su presidenta y directora ejecutiva es Nancy Roman, quien tiene años de experiencia trabajando para programas mundiales de alimentos, bancos de alimentos y organizaciones sin fines de lucro dedicadas a la nutrición.

Por otro lado, cuando los estudiantes aplican la misma estrategia a la página web de ISLI, es probable que también empiecen con la entrada de Wikipedia. Esta cuenta una historia muy diferente. Si bien también ISLI es una organización sin fines de lucro, la entrada de Wikipedia muestra que fue financiada por un ejecutivo de Coca-Cola y tiene numerosos vínculos con empresas de alimentos y productos químicos, como McDonald’s y Pepsi. Dichos vínculos representan un claro conflicto de intereses y sugerirían fuertemente que ISLI no es una fuente de información creíble.

Un estudiante que no estuviera convencido podría, sin embargo, continuar con la siguiente pregunta en el árbol de decisión: “¿La fuente cuenta con la maestría necesaria para dar fe de la afirmación?” Una vez más, los estudiantes encontrarán más pruebas de rechazo. La página de Wikipedia, por ejemplo, da ejemplos de los miembros de la organización que publican libros que han sido cuestionados por tener “mérito científico mínimo” y afirman que los autores, como Michael Gough, no son expertos en los temas sobre los que escriben. Además, la entrada muestra que otras fuentes, con maestría científica más creíble, se sienten preocupadas por la organización. El British Medical Journal (una revista científica de alto nivel) afirma que la organización ha aceptado financiación de la industria tabacalera.

Los estudiantes pueden trabajar en parejas con el árbol de decisiones, planteando y respondiendo preguntas. Una discusión subsiguiente puede comparar sus hallazgos y los juicios. Usando ejemplos como este, las rutinas estándar de los verificadores de hechos pueden internalizarse para desarrollar las rutinas automáticas requeridas para verificar la credibilidad de las afirmaciones que abundan en Internet.

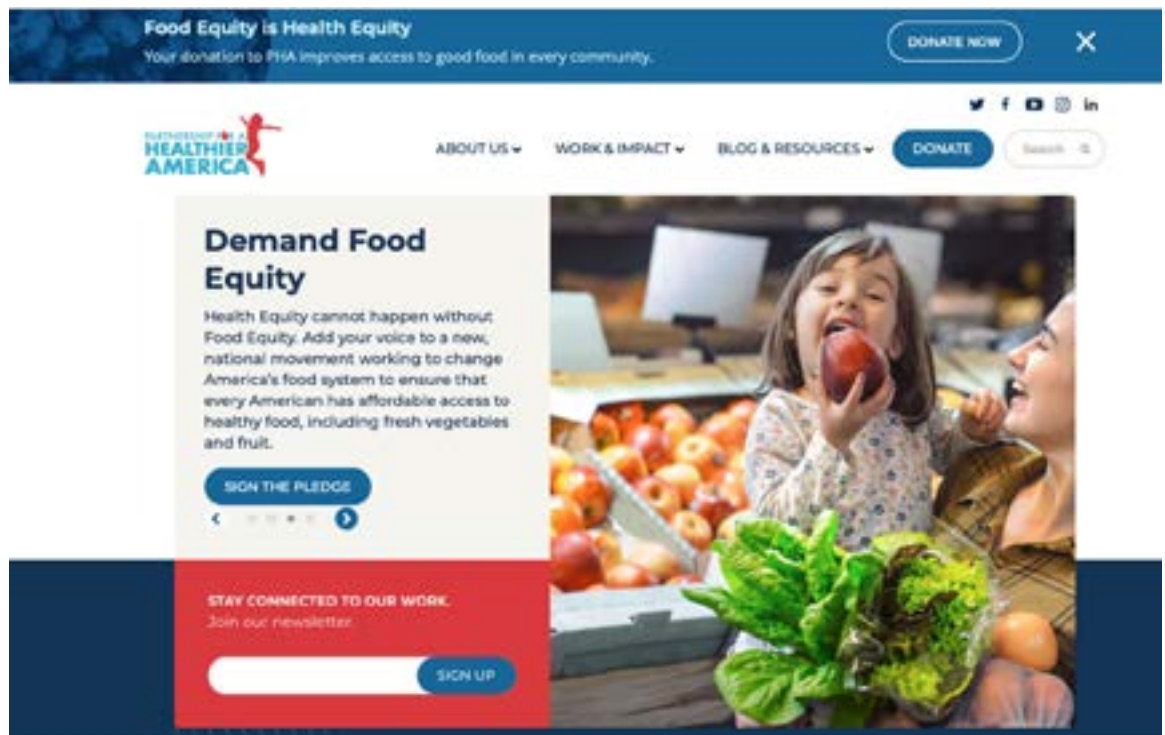


Figura 5 Punto 3 en el control deslizante de la página principal de ahealthieramerica.org



Figura 6 Página de seguridad alimentaria en el tab de ciencia e investigación (ilsil.org/science-research/food-safety/)

Ejemplo 4

El cuarto ejemplo es una adaptación de un conjunto de actividades desarrolladas por Allchin [123]. Para enseñar a los estudiantes acerca del papel de la maestría en el establecimiento de la credibilidad en la ciencia, los profesores pueden proporcionarles descripciones de diferentes personas y pedirles que determinen en quién confiar, utilizando el criterio de la *maestría científica relevante*. Por ejemplo, en una unidad sobre el cambio climático, a los estudiantes se les pueden proporcionar las tres descripciones siguientes y se les puede pedir que en pequeños grupos determinen cuál de las siguientes personas representa mejor la perspectiva de la comunidad científica:

1. Fred Singer, físico, jefe del Panel No Intergubernamental sobre Cambio Climático, miembro del Instituto Marshall; fundador del Servicio Nacional de Satélites Meteorológicos; ex-subadministrador adjunto de la Agencia de Protección Ambiental;
2. John Coleman, cofundador de Weather Channel, ex meteorólogo de televisión, con seis décadas de experiencia en la radiodifusión; o
3. Naomi Oreskes, historiadora de la ciencia con formación en geología y ex consultora de minería, que realizó un análisis del consenso sobre el cambio climático publicado en *Science*.

Luego, los maestros pueden involucrar a los estudiantes en un debate sobre qué individuo eligieron como experto científico, y sus justificaciones para lanzarse a una conversación sobre las características de la maestría científica relevante.

En este caso, Naomi Oreskes, irónicamente la historiadora, sería la persona con más probabilidades de representar y comunicar la perspectiva de la comunidad científica sobre el cambio climático. Tiene una formación científica relevante para la ciencia del cambio climático (geología) y ha publicado un artículo sobre consenso en una revista científica bien establecida y creíble. Si bien los otros dos individuos también han trabajado en roles de liderazgo, ninguno tiene experiencia relevante ni se destaca como experto en cambio climático dentro de la comunidad científica. Aunque Fred Singer es físico, es miembro del Panel No Intergubernamental sobre Cambio Climático, que ha sido criticado por la comunidad científica por producir informes con fallas metodológicas y utilizar autores de campos irrelevantes. John Coleman puede tener experiencia en periodismo, pero no tiene formación científica y no ha realizado investigaciones sobre el cambio climático. Por lo tanto, no debe considerarse que representa los puntos de vista de la comunidad científica..

Durante actividades como esta, los profesores pueden involucrar a los estudiantes en conversaciones sobre características importantes de la maestría científica, tales como:

1. el papel de la experiencia relevante, y que no cualquier doctorado en ciencias o puesto de investigación convierte a alguien en experto en todas las ciencias;
2. el papel del consenso, que debería pesar mucho más que la interpretación de un solo científico; y
3. el papel del conflicto de intereses y los sesgos que pueden llevar, incluso a científicos expertos, a informes deshonestos.

Los profesores pueden adaptar las descripciones de las personas que los estudiantes evalúan en función de las características de la experiencia que desean resaltar, como valorar el conocimiento experto sobre el prestigio de los títulos, al incluir algunos no expertos que

tengan roles de liderazgo impresionantes. Estos ejemplos se ofrecen como ilustraciones de lo que podría hacerse. Dada la abundancia de información errónea en internet, tenemos pocas dudas de que se podría desarrollar fácilmente más y mejor.

IMPLICACIONES PARA UNA POLÍTICA

Los desafíos a la ciencia discutidos en este documento son graves y su solución es urgente. Si bien no pueden ser resueltos por los educadores solos, la educación y los educadores de ciencias en particular pueden contribuir.

Los desafíos a la ciencia discutidos en este documento son graves y su solución es urgente. Si bien no pueden ser resueltos por los educadores solos, la educación y los educadores de ciencias en particular pueden contribuir. Reconocemos que será un desafío pedir a la educación científica que reduzca su énfasis singular en el conocimiento y desarrolle la competencia para evaluar mejor las afirmaciones científicas en los medios. Sin duda, la educación científica tiene la obligación fundamental de presentar a sus estudiantes las principales ideas de la ciencia, aquellas que están fuera de toda duda. Dado el limitado tiempo disponible, ya se le pide mucho al plan de estudios de ciencias. Sin embargo, el surgimiento de la era de la desinformación ha llevado a un cambio fundamental en el contexto, y nuestros objetivos y prioridades deben ser reevaluados. Si no hacemos nada, fallaremos no solo a nuestros estudiantes sino también a la ciencia misma.

Los cuatro ejemplos anteriores ilustran lo que los maestros pueden hacer. Además, existe evidencia de efectividad [73]. A nivel de pregrado, el ganador del premio Nobel Saul Perlmutter, junto con sus colegas de Berkeley, ha realizado ya un trabajo sustantivo con su curso sobre “Sentido, sensibilidad y ciencia” para estudiantes de todas las disciplinas que, alentadoramente, se está adoptando en las universidades de los EE.UU.⁶ Asimismo, un curso de Carl Bergstrom y Jevin West llamado “Tonterías: razonamiento de datos en un mundo digital” ha dado como resultado un libro homónimo que se enseña tanto en los EE.UU. como a nivel internacional.⁷ Sin embargo, es probable que pocos estudiantes universitarios tomen tales cursos; muchos más participan en un curso universitario introductorio en biología, ciencias ambientales, ciencias geológicas, química o física. Estos serán a menudo el último curso de ciencias que experimenten. Por esta razón, todos estos cursos deben abordar los temas que planteamos aquí.

Sin embargo, no puede dejarse en manos de la educación de pregrado remediar las omisiones en la ciencia en la educación obligatoria. Los desafíos que nos hemos planteado son reales y cada vez mayores. Todos los estudiantes deben desarrollar el conocimiento y la comprensión necesarios para hacer frente a la información errónea, que es una amenaza fundamental para nuestras sociedades. La inoculación de los estudiantes contra la enfermedad de la desinformación debe comenzar en la educación primaria y el tratamiento requiere una intervención sostenida. Este es el enfoque adoptado en Finlandia [60]. Por ello hacemos las siguientes recomendaciones.

Todos los estudiantes deben desarrollar el conocimiento y la comprensión necesarios para hacer frente a la información errónea, que es una amenaza fundamental para nuestras sociedades.

⁶ Véase sensesensitivityscience.berkeley.edu

⁷ Véase www.callingbullshit.org

Recomendación 1: Revisión de los estándares y currículos de educación científica

Dado que los conocimientos y competencias que hemos comentado aquí son claves para la participación efectiva en una sociedad democrática, deben ser enseñados y, si es necesario enseñarlos, deben extirparse otros elementos. Dado el alcance del conocimiento científico y el tiempo limitado disponible para la educación formal, todos los planes de estudio requieren opciones. Nuestra opinión es que hay poca justificación para pedir a todos los estudiantes que aprendan elementos de conocimiento muy específicos que rara vez, si es que alguna, usarán (las formas de los orbitales electrónicos, la estructura química del benceno o las etapas de la meiosis y la mitosis) cuando el conocimiento que enfatizamos aquí es un requisito esencial para la competencia necesaria para abordar la avalancha de información errónea y desinformación. La evidencia sugeriría que un enfoque pequeño pero sostenido en la educación obligatoria marcaría la diferencia y dejaría un tiempo considerable para abordar las grandes ideas de la ciencia, las prácticas científicas, etc. Si los argumentos que hemos expuesto aquí son reveladores, habrá que suprimir parte del contenido “sagrado” que puebla la mayoría de los planes de estudio de ciencias. Nuestra visión es que poco se perderá y mucho se ganará, tanto para la sociedad como para los estudiantes.

Claramente, la próxima iteración de cualquier plan de estudios debe tomar estas decisiones, pero esperar eso sería esperar demasiado. Tanto la comunidad científica como la comunidad de educación científica deben reconocer la urgencia de abordar estos temas en las aulas que pueblan diariamente. Reconocemos que para muchos científicos, maestros de ciencias y padres, estas características de la ciencia parecerán desconocidas; simplemente, no forman parte de la gramática de su propia educación científica. Sin embargo, si el público se pierde en un mar de desinformación, donde los hallazgos científicos confiables son cuestionados por razones inapropiadas, tanto la ciencia como el apoyo público a la misma disminuirán. No podemos decirlo más claramente que señalando que el enemigo está a las puertas de Roma. La confianza en las democracias occidentales está en su nivel más bajo [124]. Involucrar a estudiantes y no científicos para defender la maestría científica, por qué se debe prestar atención al consenso científico y explicar los logros intelectuales de la ciencia debe impregnar el hábito diario de los científicos. En resumen, los científicos y los profesores de ciencias deben defender explícitamente el valor, y los valores, de la ciencia.

En el caso de las escuelas, esto significa que los profesores de ciencias deben ir mucho más allá de las actividades de laboratorio que “prueban” nuevamente que la genética mendeliana, la mecánica newtoniana o los patrones de la tabla periódica están garantizados. Lo que el estudiante necesita saber es qué justifica una creencia en el cambio climático, la eficacia de las vacunas o el medicamento que toma su madre para reducir la presión arterial. Dicho conocimiento es producto de una comunidad científica que impone estándares de honestidad y confiabilidad que son insuperables [32]. Cómo lograrlo requiere mucho más que la descripción idealizada y engañosa del método científico que puebla el primer capítulo de tantos libros de texto. Y, si bien el tratamiento de las prácticas científicas en el NGSS ayuda a proporcionar una idea de lo que hacen los científicos, es posible que los estudiantes aún no sepan por qué se puede confiar en el conocimiento científico. Si este tipo de conocimiento importa, debe enseñarse y, si debe enseñarse, debe ser una característica explícita de los planes de estudios.

Recomendación 2: Desarrollo de materiales curriculares

Claramente, se necesitan tanto materiales curriculares como capacitación. Se necesitan materiales curriculares porque existen pocos. El Stanford History Group, con su trabajo sobre el razonamiento cívico en línea, ha tenido un comienzo valioso, algunos de los cuales abordan cuestiones científicas.⁸ En Finlandia, la organización de verificación de hechos, Faktabaari, ha producido un conjunto de materiales para ayudar a los docentes a desarrollar competencias para los medios digitales y la alfabetización informacional, tal como se define en el plan nacional de estudios en Finlandia.⁹ La UNESCO ha elaborado un documento curricular para la alfabetización mediática e informacional [125]. Pero estos son predominantemente de dominio general. Se necesita mucho más en ciencias de la escuela intermedia y secundaria para desarrollar medios digitales y alfabetización en información en ciencias y una comprensión de la ciencia como una colección de prácticas sociales, específicamente el papel del consenso, la revisión por pares y las características de la maestría científica. Como mínimo, los desarrolladores del plan de estudios deben agregar detalles y claridad a la octava práctica en el NGSS de “comunicar, obtener y evaluar información”. Aunque fue innovador hace una década, su enfoque debe adaptarse a la nueva época de desinformación que enfrentamos, poniendo énfasis en las necesidades de los consumidores de ciencia y no solo en los futuros científicos profesionales.

Así como el Sputnik asestó un golpe simbólico a la psique estadounidense, la era de la desinformación amenaza el bienestar de la comunidad científica y su trabajo. Sputnik fue el catalizador de una serie de iniciativas curriculares bien financiadas, como el Comité de Estudio de Ciencias Físicas (PSSC), el Estudio Curricular de Ciencias Biológicas (BSCS) y Química en Contexto (ChemCon) [126]. La amenaza de la desinformación merece la misma respuesta.

Recomendación 3: Formación de profesores de ciencias

Se necesita capacitación para los docentes porque la propia educación científica de los docentes de ciencias rara vez ha abordado estos temas. Pocos habrán aprendido sobre el papel de la argumentación y el debate en la ciencia, la investigación de antecedentes entre pares, el consenso científico, la evaluación de la maestría o los medios digitales y la alfabetización informacional. Históricamente, siempre se ha priorizado el contenido. Parafraseando a Lakatos, los científicos han pensado que los estudiantes tenían tanta necesidad de saber acerca de estas características como los peces acerca de la hidrodinámica; por lo tanto, rara vez se les enseñó. Más bien, la gramática de la enseñanza diaria de la ciencia y el espíritu de la época que sustenta su práctica continúan enfatizando la comprensión de su contenido fundamental, junto con las prácticas científicas que son internas a la ciencia (por ejemplo, la planificación de investigaciones, el desarrollo de modelos, etc.). Está ausente cualquier explicación de cómo las estructuras sociales e institucionales de la ciencia aseguran su objetivo de producir conocimiento confiable. Los nuevos contenidos, los nuevos planes de estudio y las nuevas evaluaciones, como las que se recomiendan aquí, requieren cursos de formación profesional, ya sean presenciales o en línea. Enseñar estas capacidades requiere una comprensión de por qué son importantes

8 Véase cor.stanford.edu/curriculum/collections/intro-lessons

9 Véase www.faktabaari.fi/edu

y un conocimiento de cómo se pueden enseñar. No se puede pedir a los profesores que enseñen sobre la naturaleza social de la ciencia si no están debidamente equipados y si no entienden completamente lo que se les pide que enseñen. El conocimiento de la materia importa y los profesores que entienden completamente lo que están enseñando son mejores docentes [127,128]. La educación y la formación profesional son, por lo tanto, esenciales. Tales argumentos son igualmente válidos para quienes enseñan a estudiantes universitarios, educadores informales y comunicadores científicos.

Recomendación 4: Mejorar la evaluación

Sin embargo, no se producirán cambios si no se evalúan estas competencias. En el contexto educativo actual, lo que importa es lo que se cuenta. En particular, la evaluación PISA de la OCDE en 2025 evaluará la capacidad de los estudiantes de 15 años para “investigar, evaluar y utilizar información científica para la toma de decisiones y la acción”. Este nuevo enfoque nace del reconocimiento de que estamos viviendo en una era de desinformación. Sin embargo, se necesita mucho más. Poner a prueba la capacidad de los estudiantes para identificar fallas en los argumentos científicos, es decir, explicar por qué la respuesta incorrecta es incorrecta, debe ser tan importante como poder justificar por qué la respuesta correcta es correcta. Igual de importante es la capacidad de identificar fuentes de información cuestionables y articular por qué se debe cuestionar su confiabilidad.

Nuestra tarea actual, tal como se señaló en la introducción, es separar la información confiable de la información errónea y la desinformación. Poner a prueba la capacidad de los estudiantes para identificar las fallas en los argumentos comunes o las deficiencias en la credibilidad de las fuentes es fundamental para la competencia que buscamos desarrollar. Esto no requiere un cambio importante tanto como un cambio gestáltico en la forma en que se enmarcan las preguntas; diríamos que es fácilmente implementable. Una vez más, requiere una inversión en el desarrollo de nuevos ítems de evaluación, que estimen su validez y confiabilidad, y que se difundan ampliamente a través de las agencias relevantes.

Conclusiones

Internet ha transformado la sociedad en la que vivimos. Además de sus muchos beneficios, ha traído consigo una avalancha de información errónea. Junto con muchos otros, compartimos la opinión de que, si no se controla, el veneno de la desinformación es una amenaza fundamental para nuestras sociedades. La confianza en las instituciones de nuestras democracias está en su nivel más bajo. Resolver los desacuerdos depende de la confianza en la objetividad y la capacidad de razonar usando evidencias confiables.

Los activistas ambientales adolescentes como Greta Thunberg y movimientos como Extinction Rebellion en Europa, que exigen que los líderes nacionales presten atención a lo que la ciencia tiene para decir, invocan cada vez más lo que apunta el conocimiento científico confiable. No debe dejarse únicamente en manos de los jóvenes de hoy el argumento de por qué la evidencia científica podría ser importante. Los científicos y los profesores de ciencias deben explicar y justificar cómo, cuándo y por qué se puede confiar en la ciencia.

Instamos a los científicos, educadores en ciencias y legisladores a que reconozcan y presten atención a estos argumentos, a que los prioricen en sus debates y comunicaciones entre

ellos y con terceros. A fin de desarrollar la competencia para obtener, evaluar y comunicar, la información debe ser un enfoque de las aulas de ciencias, la formación docente, el desarrollo profesional docente y la evaluación de las ciencias. No podemos lamentar la plétora de información errónea si no estamos preparados para defender lo que apreciamos. En resumen, explicar por qué la ciencia es importante, y por qué y cuándo se debe confiar en ella.

REFERENCIAS

1. Höttecke, D. and D. Allchin, 'Reconceptualizing nature-of-science education in the age of social media.' *Science Education*, 2020. 104 (4): p. 641–666
2. Kozyreva, A., S. Lewandowsky, and R. Hertwig, 'Citizens Versus the Internet: Confronting Digital Challenges With Cognitive Tools.' *Psychological Science in the Public Interest*, 2020. 21(3): p. 103–156.
3. Vosoughi, S., D. Roy, and S. Aral, 'The spread of true and false news online.' *Science*, 2018. 359(6380): p. 1146–1151.
4. Chinn, C.A., S. Barzilai, and R.G. Duncan, 'Education for a "post-truth" world: New directions for research and practice.' *Educational Researcher*, 2020: p. 0013189X20940683.
5. Kavanagh, J. and M.D. Rich, *Truth Decay: An Initial Exploration of the Diminishing Role of Facts and Analysis in American Public Life*. 2018, RAND Corporation: Santa Monica, California.
6. Cook, J., S. Lewandowsky, and U.K.H. Ecker, 'Neutralizing misinformation through inoculation: Exposing misleading argumentation techniques reduces their influence.' *PLoS ONE*, 2017. 12(e0175799).
7. McIntyre, L., *Post-Truth*. 2018, Cambridge, MA: MIT Press.
8. Bak-Coleman, J.B., et al., 'Stewardship of global collective behavior.' *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2021. 118(27).
9. Hardwig, J., 'Epistemic dependence.' *The Journal of Philosophy*, 1985. 82: p. 335–349.
10. Norris, S.P., 'Intellectual Independence for Nonscientists and Other Content-Transcendent Goals of Science Education'. *Science Education*, 1997. 81(2): p. 239–58.
11. Nichols, T., *The Death of Expertise: the Campaign Against Established Knowledge and Why it Matters*. 2017, New York: Oxford University Press.
12. Sinatra, G.M. and B.K. Hofer, *Science denial: why it happens and what to do about it*. 2021, New York: Oxford University Press.
13. Lynch, M.P., *The Internet of Us: Knowing more and understanding less in the age of big data*. 2016, New York: WW Norton & Company.
14. Jewett, A., *Science Under Fire*. 2020, Cambridge, MA: Harvard University Press.
15. Russell, B., *Sceptical essays*. 1928, London: George Allen & Unwin Ltd.
16. Oreskes, N., *Why Trust Science?* 2019: Princeton University Press.
17. Mance, H., 'Britain has had enough of experts, says Gove', in *Financial Times*. 2016.
18. Bornmann, L., R. Haunschild, and R. Mutz, 'Growth rates of modern science: a latent piecewise growth curve approach to model publication numbers from established and new literature databases'. *Humanities and Social Sciences Communications*, 2021. 8(1): p. 224.
19. Zhang, L., J.J.W. Powell, and D.P. Baker, 'Exponential Growth and the Shifting Global Center of Gravity of Science Production, 1900–2011.' *Change: The Magazine of Higher Learning*, 2015. 47(4): p. 46–49.
20. Simon, H.A., 'A behavioural model of rational choice.' *Quarterly Journal Of Economics*, 1955. 69: p. 99–118.
21. Hertwig, R. and A. Kozyreva, 'Bounded rationality: A vision of rational choice in the real world,' in *The handbook of rationality*, M. Knauff and W. Spohn, Editors. 2021, MIT Press: Cambridge. p. 505–515.
22. Bell, C., 'A hundred years of Lancet language'. *Lancet*, 1984. 2(8417–8418): p. 1453.

23. Bromme, R. and S.R. Goldman, 'The Public's Bounded Understanding of Science.' *Educational Psychologist*, 2014. 49(2): p. 59–69.
24. Spencer, H., *What knowledge is of most worth*. 1884, New York: JB Alden.
25. Barzilai, S. and C.A. Chinn, 'A review of educational responses to the "post-truth" condition: Four lenses on "post-truth" problems.' *Educational Psychologist*, 2020. 55(3): p. 107–119.
26. Willingham, D.T., 'Critical Thinking: Why Is It So Hard to Teach?' *Arts Education Policy Review*, 2008. 109(4): p. 21–32.
27. Feinstein, N., 'Salvaging science literacy.' *Science Education*, 2011. 95(1): p. 168–185.
28. Ryder, J., 'Identifying science understanding for functional scientific literacy.' *Studies in Science Education*, 2001. 36: p. 1–44.
29. Origi, G., *Reputation: What it is and why it Matters*. 2019: Princeton University Press.
30. Merton, R.K., ed. *The sociology of science : theoretical and empirical investigations*. 1973, University of Chicago Press: Chicago.
31. Ziman, J., *Reliable Knowledge*. 1979, Cambridge: Cambridge University Press.
32. Harré, R., *Varieties of realism: a rationale for the natural sciences*. 1986, Oxford: Basil Blackwell.
33. Pinker, S., *Enlightenment NOW: The Case for Reason, Science, Humanism and Progress*. 2018, London: Allen Lane.
34. Dawkins, R., *Unweaving the rainbow: Science, delusion and the appetite for wonder*. 2000: Mariner Books.
35. Bennett, S., K. Maton, and L. Kervin, 'The 'digital natives' debate: A critical review of the evidence.' *British journal of educational technology*, 2008. 39(5): p. 775–786.
36. Palfrey, J. and U. Gasser, *Born digital: Understanding the first generation of digital natives*. 2011: ReadHowYouWant. com.
37. Hargittai, E., 'Digital na(t)ives? Variation in internet skills and uses among members of the "net generation".' *Sociological inquiry*, 2010. 80(1): p. 92–113.
38. Breakstone, J., et al., 'Students' Civic Online Reasoning: A National Portrait.' *Educational Researcher*, 2021. 50(8): p. 505–515.
39. Breakstone, J., et al., 'Lateral reading: College students learn to critically evaluate internet sources in an online course.' *Harvard Kennedy School (HKS) Misinformation Review*, 2021. 2.
40. Bartlett, J. and C. Miller, *Truth, lies and the Internet: a report into young people's digital fluency*. 2011.
41. Barzilai, S. and A. Zohar, 'Epistemic thinking in action: Evaluating and integrating online sources.' *Cognition and Instruction*, 2012. 30(1): p. 39–85.
42. McGrew, S., et al., 'Can students evaluate online sources? Learning from assessments of civic online reasoning.' *Theory & Research in Social Education*, 2018. 46(2): p. 165–193.
43. Walraven, A., S. Brand-Gruwel, and H.P. Boshuizen, 'How students evaluate information and sources when searching the World Wide Web for information'. *Computers & Education*, 2009. 52(1): p. 234–246.
44. Breakstone, J., et al., 'Students' civic online reasoning: A national portrait.' *Educational Researcher*, 2019: p. 0013189X211017495.
45. Wineburg, S. and N. Ziv, 'The Meaninglessness of the .Org Domain,' in *New York Times*. 2021: New York.
46. Nygren, T. and M. Guath, 'Swedish teenagers' difficulties and abilities to determine digital news credibility.' *Nordicom Review*, 2019. 40(1): p. 23–42.
47. Porat, E., I. Blau, and A. Barak, 'Measuring digital literacies: Junior high-school students' perceived competencies versus actual performance.' *Computers & Education*, 2018. 126: p. 23–36.
48. Oreskes, N. and E.M. Conway, *Merchants of Doubt*. 2010, New York: Bloomsbury Press.

49. Lakatos, I., 'Falsification and the methodology of scientific research programmes,' in *Criticism and the Growth of Knowledge*, I. Lakatos and A. Musgrave, Editors. 1974, Cambridge University Press: London.
50. Latour, B., *Pandora's hope: Essays on the reality of science studies*. 1999, Cambridge, MA: Harvard Univ Press.
51. Zemplén, G.Á., 'Putting sociology first—reconsidering the role of the social in 'nature of science' education.' *Science & Education*, 2009. 18(5): p. 525–559.
52. Kienhues, D., R. Jucks, and R. Bromme, 'Sealing the gateways for post-truthism: Re-establishing the epistemic authority of science.' *Educational Psychologist*, 2020. 55(144–154).
53. Elgin, C.Z., *True Enough*. 2017, Cambridge, MA: Harvard University Press.
54. Siegel, H., 'The Rationality of Science, Critical Thinking and Science Education.' *Synthese*, 1989. 80(1): p. 9–42.
55. Allchin, D., 'Teaching the nature of science through scientific errors.' *Science Education*, 2012. 96(5): p. 904–926.
56. Duncan, R.G., C.A. Chinn, and S. Barzilai, 'Grasp of evidence: Problematizing and expanding the Next Generation Science Standards' conceptualization of evidence.' *Journal of Research in Science Teaching*, 2018. 55(7): p. 907–937.
57. Sharon, A.J. and A. Baram-Tsabari, 'Can science literacy help individuals identify misinformation in everyday life?' *Science Education*, 2020. 104(5): p. 873–894.
58. Collins, H., *Are We All Scientific Experts Now?* 2014, Cambridge, UK: Polity Press.
59. Activation Lab, *Valuing Science*. 2017, Lawrence Hall: Berkeley, CA.
60. Neuvonen, M., K. Kivinen, and M. Salo, *Fact-checking for educators and future voters*. 2018, Factbar EDU: Factbar EDU, Finland.
61. Pennycook, G., et al., 'Shifting attention to accuracy can reduce misinformation online.' *Nature*, 2021. 592(7855): p. 590–595.
62. Basol, M., J. Roozenbeek, and S. van der Linden, 'Good news about bad news: Gamified inoculation boosts confidence and cognitive immunity against fake news'. *Journal of cognition*, 2020. 3(1).
63. Roozenbeek, J. and S. Van Der Linden, 'The fake news game: actively inoculating against the risk of misinformation.' *Journal of Risk Research*, 2019. 22(5): p. 570–580.
64. Guess, A.M., et al., 'A digital media literacy intervention increases discernment between mainstream and false news in the United States and India.' *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2020. 117(27): p. 15536–15545.
65. Lewandowsky, S., et al., *The Debunking Handbook 2020*. 2020. <https://sks.to/db2020>.
66. Lewandowsky, S. and S. van der Linden, 'Countering Misinformation and Fake News Through Inoculation and Prebunking.' *European Review of Social Psychology*, 2021: p. 1–38.
67. Wineburg, S. and S. McGrew, 'Lateral Reading and the Nature of Expertise: Reading Less and Learning More When Evaluating Digital Information.' *Teachers College Record*, 2019. 121(11): p. n11.
68. McGrew, S., 'Learning to evaluate: An intervention in civic online reasoning.' *Computers & Education*, 2020. 145: p. 103711.
69. Bergstrom, C.T. and J.D. West, *Calling bullshit: the art of skepticism in a data-driven world*. 2020: Random House.
70. Breakstone, J., et al., 'Why we need a new approach to teaching digital literacy.' *PHI DELTA KAPPAN*, 2018. 99(27–32).
71. Gigerenzer, G. and W. Gaissmaier, 'Heuristic decision making.' *Annual review of psychology*, 2011. 62: p. 451–482.
72. Hafenbrädl, S., et al., 'Applied decision making with fast-and-frugal heuristics.' *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 2016. 5(2): p. 215–231.

73. Wineburg, S., et al., 'Lateral Reading on the Open Internet: A District-Wide Field Study in High School Government Classes.' *Journal of Educational Psychology*, 2022 (in press).
74. Brashier, N.M. and E.J. Marsh, 'Judging truth.' *Annual Review of Psychology*, 2020. 71: p. 499–515.
75. Cialdini, R.B., *Influence: the psychology of persuasion*, revised edition. New York: William Morrow, 2006.
76. Goldman, A.I., 'Experts: Which Ones Should You Trust.' *Philosophy and Phenomenological Research*, 2001. 63(1): p. 85–110.
77. Michaels, D., *The triumph of doubt: dark money and the science of deception*. 2020: Oxford University Press.
78. Driver, R., et al., *Young People's Images of Science*. 1996, Buckingham: Open University Press.
79. Kitcher, P., *Science, Truth and Democracy*. 2001, Oxford: Oxford University Press.
80. Crombie, A.C., *Styles of scientific thinking in the European tradition: The history of argument and explanation especially in the mathematical and biomedical sciences and arts*. Vol. 1. 1994: Duckworth London.
81. Wong, S.L. and D. Hodson, 'From the horse's mouth: What scientists say about scientific investigation and scientific knowledge.' *Science Education*, 2009. 93(1): p. 109–130.
82. Rudolph, J.L., 'The lost moral purpose of science education.' *Science Education*, 2020. 104(5): p. 895–906.
83. Latour, B. and S. Woolgar, *Laboratory Life: The Construction of Scientific Facts*. 2nd ed. 1986, Princeton, NJ: Princeton University Press.
84. Claxton, G., *Educating the Inquiring Mind: the Challenge for School Science*. 1991, London: Harvester: Wheatsheaf.
85. Waldemeir, P., 'Wave of anti-vax Covid deaths takes its toll on US health workers,' in *Financial Times*. 2021: London, UK. p. 22.
86. Worth, K., *Miseducation: How Climate Change is Taught in America*. 2021, New York, NY: Columbia Global Reports.
87. Judge Jones, J.E., Memorandum Opinion. Case No:04 cv2688, 2005.
88. Longino, H.E., *Science as Social Knowledge*. 1990, Princetown, NJ: Princetown University Press.
89. Schauble, L., et al., 'Students' understanding of the objectives and procedures of experimentation in the science classroom.' *The Journal of the Learning Sciences*, 1995. 4(2): p. 131–166.
90. Watson, R., J. Swain, and C. McRobbie, 'Students' discussions in practical scientific enquiries.' *International Journal of Science Education*, 2004. 26(1): p. 25–46.
91. Cook, J., *Cranky Uncle Vs. Climate Change: How to Understand and Respond to Climate Science Deniers*. 2020, New York: Citadel Press.
92. Oreskes, N., 'The Scientific Consensus on Climate Change.' *Science*, 2004. 306: p. 1686.
93. Hofer, B. K., & Pintrich, P. R. (Eds.). (2002). *Personal Epistemology*. Lawrence Erlbaum.
94. Goldsworthy, A., R. Watson, and V. Wood-Robinson, *Developing understanding in scientific enquiry*. 2000, Hatfield: Association for Science Education.
95. Collins, H. and T. Pinch, *The Golem: what everyone should know about science*. 1993, Cambridge: Cambridge University Press.
96. Delamont, S., J. Benyon, and P. Atkinson, 'In the beginning was the Bunsen: the foundations of secondary school science.' *Qualitative Studies in Education*, 1988. 1: p. 315–28.
97. Hacking, I., *The emergence of probability: A philosophical study of early ideas about probability, induction and statistical inference*. 2006, Cambridge, UK: Cambridge University Press.
98. Kozyreva, A., et al., in *Taming Uncertainty*, R. Hertwig, T.J. Pleskac, and T. Pachur, Editors. 2019, MIT Press: Cambridge, MA. p. 343–362.
99. Operskalski, J.T. and A.K. Barbey, 'Risk literacy in medical decision-making.' *Science*, 2016. 352(6284): p. 413–414.

100. Wilke, C.O. and C.T. Bergstrom, 'Predicting an epidemic trajectory is difficult.' *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2020. 117(46): p. 28549.
101. Galesic, M. and R. Garcia-Retamero, 'Statistical numeracy for health: a cross-cultural comparison with probabilistic national samples.' *Archives of internal medicine*, 2010. 170(5): p. 462–468.
102. Fleischhut, N., S.M. Herzog, and R. Hertwig, 'Weather Literacy in Times of Climate Change.' *Weather, Climate and Society*, 2020. 12: p. 435–452.
103. Spiegelhalter, D., *The Art of Statistics: Learning from Data*. 2019, London UK: Penguin.
104. Spiegelhalter, D., M. Pearson, and I. Short, 'Visualizing Uncertainty About the Future.' *Science*, 2011. 333(6048): p. 1393–1400.
105. Gigerenzer, G., *Risk literacy, in This will make you smarter: New scientific concepts to improve your thinking* 2012, Harper Perennial. p. 259–261.
106. Adams, J., *Risk*. 1995, London: UCL Press Ltd.
107. Osborne, J.F. and A.R. Young, 'The biological effects of ultra-violet radiation: a model for contemporary science education.' *Journal of Biological Education*, 1998. 33(1): p. 10–15.
108. Lehrer, R. and L. Schauble, 'Cultivating model-based reasoning in science education,' in *The Cambridge handbook of the learning sciences*, R.K. Sawyer, Editor. 2006, Cambridge University Press: Cambridge. p. 371–387.
109. Harford, T., *How to Make the World Add Up: Ten Rules for Thinking Differently About Numbers*. 2020: Hachette UK.
110. Cairo, A., *How Charts Lie: Getting Smarter about Visual Information*. 2019, New York: Norton and Co.
111. Bernard, C., *An Introduction to the Study of Experimental Medicine*. 1957, New York: Dover Publication.
112. Donovan, B.M., 'Reclaiming Race as a Topic of the U.S. Biology Textbook Curriculum.' *Science Education*, 2015. 99: p. 1092–1117.
113. Donovan, B.M., 'Ending Genetic Essentialism Through Genetics Education.' *Human Genetics and Genomics Advances*, 2021. 3: p. 1–13.
114. Kahneman, D., *Thinking, fast and slow*. 2011: Macmillan.
115. Paulos, J.A., *Innumeracy*. 1988, London: Penguin Books.
116. Perlmutter, S., et al. Sense and Sensibility [University Course]. 2021; Available from: <https://sensesensibilityscience.berkeley.edu/>
117. Gottlieb, S., D. Keltner, and T. Lombrozo, 'Awe as a scientific emotion.' *Cognitive science*, 2018. 42(6): p. 2081–2094.
118. Valdesolo, P., J. Park, and S. Gottlieb, 'Awe and scientific explanation.' *Emotion*, 2016. 16(7): p. 937.
119. Osborne, J.F., S. Simon, and S. Collins, 'Attitudes towards Science: A Review of the Literature and its Implications'. *International Journal of Science Education*, 2003. 25(9): p. 1049–1079.
120. Potvin, P. and A. Hasni, 'Interest, motivation and attitude towards science and technology at K-12 levels: a systematic review of 12 years of educational research.' *Studies in Science Education*, 2014. 50(1): p. 85–129.
121. Harlen, W.E., *Principles and big ideas of science education*. 2010, Association for Science Education: Hatfield, Herts.
122. Lapsley, D. and D. Chaloner, 'Post-truth and science identity: A virtue-based approach to science education.' *Educational Psychologist*, 2020. 55(3): p. 132–143.
123. Allchin, D., 'The Credibility Games.' *American Biology Teacher*, 2020. 82: p. 535–541.
124. Edelman Trust, *Edelman Trust Barometer*. 2022, Edelman Trust.
125. Grizzle, A., et al., *Think Critically, Click Wisely! Media and Information Literate Citizens*. 2021, UNESCO: Paris.

126. Rudolph, J.L., *Scientists in the Classroom: The cold war reconstruction of American Science Education*. 2002, New York: Palgrave.
127. Bennett, N. and R. Turner-Bisset, 'Knowledge Bases and Teaching Performances,' in *Learning to Teach*, N. Bennett and C. Carré, Editors. 1993, Routledge: London. p. 149–164.
128. Turner-Bisset, R., *The Knowledge Bases of the Expert Teacher*. British Educational Research Journal, 1999. 25(1): p. 39–56.