



Ehendandi dolorem torem tempore quam, con perum ipsanda qui solorem quiant eate natur sinis mi, simet landiae samet harumqui qui ad quam, volest, od que sum quam voluptem quatur, volum accabore audam aris comnis aborumquam voluptus repuda denecabo. Nem nos simossin nust rest, con excscidunto odio doloria cust, quam, consectem fugia quatem comnis ut molorepratis est, ut occaect emperibus aut re vento magnateni sequo eos sero iur sus aliaes invello receaquis aut quis aut rempore cusdaectum am, natur se solore ella volorem porecte qui optio dero que ea illab is et fuga. Maiorepudit et que net fugiatianti bernati verum volorum latiae remquat ibustis unt volore, nissum resequo officipsunt autectur re porem et volenit eaquo bearibus ad quodias et invenih icidunt que quatempe lacest ea sintust, sit la soluptatur mos eatu.

Ut delis posam hillita sam, optae seratus quia quisqui testi iminus enimpor itianis pel ium quisqui consequatiora nimus essequi omnis porem aceaqui ullatis re corescidite nestet quisqui distius andaecernam rem voloremped et quid qui blanduntiis solupta tatist, sam alit que laceperum, nissim quo eossint volo eiunt,



UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE
CIUDAD JUÁREZ

UACJ

De componentes moleculares
a salud pública y ambiental

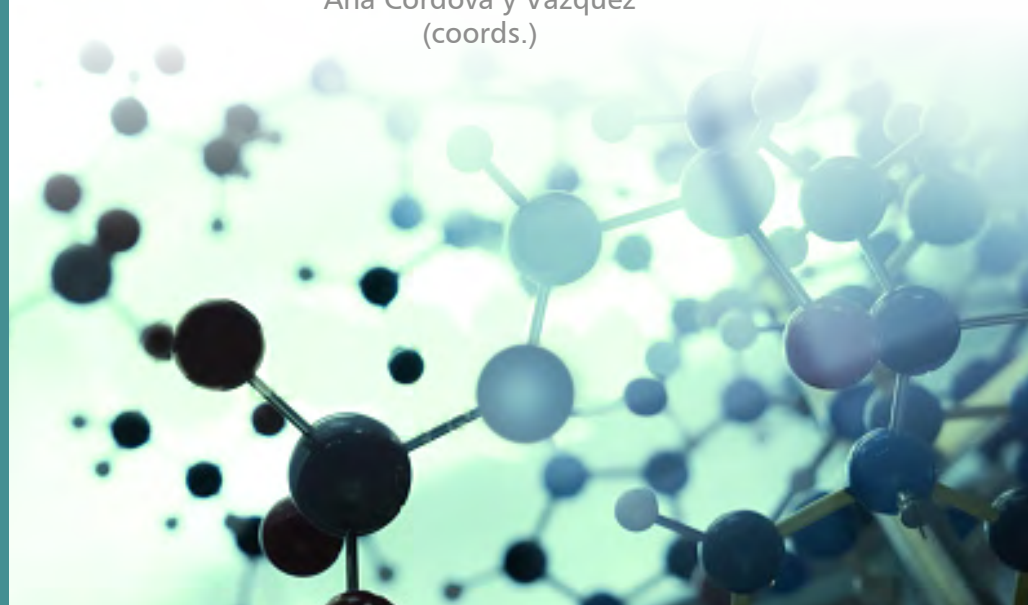
Jorge Alberto Pérez León
Ana Córdova y Vázquez (coords.)

De componentes moleculares a salud pública y ambiental

Ejemplos de investigación y propuestas científicas en México



Jorge Alberto Pérez León
Ana Córdova y Vázquez
(coords.)



UACJ | UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CIUDAD JUÁREZ

Ricardo Duarte Jáquez
Rector

David Ramírez Perea
Secretario General

Manuel Loera de la Rosa
Secretario Académico

Daniel Constandse Cortez
Director del Instituto de Ciencias Biomédicas

Ramón Chavira
Director General de Difusión Cultural y Divulgación Científica

Primera edición, 2016

ISBN: 978-607-520-195-5

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

D.R. © 2016 Jorge Alberto Pérez León y Ana Córdova y Vázquez (coords.)

D.R. © 2016 Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Avenida Plutarco Elías Calles 1210, Fovissste Chamizal
Ciudad Juárez, Chihuahua, México
C.P. 32310

Apoyado con recursos del Profocies, 2014

La edición, diseño y producción editorial de este documento estuvo a cargo de la Dirección General de Difusión Cultural y Divulgación Científica, a través de la Subdirección de Publicaciones.

Coordinación editorial: Mayola Renova González
Edición: Editorial Página Seis, S.A. de C.V.
Diseño: Cecilia Lomas

Impreso y hecho en México / Printed and made in Mexico

Índice

Presentación	9
Introducción	11
Síntesis de colecciones de moléculas con alta diversidad estructural a través de reacciones en cascada y/o consecutivas utilizando aductos de Ugi Luis D. Miranda	19
Identificación molecular de <i>Mycobacterium tuberculosis</i> : Herramienta diagnóstica de acceso universal Jesús Angel Araujo González, David Reyes Ruvalcaba y Marisela Aguirre Ramírez	35
Las conotoxinas como herramientas en el estudio de los receptores nicotínicos de acetilcolina Estuardo López Vera y Artemisa Flores Torres	53
Transmisión glicinérgica. Relevancia de los transportadores de glicina (tipo 1 y 2) Rosa Olivia Hernández-Caudillo, Sol Arlette Almeida Lara, Rocío Salceda Sacanelles y Jorge Alberto Pérez León	89
Manejo del nitrógeno en aguas urbanas. Nuevos paradigmas de gestión ambiental Ana Córdova y Vázquez	111
Enseñanza y divulgación de la ciencia Marco Antonio Sánchez Ramos	133

- Milburn, A.; Matsui, S. y Malmqvist, P. A. (2002). «Challenges of expanding ecological sanitation into urban areas». *Water Science and Technology*, 45, 195-198.
- Miller, T. G. (2005). *Living in the Environment. Principles, Connections, and Solutions*. Belmont: Wadsworth Publishing.
- NESC (National Environmental Services Center). (2012). «Minimizing Nitrogen Discharges from Onsite Wastewater Systems» *Pipeline*, 23(1).
- OMS (Organización Mundial de la Salud). (2006). *WHO Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater. Volume IV. Excreta and Greywater Use in Agriculture*. S/I: World Health Organization.
- Otterpohl, R.; Grottker, M., Lange, J. (1997). «Sustainable water and waste management in urban areas». *Water Science and Technology*, 35, 121-133.
- Pollard, R. (1997). «Survey of the effectiveness and user acceptance of composting toilets in Lismore City Council». Tesis de maestría no publicada, Southern Cross University, Australia.
- Sagarpa (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2013). «Prevé Sagarpa producir un millón de toneladas de fertilizantes en una primera etapa; la meta es cubrir el 70 por ciento de la demanda en el país». Recuperado el 5 de julio del 2013 de <<http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/tamaulipas/boletines/Paginas/2013B025.aspx>>.
- Separrett (s. a.). «Villa 9000» [web]. Recuperado de <www.separrett.com/villa-9000-en>.
- Shönning, C. y Stenström, T. A. (2004). *Guidelines on the use of Urine and Faeces in Ecological Sanitation Systems*. EcoSanRes Publication Series, vol. 1. Estocolmo: Stockholm Environment Institute
- Stoner, C. H. (1977). *Goodbye to the Flush Toilet*. Emmaus: Rodale Press, Inc.
- Sun-Mar (s. a.). «Excel». Recuperado de <www.sun-mar.com/prod_self_exce.html>.
- UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization) y GTZ (Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit). (2006). *Capacity Building for Ecological Sanitation*. París: International Hydrological Programme.
- Van der Ryn, S. (1995). *The Toilet Papers. Recycling Waste and Conserving Water*. Sausalito: Ecological Design Press.
- Wostman (s. a.). «Ecoflush». Recuperado de <www.wostman.se/ecoflush>.

Enseñanza y divulgación de la ciencia

Marco Antonio Sánchez Ramos¹

para Sofía y Ricardo, por sus maravillosas preguntas

Para que nos vayamos entendiendo

Ante todo es necesario diferenciar entre difusión, enseñanza y divulgación de la ciencia. De manera somera, puedo decir que la difusión es lo que generalmente hacen los investigadores científicos cuando comunican los resultados finales o los avances de su investigación, a través de seminarios, conferencias o escritos publicados en revistas especializadas. El público al que va dirigido esta difusión, principalmente, son los mismos investigadores o estudiantes de carreras científicas que tienen el conocimiento adecuado para comprender aspectos conceptuales y metodológicos de los temas particulares de la ciencia.

Por otra parte, la enseñanza de la ciencia es una labor llevada a cabo preferentemente por profesores que impulsan la formación de estudiantes de diferentes niveles educativos para que se entrenen en la obtención y el análisis de la información, en el planteamiento de preguntas e hipótesis relacionadas con la ciencia, en el uso de métodos y técnicas, y en el análisis y síntesis del conocimiento científico. Usualmente la enseñanza de la ciencia ha sido una forma de educar a los estudiantes a comprender y generar conocimiento a través de los métodos de la ciencia, pero una verdadera enseñanza de la ciencia debe impulsar el pensamiento científico para que los niños y jóvenes aprendan a ser escépticos, críticos, analíticos, metódicos, creativos y promotores de una cultura científica.

La divulgación científica, por su parte, tiene que ver con la comunicación hacia un público más amplio y menos especializado al que le acercamos el conocimiento científico, utilizando un lenguaje

¹ Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro. Red para la Divulgación de la Ciencia en Querétaro (REDICIQ).

sencillo, pero sin tergiversar los conceptos, ni las descripciones ni las explicaciones. La divulgación está presente desde la comunicación que establecen los mismos científicos, cuando leen artículos de revisión o escuchan conferencias de temas o áreas diferentes a su especialidad, hasta públicos cuya educación o actividades están completamente alejados de los temas de la ciencia, pero cuyo interés los lleva a enterarse de temas diversos a través de la radio, televisión, pláticas en centros culturales, plazas públicas o por medio de la lectura en revistas de ciencia no especializadas (Cerejido, 2002).

La labor de quienes hacen divulgación científica es muy importante, pero no debe centrarse exclusivamente en dar datos y cifras, aunque sea de una manera comprensible y hasta maravillosa, tal como se hace actualmente en cualquier parte del mundo (De Semir, 2000). La labor principal de los divulgadores científicos debe ser explicar qué es la ciencia, en qué se diferencia de la filosofía, la religión o el arte y, sobre todo, deben fomentar el pensamiento científico entre cualquier tipo de público.

¿Qué *no* es ciencia?

La ciencia no se trata de relatar la vida de personajes famosos como Galileo Galilei, Robert Hooke, Marie Curie, Albert Einstein o Silvia Torres (astrónoma mexicana estudiosa de las nebulosas), separándolos de sus contextos sociales, económicos, políticos y culturales (Marcos y Calderón, 2002). Los divulgadores de la ciencia deben dirigir sus esfuerzos para que el gran público comprenda que la ciencia es una actividad que depende de presupuestos para trabajar, de planes generados en instituciones estatales y privadas y que la generación de conocimiento no se da por ocurrencias geniales de unos cuantos, sino que es el trabajo de toda una sociedad bien organizada y con el conocimiento necesario para entender cuáles son los objetivos de la ciencia y cómo podemos apropiarnos y hacer uso del conocimiento generado por los científicos.

La ciencia tampoco se trata únicamente del uso de instrumentos científicos o de laboratorios bien equipados con instrumentos complicados, inaccesibles e incomprensibles para la mayoría de nosotros (Cerejido, 2008). Por supuesto que se necesitan materiales e instru-

mentos en la ciencia y, además, es necesaria cierta capacitación para poderlos manejar, pero lo importante en la labor de los divulgadores de la ciencia es que nos permitan diferenciar entre los que hacen ciencia de los que sólo experimentan o hacen investigación. La ciencia no se puede reducir a actividades técnicas como hacer experimentos o investigar, porque si eso fuera el caso a cualquier técnico de laboratorio o investigador de ovnis se le podría considerar como científico. Los científicos se valen, entre otras cosas, de los instrumentos para observar, analizar y tener una extensión de sus propios sentidos, pero definitivamente el pensamiento científico que poseen los llevan a discutir, evaluar, integrar e interpretar lo que están estudiando, sin la necesidad imperiosa de poseer el microscopio electrónico o el resonador de última generación para poder hacer ciencia.

Entonces, ¿qué es la ciencia?

La ciencia es una manera de comprender el mundo que nos rodea y a nosotros mismos, a través de un método científico con el cual se genera conocimiento como producto final (Pérez Tamayo, 1989).

Por supuesto, existen otras maneras de comprender el mundo, como la religión, la filosofía y el arte, que difieren de la ciencia por los siguientes aspectos:

1. Las bases del pensamiento religioso son los dogmas de fe, milagros, revelaciones y misterios que guían las creencias, el conocimiento del mundo y la conducta. Ejemplos de los dogmas aparecen en abundancia en el credo de la religión católica o en el *al-aqida* de la religión islámica, en los que están descritos hechos imposibles de confirmar y que por su extraordinaria presentación (como la resurrección de Jesús al tercer día, según las escrituras) merecen ser catalogados como milagros, los cuales muy pocas personas comprenderán o cuya verdad les será revelada y, para la mayoría de las personas dichos acontecimientos permanecerán como misterios.
2. El pensamiento filosófico, por otra parte, tiene como base el uso del razonamiento para poder alcanzar la comprensión de las cosas, sin la intervención de dogmas o el principio de autoridad que caracteriza al pensamiento religioso. De hecho, la filosofía clásica

griega surge como una expresión de libertad del pensamiento, si bien es influenciado por las expresiones artísticas y religiosas de su época, así como de las condiciones sociopolíticas que prevalecieron en el siglo VI antes de cristo, éstas no limitaron su surgimiento y su posterior desarrollo. Las bases de un pensamiento filosófico robusto son las argumentaciones lógicas, congruentes y consistentes que se construyen para explicar cualquier cosa de nuestro mundo (Reale y Antiseri, 1999).

3. El arte es una expresión humana libre y creativa que, a diferencia de la filosofía, no requiere de razonamientos lógicos para ser comprendida. Básicamente, como forma de comunicación, influye en el sentimiento y las emociones más que en la razón, lo que lo convierte en una expresión subjetiva que requiere prescindir de dogmas y el principio de autoridad para poder expresar la creatividad sin limitaciones.

La ciencia, similar a la filosofía, tiene como objetivo comprender el mundo y generar conocimiento, pero a diferencia de ésta, no se basa fundamentalmente en los razonamientos lógicos que tengan consistencia y congruencia con algún esquema teórico, sino en la posibilidad de generar ideas que sean susceptibles de someterse a pruebas empíricas y posteriormente ser contrastadas con la realidad. Este proceso por supuesto es creativo, pero a diferencia del arte las ideas generadas en la ciencia deben seguir reglas que reducen en gran parte la subjetividad inherente a cualquier actividad humana.

Las reglas en un pensamiento religioso nos limitan a preguntarnos el porqué de las cosas, debido a que son los dogmas y los actos de fe los que guían gran parte de este pensamiento, por lo que es absurdo preguntar en un templo religioso cuáles son las evidencias empíricas que se tienen para los milagros. Pero en un auditorio universitario, en un laboratorio de investigación, en un aula, es inconcebible que los estudiantes no se interesen en preguntar y buscar explicaciones para comprender el mundo que los rodea. En un recinto universitario, todos los que participamos en la formación y estimulación del pensamiento científico no sólo tenemos el derecho de preguntar, tenemos la obligación de hacerlo.

El objetivo es formar pensadores científicos

De acuerdo con las descripciones someras que hice en las líneas anteriores para diferenciar los distintos tipos de pensamientos, cualquiera podría desarrollar un pensamiento científico y empezar a hacerlo desde las edades tempranas del preescolar, o antes si las condiciones y las personas que nos rodearan fueran las adecuadas, pero la realidad es que no todos tienen el interés o las habilidades para comprender el mundo desde la perspectiva de la ciencia. Lo peor no es esto, sino que el sistema educativo de nuestro país ofrece serias dificultades para promover cualquier tipo de pensamiento crítico, libre y propositivo (González Casanova, 2001; Prieto González, 2008). He aquí la importancia de la intervención de los educadores y los divulgadores de la ciencia para contrarrestar una formación deficiente en nuestra manera de pensar y comprender el mundo. Educadores que sean capaces de estimular el pensamiento científico, esto es, que formen personas escépticas, que rompan con el principio de autoridad, que generen ideas susceptibles de ser comprobadas, que posean métodos para la obtención y discusión del conocimiento y que tengan la convicción de que dicho conocimiento puede ser modificado, ampliado o desechado.

Es necesario decir que todos los investigadores científicos deben tener, por supuesto, un pensamiento científico bien desarrollado, pero no todos los que desarrollan este tipo de pensamiento terminarán siendo científicos. Esto es un aspecto fundamental que debe ser entendido por los educadores de cualquier nivel, porque el objetivo de la educación no es formar tal o cual profesionista, sino estimular el pensamiento de las personas para que se interesen en comprender su mundo, se apasionen por el conocimiento y tengan herramientas y habilidades para buscarlo, generarlo, usarlo y difundirlo.

Es importante, por lo tanto, entender qué es el pensamiento científico para que los directivos de centros educativos, profesores, investigadores científicos y divulgadores de la ciencia podamos trabajar de manera cooperativa para tener las condiciones necesarias y desarrollar dicho pensamiento entre nuestros estudiantes, que les guste comprender lo que sea, que tengan interés por el conocimiento y, eventualmente, lo puedan generar.

El escepticismo

El aspecto que considero más importante del pensamiento científico es el escepticismo. Contrario a la definición popular que dice que el escéptico considera que la verdad no existe o, peor aún, que duda de todo, la etimología nos lleva por un camino mucho más interesante y dinámico. Escepticismo viene de la palabra griega *sképsis*, que significa «observar con detenimiento», «indagar», es decir, el escéptico es aquél que observa cuidadosamente e investiga antes de emitir un juicio sobre algo, no es un ente pasivo que niega o duda de las cosas, él va en busca de ideas alternativas, contrastantes, novedosas, que amplíen su visión y le permitan comprender mejor. En la ciencia no se trata de creer ciegamente o dudar de todo, esos extremos no nos sirven para comprender nuestro mundo; se trata de observar de una manera distinta, de plantear los problemas desde otras perspectivas, de buscar explicaciones alternativas y para eso necesitamos ser escépticos y, a la par de esto, tener la libertad de expresar nuestras ideas, defenderlas, discutir las propuestas de otros y, en el proceso, ir consolidando, rehaciendo o desechando nuestras ideas originales (Shermer, 1992). Si un gobierno, universidad o profesor no promueven entre los ciudadanos el escepticismo, tendremos serias dificultades para tener personas que generen ideas novedosas, creativas y útiles para la sociedad. Se estará fomentando la formación de individuos que sigan reglas de manera acrítica, técnicos sin la oportunidad de generar innovaciones, repetidores de las ideas y métodos de otros y consumidores de los productos generados en otras partes del mundo.

Michael Shermer, exeditor de la revista *Skeptic*, escribió un breve artículo sobre el escepticismo en la revista *Scientific American*, que tituló «El escepticismo como virtud» (2002). Aunque recomendando ampliamente su lectura, me parece que el título que escogió el autor es inapropiado, porque el ser escéptico no es una virtud, sino una obligación para todos aquellos que quieran desarrollar el pensamiento científico.

El principio de autoridad

La palabra *autoridad* es una derivación indoeuropea del verbo latino *auguere*, que significa aumentar, hacer crecer. Su significado original

no se relaciona con lo que actualmente le adjudicamos a las autoridades policíacas, al presidente de la república, al papa, a los profesores y directivos de una universidad, o a los propios padres que, sin tener muchas veces autoridad en el sentido original, ejercen su poder o potestad para dominar a los demás.

Cuando hablo de romper con el principio de autoridad no me refiero a faltarle al respeto a las personas, sean éstas que tengan autoridad en el sentido original de la palabra o sean las que la ejercen en el sentido actual. Me refiero a lo que idealmente proponía la Royal Society con la frase *nullius in verba*, que utilizaba durante la presentación de las conferencias en su recinto, para recordar que en la ciencia las discusiones son *en voz de nadie*, es decir, que se debe valorar la idea por encima de quien la emita, porque no debe importar qué títulos nobiliarios o académicos e incluso administrativos posea alguien, sino lo que diga o haga para fomentar la comprensión del mundo (Dear, 1985).

Si consideramos que lo que diga un científico ganador del Premio Nobel, el rector de una universidad o el presidente de la república tiene un valor o significado *per se*, estaremos fallando en nuestro pensamiento crítico y nuestra necesidad de observar con detenimiento e indagar alternativas del pensamiento (Cerejido, 2009). De igual forma, si desechamos las ideas por el simple hecho de que provienen de personas no reconocidas, sin estudios de posgrado, sin premios o de nuestros jóvenes estudiantes, estaremos contraponiéndonos a un correcto pensamiento científico que nos impulsa a discutir las ideas, no a los individuos (Garduño Oropeza y Zúñiga Roca, 2011). Si así lo hiciéramos, sería básicamente lo mismo aceptar el dogma que nos impone un líder religioso que votar ciegamente por las promesas sin fundamento de un líder político, o tener un acto de fe ante cualquier *verdad científica* que nos imponga un científico reconocido.

Es claro que las personas que llevan años formándose en el pensamiento científico van adquiriendo autoridad académica y moral y se vuelven más confiables mientras sigan desarrollando sus actividades en la ciencia (o en la política, si ese fuera el caso), pero si son verdaderos pensadores científicos, estarán atentos a las propuestas alternativas, incluso si se contraponen con las suyas y, llegado el momento, cuando esas otras propuestas tengan bases más sólidas o

expliquen mejor el mundo, deberá reconocerlo sin importar los años o los premios que haya o no acumulado su colega.

Un ejemplo bello de este comportamiento lo protagonizó Jean Baptiste Biot, físico experto en el comportamiento de la luz polarizada, que a la edad de 74 años se enfrentó con el joven Luis Pasteur de 22 años, quien le demostró que un compuesto químico exactamente con la misma estructura podía desviar la luz polarizada en distintas direcciones (Schwartz, 2013). Ahora conocemos a estos compuestos como estereoisómeros, pero en 1848, la demostración de Pasteur se contrapuso con los conocimientos de Biot y, a pesar de la gran diferencia en edad y experiencia que los separaba, éste pronunció las siguientes palabras: «Mi querido colega, he amado tanto las ciencias durante mi vida, que esto hace latir mi corazón».

Biot, por supuesto, tuvo una gran autoridad académica antes y después de esta disputa, pero el joven Pasteur tuvo la oportunidad de discutir sus ideas sin que esa autoridad interfiriera.

Alumno o estudiante

Un educador con autoridad rechazará abiertamente que a los niños y jóvenes se les considere como alumnos, porque esta palabra de origen latino significa «alimentar» y, aunque en este sentido el alumno crecerá con el tiempo, el método por el que lo hace es pasivo y no promueve la independencia del pensamiento ni el escepticismo necesario para que indague y genere alternativas (Prieto González, 2008). Un educador o divulgador que sólo da datos sin estimular el análisis, síntesis, razonamiento crítico o la creatividad estará formando individuos pasivos, con mucha información pero poco conocimiento, con la habilidad de encontrar datos en las páginas web o en artículos de ciencia novedosos y de experimentar en algún laboratorio siguiendo métodos como si fueran recetas de cocina, pero sin la capacidad adecuada para discutir los datos o los procedimientos de forma crítica o con la posibilidad de generar por él mismo un conocimiento propio (Prieto González, 2008). Por decirlo de una forma, estará alimentando con datos al cerebro, pero no lo estará haciendo crecer.

Un auténtico educador del pensamiento científico aumentará el potencial que posea cada uno de los niños y jóvenes para desarrollar

su pensamiento, sus habilidades, sus actitudes; promoverá la creatividad para que, eventualmente, sean generadores del conocimiento y, tal como ocurrió con Jean Baptiste Biot, esperará tener la fortuna de que alguno de esos jóvenes regrese y discuta con él y le enseñe algo, incluso si estas enseñanzas se contraponen con sus conocimientos.

Estudiante viene de la palabra latina *studere*, que significa «esforzarse», por lo que un verdadero educador será, ante todo, un buen estudiante que pondrá todo su empeño para formar personas que aprendan a canalizar todo su esfuerzo para desarrollar su propio potencial (Boisvert, 2004). Los auténticos educadores y divulgadores de la ciencia se esforzarán para contar con una sociedad formada por estudiantes, sean estos que acudan a un aula de preescolar o de universidad, ciudadanos sin educación formal, empresarios o políticos de cualquier nivel.

En este sentido, el educador o el divulgador se convertirá en una autoridad no por imposición o para ejercer el poder, sino en el sentido original del término, para potenciar las habilidades del pensamiento de los ciudadanos y, aunque suene paradójico, será esta misma autoridad la que impulse a los estudiantes a romper el principio de autoridad para llegar a ese ideal que pronunciaba la Royal Society: que todos los individuos puedan discutir las ideas, no a las personas que las generan (Sutton, 1994).

Qué, cómo y por qué

Una vez que se tienen las bases del pensamiento científico y las condiciones necesarias para desarrollarlo, conviene detenerse un momento a analizar cómo es que estimulamos en nuestros estudiantes o en el gran público su capacidad de comprensión. Mi propuesta es que sea con base en preguntas básicas que nos conduzcan a definir el objeto de estudio del cual surgirán nuevas preguntas. Empezamos con los datos del mundo que conocemos como hechos que, en palabras de Stephen Jay Gould, no significan certeza absoluta, sino sólo aquello que está razonablemente aceptado de una manera provisional (Gould, 1995). Dicho de otra manera, son los *qués* del mundo que necesitamos comprender, como la caída de los cuerpos o la biodiversidad, por dar dos ejemplos. Una vez identificados los hechos nos hacemos

preguntas generales similares a cómo son, cuántos son, cuánto miden, etcétera, lo que nos conduce a la descripción de estos hechos, similar a lo que hicieron Galileo Galilei o Isaac Newton al calcular el valor de la aceleración o la constante de gravitación, respectivamente. Estas descripciones están enmarcadas en lo que conocemos como leyes que, aunque les digamos universales, no quiere decir que sean inmutables y que se puedan utilizar en cualquier condición, sólo nos permiten describir los fenómenos o procesos, como la caída de una manzana o el movimiento de los planetas. De igual forma, para describir parte de la biodiversidad que apreciamos en nuestro planeta, nos valemos en parte de las leyes de Mendel, que nos permiten saber cómo se distribuyen las frecuencias génicas que hacen posible la aparición de una buena parte de la variedad fenotípica que observamos.

No obstante, ni las leyes físicas relacionadas con el movimiento de los cuerpos ni las leyes biológicas de la herencia son capaces de contestar a la pregunta «por qué», que nos abre la posibilidad de empezar a comprender. Galileo y Newton describieron espléndidamente cómo caen los cuerpos, pero no pudieron explicar por qué caen; mientras que Mendel pudo describir cómo se combinaban los genotipos para dar las características externas de los organismos, pero no explicó por qué se generan las diferencias entre especies. Para contestar a la pregunta «por qué» necesitamos las teorías que, contrario a lo que expresa la sabiduría tradicional, no son ideas incompletas que necesitan comprobarse, sino un sistema de conceptos, comprobaciones e hipótesis que nos sirven para explicar los hechos del mundo (Gould, 1999; Fischhoff, 2013). De esta forma se tuvo que esperar hasta la segunda década del siglo xx para explicar que la gravedad no es una fuerza, como lo propuso Newton, sino la deformación del espacio-tiempo, como fue establecido en la teoría de la relatividad (Hawking, 2007). Así también, la teoría de la evolución, propuesta por Darwin y Wallace, fue la que explicó una de las maneras de generar nuevas especies, a través del mecanismo de la selección natural (Mayer, 2005; Gould, 2004).

Los hechos del mundo son interesantes y hasta maravillosos, pero necesitan ser descritos y explicados para poder dar pasos firmes hacia la comprensión de nuestro mundo, aspecto que es, en última instancia, el objetivo de la ciencia.

Las ideas científicas no se sacan de la manga

Los profesores y divulgadores suelen dar datos y contar historias a medias, pero no siempre nos ofrecen los elementos para comprender que la ciencia también es un proceso de construcción que suele ir acompañado de procedimientos a los que llamamos, en conjunto, el método científico.

Nos podrá sorprender saber que hay especies de colibríes que pueden batir sus alas 75 veces por segundo (Warrick *et al.*; 2012); que la cantidad de genes contenidos en los cromosomas provenientes de nuestros padres o madres ronda los 20 500 (Encode Project Consortium, 2012); o que el campo y el bosón de Higgs son los responsables de la adquisición de la masa (Particle Data Group, 2014). Pero si no comprendemos cómo se llegaron a proponer las ideas, cómo le hacen los investigadores científicos para generar conocimiento a través de las pruebas empíricas, cómo se discuten las propuestas dentro de una comunidad o qué tipo de dificultades tienen los científicos mexicanos para realizar su labor en un país que no les da el apoyo suficiente, será muy difícil que entendamos el objetivo de la ciencia, ejercitemos el pensamiento científico y, eventualmente, nos apropiemos del conocimiento que surge de esta actividad (Cereijido, 2009).

Hay un ejemplo en el campo médico que nos puede ilustrar de manera muy sencilla el proceso de obtención de conocimientos nuevos y su aplicación en diferentes contextos. Se trata de la historia de cómo llegamos a comprender la importancia de lavarnos las manos antes de comer y después de ir al baño.

Ignác Semmelweis fue un médico húngaro que se enfrentó al problema de la sepsis puerperal (conocida en su tiempo como fiebre puerperal), que es una infección generalizada durante el puerperio o periodo que sigue inmediatamente después del parto. Hoy sabemos que puede ser causada por bacterias de los géneros *Escherichia*, *Streptococcus* o *Clostridium*, sea que surjan del propio organismo o que sean trasladados de otras fuentes (Noakes *et al.*, 2008).

Pero esto es como platicarles el final de la historia, por lo que contándolo así deja de tener interés para estimular el pensamiento científico. Sin embargo, si los profesores y divulgadores nos pusieran a pensar sobre el proceso que se llevó a cabo para poder tener ahora esa información al alcance de nuestra mano, con preguntas como,

en qué año vivió Semmelweis, dónde hizo sus observaciones, qué pensó al principio, cómo resolvió los problemas, qué antecedentes tenía, cómo llegó a sus conclusiones, convertiríamos un simple dato en toda una aventura del pensamiento científico. Pondríamos a las personas en un contexto en el que aún no se generalizaba la teoría de los gérmenes, con médicos cuyos comportamientos nos horrorizarían en esta época, pero al inicio y a mediados del siglo XIX era común ver a los profesionales de la salud demostrar su experiencia con la cantidad de mugre y sangre en sus batas y manos, con una comunicación deficiente de algunas comunidades científicas y una escasa influencia de la ciencia en los administradores que generan políticas de salud para una población o un país (Cerejido, 2005).

Ubicándolos en ese contexto, nuestros estudiantes y el gran público tendrían la oportunidad de ir recreando la historia, proponiendo algunas hipótesis que el mismo Semmelweis planteó (como la influencia de los fenómenos telúricos o las bendiciones de los sacerdotes); se enfrentarían a dificultades metodológicas para obtener datos, entenderían la importancia del diseño experimental para comparar los resultados, tal como lo hizo Semmelweis al comparar un ala del hospital con alta mortalidad de mujeres atendidas por médicos y estudiantes de medicina, respecto a otra ala atendida preferentemente por parteras (Noakes *et al.*, 2008). En fin, los profesores y divulgadores tendrían una infinidad de oportunidades para dejar de darle importancia a los datos y empezar a hacernos vivir las historias de la ciencia, comprender el proceso de generación de conocimiento y estimular nuestro pensamiento científico.

Y después de hacernos pensar, bien podrían terminar el cuento contándonos lo dramática que fue la muerte de Ignác Semmelweis. Después de haber demostrado que los médicos y estudiantes de medicina eran los causantes de la muerte de sus pacientes por sepsis puerperal, simplemente por no lavarse las manos después de hacer autopsias, casi nadie de la comunidad científica se convenció de los datos contundentes que les ofreció. En un acto desesperado hizo una última demostración científica: utilizó un bisturí que había sido introducido en un cadáver y se cortó en varias partes de su cuerpo, con lo que provocó una sepsis parecida a la fiebre puerperal y, como era de esperarse, murió a los pocos días (Noakes *et al.*, 2008).

No basta con dar datos que podemos encontrar en cualquier enciclopedia real o virtual o mencionar nombres de científicos famosos y contar sus proezas. Lo que importa en la enseñanza y divulgación de la ciencia es estimular el pensamiento científico de nuestros estudiantes y del público en general con el fin de que comprendan las cosas y los procesos de nuestro mundo, que traten de participar en la generación de conocimiento o, al menos, en las discusiones que se dan en torno al uso de esos conocimientos, el apoyo de la ciencia y la importancia para el desarrollo de cualquier país.

Esto no se acaba hasta que se acaba

Ya que llegamos a tener una mejor comprensión de nuestro mundo, los profesores y divulgadores de la ciencia deberán impulsar una y otra vez el ciclo del pensamiento científico, promoviendo el escepticismo, alentando a romper el principio de autoridad, hacer pensar a los estudiantes y al gran público para que generen ideas creativas, hagan suyo el conocimiento científico, lo usen y desarrollen su pensamiento. Sólo así podremos aspirar a tener ciudadanos más participativos, críticos, creativos, apasionados por conocer y comprender el mundo que los rodea (Bonfil Olivera, 2005). Sólo así empezaremos a pensar en un país generador de conocimiento y de tecnología propios, con plena comprensión de la importancia de la Ciencia, un país con menos analfabetismo científico (Cerejido, 2005).

Así de importante es la labor de los educadores y divulgadores de la ciencia como formadores de ciudadanos que, en su momento, le exigirán a las autoridades de nuestro país, que se desenvuelven en los ámbitos político, económico, educativo, cultural, científico y demás, que honren las palabras *autoridad* y *estudiante*, y que nos den la oportunidad de crecer, de aumentar nuestras capacidades y valoren a todas aquellas personas que se esfuerzan día a día por hacernos comprender el mundo que nos rodea, las que generan conocimiento científico y las que forman a los niños y jóvenes de nuestro país.

Al final de nuestros días, cuando se nos acabe nuestro turno de participar en esta gran rueda de la fortuna como educadores y divulgadores de la ciencia, será agradable saber que habrá alguien en algún lugar que le interese saber cómo funciona su mundo, cómo funciona

su cerebro, cómo se forman sus pensamientos. Pero el día memorable será cuando ese alguien regrese con nosotros para enseñarnos algo nuevo, mejor aún si se contrapone con los que creíamos saber.

Bibliografía

- Boisvert, J. (2004). *La formación del pensamiento crítico*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Bonfil Olivera, M. (2005). *La ciencia por gusto. Una invitación a la cultura científica*. México: Paidós Ibérica.
- Cerejido, M. (2002). «El vulgo para el que se divulga». En Tonda, J.; Sánchez, A. M. y Chávez, N. (Coords.). *Antología de la divulgación de la ciencia en México* (pp. 75-86). Colección Divulgación para divulgadores. México: UNAM.
- (2005). «La madre de todos los desastres. Reflexiones sobre el analfabetismo científico». *Conversus IPN*, 45, 66-71.
- (2008). *¿Por qué no tenemos Ciencia?*. México: Siglo XXI.
- (2009). *La ciencia como calamidad*. España: Gedisa.
- De Semir, V. (2000). «Periodismo científico, un discurso a la deriva». *Revista Iberoamericana de discurso y Sociedad*, 2(2), 9-37.
- Dear, P. (1985). «Totius in Verba. Rhetoric and authority in the early Royal Society». *Chicago Journals: History of Science Society*, 76(2), 144-161. Recuperado de <<http://www.jstor.org/stable/231744>>.
- Encode Project Consortium. (2012). «An integrated encyclopedia of DNA elements in the human genome». *Nature*, 489, 57-74.
- Fischhoff, B. (2013). «The sciences of science communication». *PNAS*, 110 (suplemento 3), 1403-1409.
- Garduño Oropeza, G. y Zúñiga Roca, M. F. (2011, agosto-septiembre). «La comunicación de la ciencia: génesis e implicaciones contextuales en revistas especializadas». *Razón y Palabra*, 77.
- González Casanova, P. (2001). *La universidad necesaria en el siglo XXI*. México: Era.
- Gould, S. J. (1999). «La evolución como hecho y como teoría». En *Dientes de gallina y dedos de caballo*. España: Crítica.
- (2004). *La estructura de la teoría de la evolución* (Colección Metatemáticas, núm. 82). España: Tusquets.
- Hawking, S. (2007). *La gran ilusión. Las grandes obras de Albert Einstein*. Barcelona: Crítica.
- López Aymes, G. (2012). «Pensamiento crítico en el aula». *Docencia e Investigación*, 37(22), 41-60.
- Marcos, A. y Calderón, F. (2002). «Una teoría de la divulgación de la ciencia». *Revista Colombiana de Filosofía de la Ciencia*, 3(6 y 7), 7-40.
- Mayer, E. 2005. *Así es la Biología*. España: Debate.
- Noakes, T. D.; Borresen, J.; Hew-Butler, T.; Malbert, M. I. y Jordaan, E. (2008). «Simmelweis and the aetiology of puerperal sepsis 160 years on: a historical review». *Epidemiology & Infection*, 136, 1-9.
- Particle Data Group. (2014). *Status of Higgs Boson Physics*. Recuperado de <<http://pdg.lbl.gov>>.
- Pérez Tamayo, R. (1989). *Cómo acercarse a la Ciencia*. México: Consejo Nacional para la Cultura y las Artes / Limusa-Noriega.
- Prieto González, J. M. (2008). «Pensamiento crítico y universidad. Estrategias para la consolidación de una sociedad democrática en México». *Investigación y Ciencia*, 42, 36-44.
- Reale, G. y Antiseri, D. (1999). *Historia del pensamiento filosófico y científico*. Volumen I. España: Herder.
- Shermer, M. (1992). «Sum ergo cogito. I am therefore a think. A skeptical manifesto». *Skeptic Magazine*, 1(1), 15-21.
- Shermer, M. (2002, abril). «Skepticism as a virtue». *Scientific American*, 37.
- Schwartz, M. (2013). «Louis Pasteur and Chemistry». *European Reviews*, 21(2): 200-208. Recuperado de <http://journals.cambridge.org/abstract_S1062798712000361>.
- Sutton, C. (1994). «Nullius in verba» and «nihil in verbis»: Public understanding of the role of language in the science». *British Journal of the History of Science*, 27, 55-64.
- Warrick, D.; Hedrick, T.; Fernández, M. J.; Tobalske, B. y Biewener, A. (2012). «Hummingbird flight». *Current Biology*, 22(12), 472-477.