



ESCUELA DE BACHILLERES  
"Antonio María de Rivera"  
FEB- 2024 - JUL - 2024

  
Departamento  
Académico

# ANTOLOGÍA

ASIGNATURA: **COMPRENSIÓN LECTORA**

SEXTO SEMESTRE

**FEBRERO 2024 - JULIO 2024**

Campo disciplinar (Lenguaje y Comunicación)

NOMBRE DEL ALUMNO: \_\_\_\_\_ GRUPO: \_\_\_\_\_



## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>4</b>
<b>LECTURAS</b>	
<b>1. ¡Corre homo, corre!.....</b>	<b>7</b>
<b>2. Edición genética en humanos. La gran controversia .....</b>	<b>13</b>
<b>3. ¿Está temblando más que antes? .....</b>	<b>18</b>
<b>4. Fracking. Beneficios fugaces... ¿daños permanentes? .....</b>	<b>23</b>
<b>5. La carne cultivada .....</b>	<b>29</b>
<b>6. La ciencia que precede a la tormenta.....</b>	<b>34</b>
<b>7. La inteligencia artificial no es como la pintan.....</b>	<b>40</b>
<b>8. No pegues tu chicle.....</b>	<b>45</b>
<b>9. Ondas gélidas.....</b>	<b>51</b>
<b>10. ¿Papel o plástico? .....</b>	<b>56</b>
<b>11. Trastornos de ansiedad: la marca del miedo.....</b>	<b>62</b>
<b>12. Un laboratorio en tu bolsillo .....</b>	<b>69</b>
<b>13. Una aventura de sexo y ciencia.....</b>	<b>75</b>
<b>14. ANEXOS</b>	
<b>14.1 Actividades de las lecturas.....</b>	<b>82</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>85</b>



## INTRODUCCIÓN

La comprensión lectora representa la columna Vertebral para la adquisición de conocimientos. Es entendida como el resultado de un proceso de construcción de significado, en el que participan dos elementos: lector y texto (literarios, informativos, científicos, etc.), en las que se analiza la dimensión lingüística, informativa, expresiva e intencional del autor.

El potencial formativo de la comprensión lectora Va más allá del éxito en los estudios; la lectura proporciona cultura, desarrolla el sentido estético, actúa sobre la formación de la personalidad y es fuente de recreación y gozo. La comprensión lectora constituye un Vehículo para el aprendizaje, para el desarrollo de la inteligencia y la imaginación, para la adquisición de cultura y para la educación.

Por tal motivo, la Dirección de la Escuela de Bachilleres Diurna "Antonio María de Rivera" a través del Campo Disciplinar de Lenguaje y Comunicación, desarrolló la presente antología de Comprensión Lectora para quinto semestre, con el propósito de disponer de un complemento didáctico que apoye a sus estudiantes en el manejo de una serie de producciones escritas a los que se enfrentan durante su formación académica y su práctica en distintos ámbitos de la sociedad.

### Importancia de la comprensión lectora

La lectura tiene una gran importancia en el proceso de desarrollo y maduración de los niños y en el logro de aprendizajes significativos en los jóvenes y en los adultos. La relación que existe entre comprensión lectora y rendimiento escolar es imperativa.

El potencial formativo de la comprensión lectora Va más allá del éxito en los estudios; la lectura proporciona cultura, desarrolla el sentido estético, actúa sobre la formación de la personalidad y es fuente de recreación y gozo. La comprensión lectora constituye un Vehículo para el aprendizaje, para el desarrollo de la inteligencia y la imaginación, para la adquisición de cultura y para la educación. Sin duda uno de los problemas que más preocupa a los profesores de cualquier nivel es el de la comprensión lectora; frecuentemente se preguntan cómo enseñar a los alumnos a comprender lo que leen.

### ¿Por qué realizar una lectura comprensiva?

Leer comprensivamente es indispensable para el estudiante. Esto es algo que él mismo Va descubriendo a medida que avanza en sus estudios. En el nivel primario y en menor medida en el nivel medio, a veces alcanza con una comprensión mínima y una buena memoria para lograr altas calificaciones. Pero no debemos engañarnos, a medida que accedemos al estudio de temáticas más complejas, una buena memoria no basta; de ahí la importancia que los estudiantes estén conscientes de estas habilidades, de su desarrollo, así como la implementación de ellas para su vida como educandos y futuros profesionales.



## ORIENTACIONES METODOLÓGICAS

Este cuaderno de trabajo ha sido diseñado con la finalidad de que los alumnos procesen la información y desarrollen ejercicios y actividades contenidas en cada uno de los temas, de manera individual y/o grupal, empleando una hora a la semana. Sin embargo, **la antología es una base** para ello, por lo que **será de gran apoyo la información, actividades de enseñanza-aprendizaje y retroalimentación** que puedan obtener del maestro que les imparte este curso. **Se sugiere incorporar actividades o temas** que se crean pertinentes, de acuerdo a las necesidades del grupo.

Se propone a los docentes que atiendan a las siguientes orientaciones metodológicas, para apoyar muy comprometidamente a sus alumnos, de modo que este recurso didáctico les pueda servir como una herramienta de fortalecimiento y mejora, en todas las asignaturas y extenderlo a su diario Vivir.

En un primer momento, acompañar a los alumnos en la lectura de la presentación y organización del cuaderno de trabajo. Identificar y comentar con ellos los temas específicos que han sido desarrollados; esto se puede hacer de manera grupal en un espacio de clase.



Previo al estudio de un tema: presentar la situación planteada en la introducción, con la intención de generar una activación cognitiva en los alumnos en relación con la temática a estudiar.

Orientar la atención de los estudiantes sobre los aspectos del tema en los que deberán poner especial cuidado al momento de procesar la información y realizar los ejercicios y actividades planteadas; se recomienda que esto se realice al finalizar una clase.

Posterior al estudio de un tema (al final de la clase): retroalimentar el aprendizaje de los alumnos mediante una actividad grupal en la que hagan una recapitulación breve sobre el desarrollo de los ejercicios y las soluciones de cada uno de ellos, con la finalidad de socializar el aprendizaje individual de los jóvenes y resolver las dudas que se presenten.

Esperamos que estas orientaciones sean de utilidad para lograr el fortalecimiento de los temas que contiene el cuaderno de trabajo y generar la adquisición de los aprendizajes esperados.

## LECTURAS

### LECTURA 1.

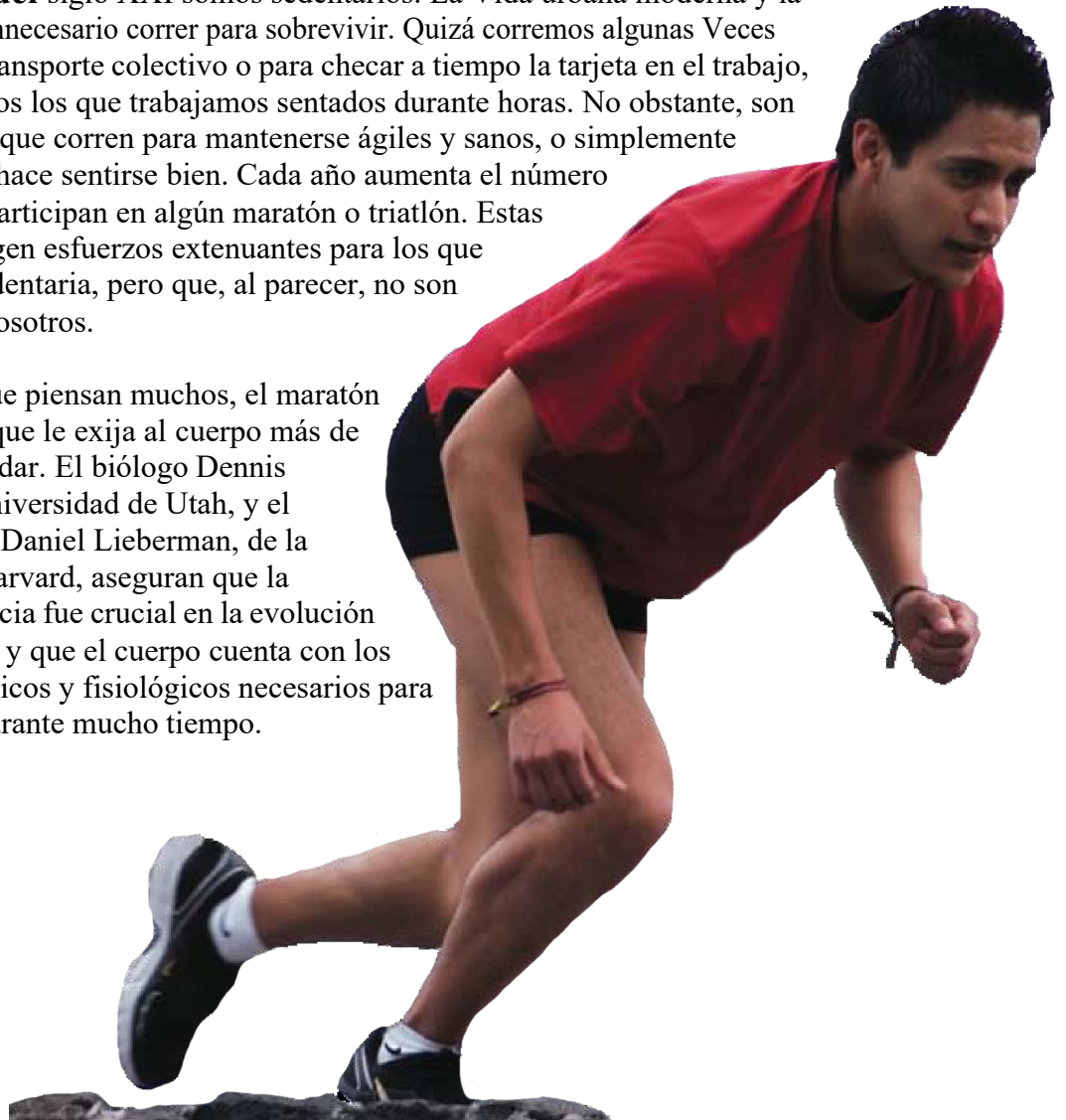
¡Corre homo, corre! | Gertrudis Uruchurtu | *A la memoria de Polo, corredor infatigable*



*“Los seres humanos no estamos hechos para correr rápido, pero sí para correr distancias largas. He aquí la evidencia anatómica y fisiológica de que estamos mejor adaptados para la carrera de resistencia que muchos otros mamíferos”.*

**Los humanos del** siglo XXI somos sedentarios. La Vida urbana moderna y la tecnología hacen innecesario correr para sobrevivir. Quizá corremos algunas Veces para subirnos al transporte colectivo o para checar a tiempo la tarjeta en el trabajo, pero somos muchos los que trabajamos sentados durante horas. No obstante, son cada Vez más los que corren para mantenerse ágiles y sanos, o simplemente porque correr los hace sentirse bien. Cada año aumenta el número de personas que participan en algún maratón o triatlón. Estas competencias exigen esfuerzos extenuantes para los que llevamos Vida sedentaria, pero que, al parecer, no son antinaturales en nosotros.

En contra de lo que piensan muchos, el maratón no es un deporte que le exija al cuerpo más de lo que éste puede dar. El biólogo Dennis Bramble, de la Universidad de Utah, y el paleoantropólogo Daniel Lieberman, de la Universidad de Harvard, aseguran que la carrera de resistencia fue crucial en la evolución del *Homo sapiens* y que el cuerpo cuenta con los elementos anatómicos y fisiológicos necesarios para ir a paso Veloz durante mucho tiempo.





Muchos mamíferos superan al hombre en el *sprint*, que consiste en correr a su Velocidad máxima durante un lapso breve. El guepardo es el animal más Veloz, pues llega a los 120 kilómetros por hora. Los perros más rápidos alcanzan los 50 kilómetros por hora. En cambio, la Velocidad máxima de un atleta de primer orden en la carrera de los 100 metros planos es de apenas 36 kilómetros por hora. La Velocidad del *sprint* se puede mantener por poco tiempo porque el esfuerzo que requiere eleva la temperatura corporal por encima de los 40 ° C. Todos los animales, incluyendo el hombre, dejan de correr cuando su cuerpo llega a esa temperatura.

Si persisten pueden morir. Pero en carrera de resistencia los humanos superan a la mayoría de los mamíferos, como señalan Bramble y Lieberman, porque nuestro organismo está adaptado para utilizar la energía de y mantener la estabilidad del cuerpo pese a la complejidad de los movimientos necesarios para correr.

## Tendones exclusivos

En un artículo publicado en la revista *Nature* en 2004, Bramble y Lieberman muestran que al correr las piernas se comportan como un resorte que almacena y recicla la energía de cada zancada. Al pisar, el arco del pie se comprime al mismo tiempo que se dobla la rodilla; el centro de gravedad del cuerpo baja y en el siguiente paso es impulsado hacia arriba. La energía cinética de este aterrizaje del pie se almacena en los tendones del arco y en el gran tendón de Aquiles, que conecta los músculos de la pantorrilla con el hueso del talón y con el ligamento iliotibial.

Este ligamento se conecta desde el hueso ilíaco hasta la tibia, con el músculo más potente del cuerpo humano, el glúteo máximo. Ni el glúteo máximo, ni el tendón de Aquiles ni el iliotibial intervienen al caminar; son exclusivamente para correr. Los tendones forman la unión entre

los músculos y los huesos y se contraen y se extienden como resortes para dar el siguiente paso.

Están compuestos por una proteína llamada colágeno, que tiene precisamente la estructura de un resorte. Las fibras de colágeno se enrollan para darle al tendón una gran resistencia y capacidad de almacenar energía elástica. Los animales que corren, como las gacelas o los canguros, tienen grandes tendones. En los que no corren, los tendones son muy pequeños o no existen.

Recientemente Herman Poner, antropólogo de la Universidad Washington de San Luis Missouri, desarrolló un modelo matemático basado en principios de física que comprueba que la energía que se consume al correr depende de dos factores principales: la Velocidad y la longitud de las piernas. Tanto en el hombre como en los animales, mientras mayor es la longitud de las piernas, menor es la cantidad de movimientos que se ejercen hacia arriba y hacia abajo al correr, lo que reduce considerablemente la fuerza necesaria para empujar hacia abajo en cada paso. Bramble y Lieberman experimentaron con gente, perros, cabras y otros animales en caminadoras que adaptaron en su laboratorio, y calcularon la energía gastada midiendo el oxígeno que consumían sus organismos al correr una misma distancia. En todos los casos, esta energía es inversamente proporcional a la longitud de las piernas; es decir, a mayor longitud, menor energía gastada.

## Corredores sin cola

Los animales al correr mantienen su estabilidad gracias a la cola. El movimiento de ésta contrarresta la tendencia a caer hacia delante que provoca la inercia de cada zancada. En nuestro caso, como no tenemos cola que nos pisen, el tronco se inclina hacia



delante cada vez que el pie golpea el suelo, y el glúteo máximo, que es un músculo enorme, se contrae e impide la caída. La cintura relativamente angosta unida al tórax móvil permite que los movimientos alternos de brazos y hombros contrarresten también la tendencia a irse de bruces. Por otro lado, la movilidad de las vértebras del cuello podría hacer que la cabeza se bamboleara libremente en la carrera. Sin embargo, los humanos tenemos un ligamento que se inserta desde la base del cráneo hasta la séptima vértebra cervical —el ligamento nual—, que mantiene nivelada la cabeza. Así podemos correr con la vista fija hacia el frente y sin perder el equilibrio.

### “¡Niké! ¡Niké!”

Así gritó Fidípides con todas sus fuerzas a las puertas de Atenas un día, hace 2 500 años. No se trataba de publicidad de artículos deportivos (*Niké* en griego, significa “Victoria”), sino de una noticia: el ejército ateniense, formado por sólo 12 000 soldados, acababa de vencer al enemigo persa, 10 veces más numeroso, en las playas de Maratón, 42 kilómetros al noreste de Atenas. Era fundamental anunciar la noticia con prontitud, pues los persas, al verse derrotados, pensaron que la ciudad estaba desprotegida. Los sobrevivientes persas regresaron a sus naves para dirigirse por mar a Atenas. Si tenían suerte, llegarían a tomarla por sorpresa. El anuncio de Fidípides dio a los griegos el ánimo necesario para defender la Acrópolis con el precario ejército que había quedado defendiendo la ciudad. Cumplido su encargo, Fidípides cayó muerto, y no porque tuviera mala condición física, sino porque desde el amanecer había combatido al lado de sus compañeros y después de un día de extenuante guerra, emprendió la maratónica carrera.

## El mejor sistema de enfriamiento

La cantidad de calor que se desprende del cuerpo de cualquier animal que corre es enorme. Pero para funcionar bien, el organismo debe mantenerse a una temperatura de menos de 40°C, de lo contrario los procesos bioquímicos de las células empiezan a fallar y algunas proteínas pierden su estructura. Todos los organismos tienen un sistema de enfriamiento para estas ocasiones, pero ninguno tan eficiente como el nuestro. Los humanos, a diferencia de la mayoría de los animales, tenemos en la piel millones de glándulas sudoríparas para eliminar de agua a través del sudor.

La cantidad de agua eliminada es directamente proporcional a la elevación de la temperatura.

Al evaporarse el sudor absorbe grandes cantidades de calor, con lo que se enfría la piel y a través de ella todo el organismo. Como, a diferencia de los animales, nuestra piel no está forrada de pelo, el aire también puede

contribuir a nuestro enfriamiento. El pelo de los animales, en cambio, atrapa el calor. La mayoría de los animales eliminan el calor jadeando, pero el jadeo interfiere con la respiración y le resta eficiencia. Ésta es una de las principales causas de que, a pesar de ser muy veloces en el *sprint*, otros animales no sean tan buenos como el hombre en la carrera de resistencia. Nosotros respiramos por la boca al correr para aumentar nuestra capacidad respiratoria. Según Bramble y Lieberman, esto también contribuye a disipar el calor que generamos durante la carrera.

## Las primeras carreras

Para saber cómo y cuándo empezaron las carreras entre los homínidos, los antropólogos se remiten a las evidencias fósiles de



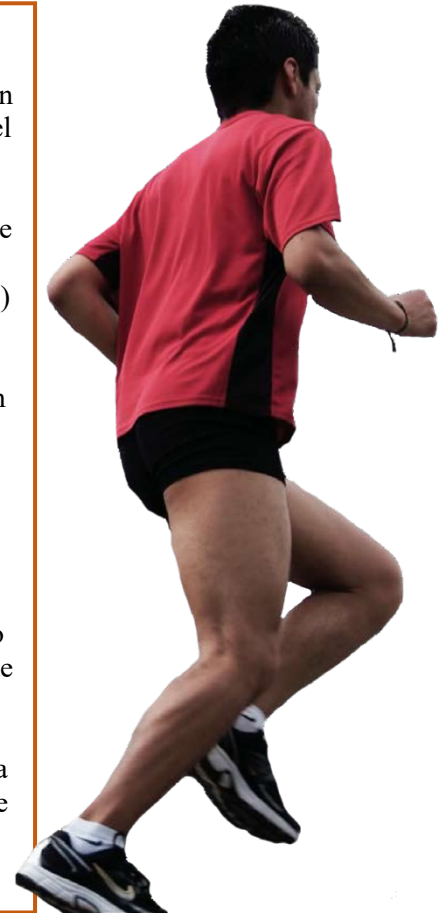
antepasados nuestros como el *Australopithecus afarensis*, el *Homo erectus* y los *Homo sapiens* de otras épocas, así como al esqueleto del chimpancé de hoy.

Los humanos y el chimpancé proceden del mismo linaje (Ver *¿Cómo ves?* No.135), como muestra la gran semejanza entre los genomas de ambas especies. A pesar de la semejanza, estos monos son pésimos corredores: sus caderas son angostas y por lo tanto su ligamento iliotibial, su glúteo máximo y los

grandes tendones de las piernas están muy poco desarrollados. Además, los chimpancés carecen de ligamento nugal que les estabilice la cabeza. En cambio, tienen poderosos músculos que les mantienen fuertemente unidos los hombros, las Vértebras cervicales y el cráneo. Esta masa muscular, sus brazos largos, sus piernas cortas y la disposición de los huesos de pies y manos los ayudan a trepar y a colgarse de los árboles, mas no a correr.

### La paradoja tarahumara

En la Sierra Madre Occidental, en el noroeste de México, habitan los tarahumaras, grupo étnico que aún es seminómada y parte del año habita en cuevas. Lo que para los habitantes de la ciudad puede considerarse una hazaña deportiva —correr los 42 kilómetros de un maratón— para ellos es rutina. La región donde viven es tan abrupta y escarpada, que se trasladan de un sitio a otro corriendo. Cazán persiguiendo a su presa (liebres y conejos) hasta matarla de cansancio y sobrecalentamiento. Su dieta prácticamente no contiene carne: consta de 10% de proteínas Vegetales, 10% de grasa y 80% de carbohidratos complejos. Un evento importante para los tarahumaras es la carrera que ellos llaman *rarajipan*, en la que corren pateando una pelota de madera con el empeine entre 80 y 160 kilómetros. Los participantes fuman tabaco y beben un aguardiente de maíz llamado *tesgüin* como ritual previo, desde días antes de la carrera. Los tarahumaras han ganado Varias Veces el ultramaratón de Leadville, de 160 kilómetros, que se corre cada año en las Montañas Rocallosas de Colorado. Al comparar la dieta de los atletas que corren maratón con la de los tarahumaras, así como la preparación previa de unos y otros, los científicos no saben a ciencia cierta a qué se debe la enorme resistencia de esta etnia. Los estudios genéticos no muestran ninguna mutación que les favorezca para correr. Es sólo una condición que Van adquiriendo desde la infancia.

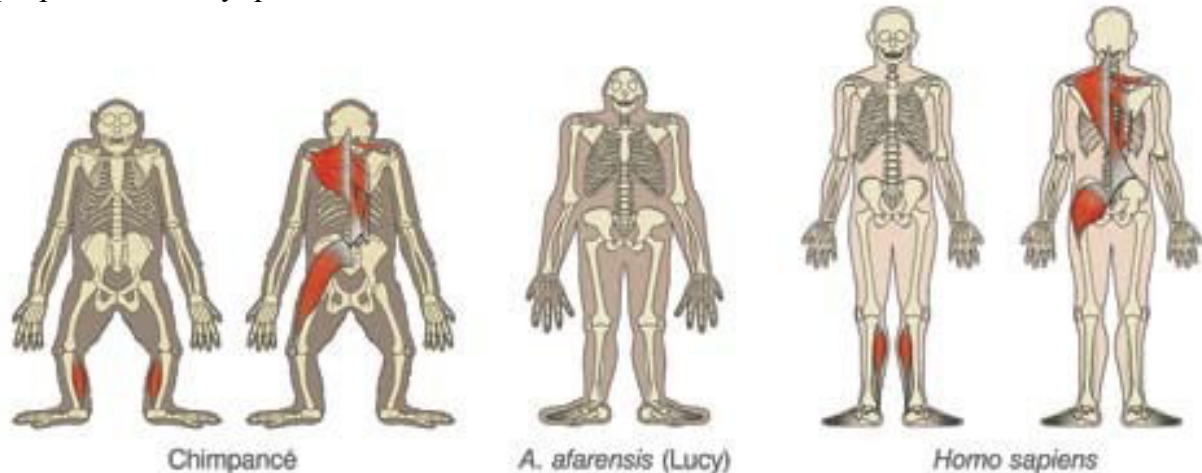


En 1974 el equipo del paleoantropólogo Donald Johanson encontró en una región de África nororiental restos fósiles que, si bien eran semejantes a los de un chimpancé, tenían también marcadas diferencias. Johanson los clasificó como pertenecientes a homínidos de la

especie *Australopithecus afarensis*. Al esqueleto más completo que se obtuvo (de una hembra) le pusieron el nombre de Lucy (ese día habían estado oyendo una y otra vez la canción de los Beatles *Lucy in the sky with diamonds*). El *A. afarensis* habitó esa zona hace

3.9 millones de años y permaneció ahí hasta hace tres millones de años. La familia de Lucy tenía piernas más largas que las del chimpancé y, como muestra el ángulo que forma el fémur entre la cadera y la rodilla, ya caminaba en dos patas. Sin embargo, su tórax, brazos y la curvatura de los dedos de pies y manos muestran que estaba mejor adaptada para trepar que para caminar, y que difícilmente corría.

aspecto es muy parecido al nuestro. Aunque su cráneo es más pequeño, es más grande que el de Lucy y tiene bien marcada la parte donde se inserta el ligamento nuchal. Bramble y Lieberman creen que el *Homo erectus* fue el primero de nuestros ancestros que estaba adaptado para la carrera de resistencia.



*El chimpancé carece de los tendones (1) que almacenen su energía, su glúteo máximo (3) está poco desarrollado, sus piernas son cortas. El tórax masivo y la ausencia de ligamento nuchal (2) no le facilitan la carrera de resistencia; sus brazos, pies y manos son más aptos para trepar y colgarse, que para correr. Lucy tenía piernas un poco más largas y un cráneo más grande, sin embargo, sus restos fósiles muestran que no corría. La evolución del Homo sapiens lo ha llevado a tener un glúteo máximo (3) más grande que sus ancestros, tendones (1) largos y resistentes para almacenar energía y un ligamento nuchal (2) que*

Su cráneo tenía un Volumen aproximado de 400 ml; su hueso occipital no muestra la marca que deja el ligamento nuchal y el espacio del oído interno que ocupan los canales semicirculares que sirven para mantener el equilibrio, es muy pequeño. Esto nos hace pensar que los movimientos propios de correr le hubieran producido mareo y desorientación a Lucy y sus congéneres. El siguiente ancestro que aparece en nuestro álbum familiar es el *Homo erectus*, que emigró de África al sureste asiático. En Varias partes del mundo se han encontrado restos fósiles de este ancestro, que Vivió hace dos millones de años aproximadamente. Su

¿Y para qué quería correr el *Homo erectus*? Los investigadores plantean que la capacidad de correr grandes distancias pudo haber servido para cazar (por ejemplo, permitiéndoles acercarse a las presas lo suficiente para arrojarles lanzas, o bien persiguiéndolas hasta matarlas de cansancio). Así, a la dieta de este antepasado nuestro se añadieron carne, médula y sesos, y las proteínas extras pueden haber desempeñado un papel en el crecimiento del cerebro que ha permitido al *Homo Sapiens* desarrollar muchas capacidades cognitivas.



## Supervivencia y gimnasia cerebral

Así pues, para Bramble y Lieberman la capacidad de correr largas distancias fue un factor muy importante de la evolución humana. La carrera de resistencia hace uso de músculos y tendones, así como de un sistema biomecánico estabilizador que no son necesarios para caminar incluso rápido. Hubo un tiempo en que correr distancias extenuantes fue la única alternativa para sobrevivir, y eso, junto con otros muchos factores, condujo al desarrollo del cerebro. Con nuestro cerebro actual se han inventado miles de artefactos que hacen innecesario correr para sobrevivir, pero la Vida sedentaria causa enfermedades como la diabetes, la hipertensión y quizá ciertas enfermedades neuronales. Ya se ha difundido mucho que una de las mejores gimnasias cerebrales es el ejercicio físico. Si aún contamos con el mecanismo intacto para la carrera de resistencia, sería una desgracia dejar que se atrofiara por falta de uso. ¡Levántate de la televisión, la computadora o el Videojuego y

---

**empieza a correr, que para eso estás hecho!**

Gertrudis Uruchurtu es química farmacobióloga. Durante 30 años fue maestra de química de bachillerato y es egresada del Diplomado de Divulgación de la Ciencia de la DGDC-UNAM.

### Más información

- [www.astroseti.org/imprime.php?num=1713](http://www.astroseti.org/imprime.php?num=1713)
- [www.uniVersia.edu.pe/noticias/principales/destacada.php?id=39538](http://www.uniVersia.edu.pe/noticias/principales/destacada.php?id=39538)
- [www.cienciaysociedad.info/2007/05/corremos-hizohumanos](http://www.cienciaysociedad.info/2007/05/corremos-hizohumanos)

## LECTURA 2.

**Edición genética en humanos. La gran controversia | Elisa Núñez-Acosta |  
"Lulu y Nana, rostros de la edición genética en humanos"**

**Una novedosa forma de ingeniería genética podría curar numerosas enfermedades, pero también tiene complejas implicaciones técnicas, legales y éticas. Todo depende de cómo y para qué se aplique.**



“**Dos niñas chinas** llamadas Lulu y Nana llegaron al mundo llorando tan sanas como cualquier otro bebé”, anunció el 25 de noviembre de 2018 en YouTube el investigador He Jiankui, profesor de la Universidad de Ciencia y Tecnología del Sur de China. En el Video el científico narraba que la gestación de las niñas se inició mediante un procedimiento de fecundación in Vitro. He y su equipo obtuvieron esperma del padre, quien está infectado con el Virus de inmunodeficiencia humana (VIH), y óvulos de la madre, que no

está infectada. Los óvulos se fecundaron en el laboratorio. Por cada óvulo fecundado se formó un huevo, o cigoto, de una sola célula que inmediatamente después se duplicó en dos, cuatro, ocho... hasta formar un blastocito, es decir, un embrión de cinco días, con aproximadamente 200 células. Como punto de comparación, consideremos que el cuerpo humano adulto está hecho de unos 37000000 de células. En el experimento de He, al momento de la fecundación, cuando se unieron el óvulo y el espermatozoide, se agregó una proteína con instrucciones para modificar la información genética del cigoto, tras lo cual dos de estos embriones modificados fueron implantados en el útero de la madre. Meses después nacieron Lulu y Nana.

**Editar o no editar**

Durante años científicos y filósofos nos habían advertido sobre los riesgos de crear embriones humanos genéticamente modificados con la intención de llevar a término la gestación, pero esto sucedió antes de lo que muchos habían previsto. En 2015 se reunieron expertos de todo el mundo en la primera Cumbre de Edición Genética en Humanos para discutir, entre otras cosas, la posibilidad de editar genéticamente embriones humanos. Al final de la reunión el



comité organizador escribió una declaración que establece que sería irresponsable realizar edición genética en células germinales —las que pueden transmitir su información genética a la descendencia, como óvulos y espermatozoides— hasta que los criterios de eficacia y seguridad de la técnica fueran resueltos y hasta que hubiera un consenso sobre lo apropiado de la aplicación propuesta. El documento termina señalando que hasta hoy estos criterios no existen para ninguna aplicación clínica. El asunto de lo ético de esta tecnología sigue pendiente. La edición genética consiste en modificar el ADN de una célula o de un organismo para cambiar sus características. Editar la cadena del ADN es como editar la cadena de fotogramas que forman una cinta cinematográfica: se corta en el lugar preciso en que se quiere hacer la modificación y se extrae una secuencia, o bien se inserta otra distinta en su lugar y se vuelve a pegar la cinta. La técnica más común, eficaz y barata para editar genomas es CRISPR (se pronuncia “crisper”, por las siglas en inglés de “repeticiones palindrómicas cortas agrupadas y espaciadas regularmente”, Véase *¿Cómo ves?* Núm. 200). Para realizar la edición genética primero es necesario reconocer la región específica del ADN que se desea modificar. Sin embargo, podrían existir otras regiones en el genoma con secuencias parecidas en las que, sin planearlo, ocurran cambios adicionales al deseado, lo que en algunos casos puede traer consecuencias negativas.

### Aplicaciones y advertencias

Por una parte, la edición genética puede utilizarse para entender las funciones de los genes humanos. Por ejemplo cómo se desarrollan los embriones, la relación entre algunas enfermedades y los genes y la

evolución de enfermedades como el cáncer y otras condiciones que tienen un componente genético importante. Por otra parte, una posible aplicación clínica consiste en usar la edición genética para curar enfermedades hereditarias causadas por mutaciones en un solo gen. Actualmente se conocen más de 10000 de estas enfermedades *monogénicas*, las cuales afectan a millones de personas de todo el mundo. Esta tecnología se ha empleado para estudiar distintas enfermedades y tratar de desarrollar tratamientos efectivos, por ejemplo en la infección por VIH y la enfermedad neurodegenerativa de Huntington. Para ello se utilizan células u organismos de especies no humanas, como ratones.

La edición genética se puede realizar en dos tipos de células: las somáticas y las germinales. Casi todas las células del organismo son somáticas (por ejemplo, las células de la piel, el hígado, los músculos, los huesos o la sangre). Los cambios genéticos efectuados en este tipo de células permanecen en el organismo o célula en el que ocurrieron. No se transmiten a los descendientes. Si ocurrieran modificaciones imprevistas e indeseables en el ADN, las consecuencias afectarían únicamente al organismo en el que se realizó el cambio y no pasarían a generaciones futuras. En las células germinales es distinto, pues un óvulo fertilizado por un espermatozoide puede dar lugar a un ser humano. Ya se han realizado experimentos de edición genética en cigotos formados por entre cuatro y ocho células y en embriones más desarrollados, los cuales nunca antes se habían implantado para producir bebés. Los cambios realizados en el ADN de óvulos, espermatozoides, cigotos o embriones sí se transmitirán a las generaciones futuras, serán hereditarios. Si la edición genética tuviera



consecuencias negativas, estas afectarían a los descendientes.

Algunos países aprueban la creación de embriones humanos para usarse en experimentos científicos siempre y cuando los donadores de los óvulos y espermatozoides estén informados del uso que se dará a sus células. Algunos grupos de investigación utilizan embriones humanos *supernumerarios*, es decir, los que sobran de los tratamientos de reproducción asistida (en los que se crean Varios embriones pero sólo se implanta uno o dos). En algunos países el uso de embriones está regido por leyes, por lo que se les pide a los científicos que justifiquen la necesidad y utilidad de usarlos. También se les pide que limiten el número de embriones utilizados y que para optimizar los protocolos experimentales se use otro tipo de células o embriones de especies no humanas antes de aplicarlos a humanos.

## EDICIÓN GENÉTICA EN EL ADN

Todos los organismos poseen información genética almacenada en la molécula de ADN, que se encuentra en el núcleo y en las mitocondrias de casi todas sus células.

La información genética está escrita en un código consistente en cuatro letras. Estas "letras" son moléculas distintas que forman los escalones de la doble hélice del ADN. El ADN humano está compuesto de una secuencia de aproximadamente 3 000 millones de letras. Una alteración en la secuencia se conoce como mutación. Las mutaciones pueden causar enfermedades que podrían heredarse a las generaciones posteriores. Estas mutaciones naturales pueden corregirse por medio de edición genética.

La legislación que regula el uso de embriones para experimentos de edición genética Varía de un país a otro. En algunos países como México no hay ley alguna al respecto. Eso sí, en ningún país se aprueba legalmente la implantación de embriones editados genéticamente para dar lugar a un bebé.

## Curar enfermedades mortales

La edición genética también se ha utilizado en pacientes con enfermedades que no son hereditarias y para las cuales no hay tratamiento. Es el caso de Layla, una bebé que nació en junio de 2014 y a la que se le detectó leucemia, un tipo de cáncer de las células de la sangre, a los tres meses de nacida. Los glóbulos blancos o leucocitos son un tipo de célula de la sangre que normalmente sirve para combatir enfermedades infecciosas. Los leucocitos de Layla no estaban funcionando bien debido a la leucemia, por lo que estaba destinada a morir. Los médicos les aconsejaron a los padres, Lisa y Ashleigh, prepararse para lo peor y llevarla a cuidados paliativos. Pero los padres optaron por un tratamiento novedoso que no se había probado en humanos. Era su última opción. Este tratamiento sólo se había probado en ratones de manera experimental y consistía en inyectarle a la bebé células editadas genéticamente. El objetivo del tratamiento con edición genética era que Layla desarrollara leucocitos sanos. "Daba miedo pensar que ese tratamiento nunca se había probado en humanos. Pero Layla estaba enferma con mucho dolor y teníamos que hacer algo", dijo Ashleigh.

Las células que se le inyectarían a Layla eran glóbulos blancos de un donador sano modificados en un laboratorio. Como resultado de estos cambios, las células adquirieron dos características fundamentales que ayudarían a

atacar el cáncer de Layla: 1) mayor resistencia a la quimioterapia, la cual es tan tóxica que usualmente mata las células cancerosas, pero también muchas células sanas, y 2) la habilidad de luchar contra las células cancerosas. Antes de poner en práctica el tratamiento fue necesario discutirlo con el comité de ética del hospital. Finalmente, en 2015 los médicos aplicaron el tratamiento a Layla, quien siguió recibiendo quimioterapia para ayudar a eliminar sus células cancerosas. Después de un par de semanas, los médicos anunciaron que el tratamiento estaba funcionando y que se había logrado eliminar las células de cáncer de la bebé y los síntomas de la enfermedad. Posteriormente, para asegurarse de que Layla tuviera un reservorio de glóbulos blancos sanos, se le realizó un trasplante de médula ósea de un donador. Probablemente Layla necesitará usar medicinas el resto de su Vida, así como Vigilancia constante de su estado de su salud. En 2017 se reportó que a 18 meses de la terapia la niña seguía saludable. Aun cuando este tratamiento puede sonar exitoso, los médicos de Layla advirtieron que no significa que esta tecnología sea una opción adecuada para todos los niños. Sin embargo, si se logra replicar su efecto podría representar un avance importante en el tratamiento de la leucemia y otros tipos de cáncer.

### La gran controversia

Las distintas aplicaciones de la edición genética tienen complejas implicaciones técnicas, legales y éticas. En el experimento de He se modificó el ADN de Lulu y Nana cuando todavía cada una era un cigoto, por lo que es posible que los cambios realizados en su ADN sean transmitidos a sus descendientes, lo que introduciría cambios irrevocables en la especie humana. Estos cambios incluyen tanto los

realizados intencionalmente como los que puedan hacerse sin querer.



Tres días después de anunciar el experimento en YouTube, He lo dio a conocer a la comunidad científica internacional en la Segunda Cumbre Internacional de Edición Genética en Humanos realizada en Hong Kong. Como resultado, el comité organizador declaró que ya existían dos documentos que ofrecen una guía de las condiciones en las que se aprobaría el uso de estas técnicas en humanos con fines clínicos. Por ejemplo, uno de estos documentos menciona que los ensayos clínicos se podrían permitir después de discutir el experimento con otros colegas y después de haber evaluado los beneficios y riesgos potenciales, y sólo en caso de haber razones médicas suficientes y en ausencia de alternativas de tratamientos razonables. Además, el proceso se debería realizar con la mayor transparencia.

El objetivo del experimento de He fue modificar el ADN de los cigotos para protegerlos de la posibilidad de contraer la



infección de VIH que tiene su padre. Sin embargo, actualmente existen diversas maneras de prevenir la infección y en caso de que se contraiga, existen medicamentos para tratarla. Así pues, no había necesidad médica de realizar la edición genética. He habló de su experimento mucho tiempo después de su inicio y lo registró el 8 noviembre, muy cerca de la fecha de nacimiento de las niñas. Finalmente no está claro si los padres de las niñas entendían cabalmente el propósito y sus potenciales beneficios y riesgos.

En aquella Cumbre, el premio Nobel de Fisiología y Medicina David Baltimore dijo: "Pienso que el proceso no fue transparente. Nos enteramos cuando ya era un hecho y las niñas habían nacido. En lo personal no creo que fuera médicamente necesario... Pienso que esto es una falla en la autorregulación de la comunidad científica debido a la falta de transparencia". Más de 100 científicos, la mayoría de China, escribieron una carta refiriéndose al trabajo de He y declarando que el uso de CRISPR para editar los genes de embriones humanos era riesgoso e injustificado. Por su parte la Comisión Nacional de Salud de China ordenó una inmediata investigación del caso.

Existen otras preocupaciones éticas que son tan diversas como las distintas culturas, religiones y creencias de todo el mundo. Por ejemplo, algunos filósofos cuestionan si cambiar el ADN de un embrión podría alterar su identidad como ser humano. El doctor He en su presentación durante la cumbre hizo énfasis en el estigma que sufre la gente con VIH en China como una de sus motivaciones para realizar sus experimentos. Pero ¿modificar el ADN de un individuo para evitar la infección resuelve el problema social del estigma, o más bien refuerza la estigmatización? Una gran preocupación generalizada es que se emplee

edición genética para fines distintos a los terapéuticos, como inducir cambios en los organismos para "mejorar la especie humana": por ejemplo para generar bebés más inteligentes o para elegir sus características como el color de los ojos o la estatura. Las legislaciones nacionales e internacionales del uso de algunas tecnologías permiten, entre otras cosas, proteger la salud y los intereses morales y éticos de los individuos. Hoy más que nunca parece imprescindible el desarrollo de legislación que regule las aplicaciones de la edición genética, con el propósito de aprovechar los beneficios y al mismo tiempo prevenir sus riesgos y cualquier uso inhumano de la tecnología. El doctor He planea seguir revisando el estado de salud de Lulu y Nana hasta que tengan 18 años y después, si ellas lo aprueban. Tendremos que esperar para saber qué piensan ellas sobre las modificaciones que les hicieron cuando no eran más que un cigoto y para Ver los efectos de esas modificaciones. Sólo entonces podremos Ver los resultados de uno de los experimentos más controvertidos de la historia.

#### MÁS INFORMACIÓN

- Vidal Liy, Macarena, "Científicos chinos aseguran haber creado los primeros bebés modificados genéticamente", El País, 26 de noviembre de 2018, en: [https://elpais.com/elpais/2018/11/26/ciencia/1543224768\\_174686.html](https://elpais.com/elpais/2018/11/26/ciencia/1543224768_174686.html)
- Reynaud Garza, Enrique, "Bienvenidos a la nueva era de la ingeniería genética", Academia de Ciencias de Morelos, A.C., en: [www.acmor.org.mx/descargas/17\\_feb\\_13\\_crisprcas.pdf](http://www.acmor.org.mx/descargas/17_feb_13_crisprcas.pdf)

Elisa Núñez-Acosta tiene un doctorado en biomedicina por la UNAM y le interesan la bioética relacionada con la implementación de nuevas tecnologías y la divulgación de la ciencia.





### LECTURA 3.

¿Está temblando más que antes? | Allen Husker, Miguel A. Santoyo y Xyoli Pérez Campos|

**Los sismos recientes (7 y 19 de septiembre de 2017 y 16 de febrero de 2018) han causado preocupaciones y preguntas: ¿Por qué tiembla tanto? ¿Los sismos están relacionados? ¿Hay que preocuparse cada 19 de septiembre? ¿Por qué a veces suena la alerta sísmica y no se siente nada?**

**Los sismólogos** llamamos *sismicidad* al número, frecuencia e intervalo de magnitudes de los sismos —en otras palabras, a la estadística de los sismos—. México es un país de alta sismicidad: en promedio tenemos un sismo de magnitud mayor que siete cada 1.6 años. En cambio en Estados Unidos (sin contar Alaska y Hawái) sólo han ocurrido ocho sismos de estas magnitudes desde 1900, lo que da un promedio de un sismo importante cada 14.7 años.

Con tan alta sismicidad no es de extrañar que muchas veces haya más de un sismo de gran magnitud en un mismo año (así son los promedios: no dicen exactamente cada cuánto hay sismos). En 1995 se registraron tres sismos de magnitud mayor que siete (lo que se escribe así:  $M \geq 7$ ). El primero fue de magnitud 7.3 y ocurrió cerca de Copala, Guerrero. Veinticinco días después hubo un sismo de magnitud 8.0 en la costa de Colima con epicentro a 640 kilómetros del primero. Luego, 12 días después, ocurrió un sismo de magnitud 7.1 cerca de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas. Desde 1900 ha habido 34 sismos que ocurrieron menos de un año después del sismo anterior. Esto muestra que no tiene nada de anormal que ocurran varios sismos grandes en un lapso corto.

#### ¿Sismos relacionados?

Los científicos estamos investigando si los sismos recientes están relacionados. En México el intervalo más probable entre sismos importantes es de menos de tres años. El sismo de magnitud 8.2 (el del 7 de septiembre de 2017) fue enorme y tal vez los cambios en las tensiones y presiones en el subsuelo (llamadas colectivamente esfuerzos) pudieron haber provocado los otros sismos; o bien, las ondas sísmicas al pasar quizá redistribuyeron los esfuerzos, propiciando los siguientes sismos. Sin embargo, siempre hay cierta probabilidad de que ocurran sismos grandes independientemente de que haya ocurrido uno en fechas recientes. ¿Cómo se puede saber si dos sismos están relacionados? Para saberlo tratamos de detectar cambios en la sismicidad en la región en que ocurrieron los sismos y en los días cercanos a las fechas de éstos. Específicamente, tratamos de identificar si ha habido aumentos o disminuciones anómalos en el número de movimientos. También podemos analizar las deformaciones de la superficie de la Tierra cerca de los sismos. Estas deformaciones se miden con mucha precisión por medio del sistema GPS (Global Positioning System). Por último podemos calcular los cambios de



esfuerzos que están actuando en las placas tectónicas relacionados con el primer sismo. Estamos trabajando con todos estos métodos, pero hasta el momento no hemos encontrado ninguna evidencia de que el sismo del 7 de septiembre haya provocado el del 19. También estamos explorando la posibilidad de que el primero haya provocado el sismo del 16 de febrero en Pinotepa Nacional. Aún no podemos afirmar nada. Los análisis son largos y toma bastante tiempo llegar a una conclusión.

### Réplicas

El sismo del 7 de septiembre tuvo más réplicas que ningún otro registrado en la historia de México (las réplicas son sismos de menor magnitud ocurridos en el mismo lugar después del sismo principal). Esto se debe en parte a que la red del Servicio Sismológico Nacional (SSN) tiene más estaciones sismológicas y a que los aparatos son más sensibles y pueden detectar sismos más pequeños, por lo que naturalmente hoy detectamos más réplicas en general. Con todo, las de este sismo sí han sido más de las habituales, pero no podemos saber si fueron más que las del sismo de magnitud 8.2 de 1932. En aquel entonces sólo había nueve estaciones sismológicas en el país y los instrumentos eran menos sensibles, por lo que no hay manera de verificarlo. Por otro lado, el sismo de magnitud 7.1 del 19 de septiembre de 2017 sólo generó 11 réplicas detectables y verificadas. Los sismos anteriores de esa región, como el de 1999 en Tehuacán, Puebla, tampoco generaron muchas réplicas. Este comportamiento con pocas réplicas es lo que se espera estadísticamente de los sismos en esta zona.

Finalmente, el sismo de magnitud 7.2 del 16 de febrero de 2018 ha producido muchas réplicas.

Los sismólogos recordamos el ejemplo del sismo del 20 de marzo de 2012 cerca de Ometepec, Guerrero, que provocó una cantidad enorme de réplicas y que ocurrió muy cerca del lugar del sismo del 16 de febrero. Sería de esperarse que este último se comporte de manera similar. De hecho, seguimos detectando réplicas del sismo de 2012, aunque no tan frecuentes ni tan grandes. Es probable que estas réplicas se estén mezclando con las del último sismo.

### 19 de septiembre, ¿fecha fatídica?

Dos sismos grandes que han afectado la Ciudad de México ocurrieron un 19 de septiembre y eso ha llevado a algunas personas a pensar que hay algo especial en esa fecha. Pero la probabilidad de que ocurran, SISMOS CON EL MISMO CUMPLEAÑOS

Fecha	Latitud	Longitud	Magnitud	Epicentro	
1907-04-15	16.7°	-99.2°	7.6	Cruz Grande, Gro.	
1941-04-15	18.85°	-102.9°	7.6	Aguililla, Mich.	
1954-04-29	28.5°	-113.0°	7.0	Isla San Lorenzo, BCN.	
1970-04-29	14.463°	-92.683°	7.3	Tapachula, Chis.	
1911-06-07	17.5°	-102.5°	7.6	Lázaro Cárdenas, Mich.	
1982-06-07	16.516°	-98.339°	7.0	Ometepec, Gro.	
- Pinotepa Nacional, Oax.	1928-10-09	16.3°	-97.3°	7.5	Río Grande, Oax.
1995-10-09	18.993°	-104.245°	8.0	Manzanillo, Col.	
1901-12-09	26.0°	-110.0°	7.0	Golfo de California	
1912-12-09	15.5°	-93.0°	7.0	Mapastepec, Chis.	
1902-12-12	29.0°	-114.0°	7.1	Punta Prieta, BCN.	
1951-12-12	17.0°	-94.5°	7.0	Matías Romero, Oax.	
1935-12-14	14.75°	-92.5°	7.3	Tapachula, Chis.	
1950-12-14	17.22°	-98.12°	7.2	Tlaxiaco, Oax.	

Histograma de réplicas mayor a 3.5. La mayoría de las réplicas terminó dentro de 4 meses del sismo principal de M 7.5, pero la actividad siguió. RÉPLICAS DEL SISMO DEL 2012

Tiempo Cantidad de sismos cada 2 días Prohibida la



reproducción parcial o total del contenido, por cualquier medio, sin la autorización expresa del editor. 12 por pura casualidad, dos sismos grandes en la misma fecha del calendario es muy alta. Los estadísticos se refieren a este tipo de coincidencias de fechas como la paradoja del cumpleaños: en un grupo de sólo 23 personas hay una probabilidad de 50% de que dos cumplan años el mismo día y en un grupo de 70 personas la probabilidad es de 99%. El Servicio Sismológico Nacional tiene registrados 74 sismos de magnitud mayor o igual que 7.0 en su catálogo desde 1900. En ese catálogo hay siete casos de al menos dos sismos en la misma fecha. Eso quiere decir que los 19 de septiembre no tienen nada de especial y que la coincidencia es pura casualidad.

### Predicciones falsas

He aquí dos conjuntos de 1 y 0:

1 1 1 1 0 0 1 1 0 1 0 1 0 1

0 0 1 1 1 0 1 1 0 0 1 1 0 0

Supongamos que representan una serie de ocasiones en que sucedió cualquiera de estas dos cosas: 1) el perro de los Vecinos se puso a ladrar como loco sin razón evidente (renglón superior), o 2) hubo un sismo (renglón inferior). Si ladra el perro pongo un 1 en el renglón superior. Si ocurre un sismo pongo un 1 en el renglón inferior, de tal manera que las columnas con dos 1 corresponden a ocasiones en que ladró el perro y hubo sismo. En cambio las que tienen un 0 y un 1 son ocasiones en que no hubo coincidencia. En esta serie hay tres ocasiones en que ladró el perro sin que hubiera sismo y cinco en que coincidieron ladridos y temblor y uno podría pensar que el perro tiene ciertas dotes de adivino.

En realidad no hay ninguna relación entre los dos renglones. Los números los generamos al azar. Los humanos somos muy buenos para Ver

conexiones. Es lo que hacen los científicos. Sin embargo, hay que tener cuidado: a veces vemos conexiones donde no las hay (un poco como cuando vemos figuras en las nubes: las figuras no están en las nubes, sino en nuestra mente).

Los sismos ocurren tan frecuentemente que es fácil relacionarlos con otros acontecimientos que no tienen nada que ver. Así, muchas personas creen que se pueden predecir los sismos a partir del comportamiento de los animales, por ejemplo; o de algún otro suceso insólito que por casualidad hayan observado poco antes de un sismo. Pero la aparente relación es pura coincidencia sin significado (en esta página web hay ejemplos divertidos: <https://afanporsaber.com/falsascorrelaciones/#.W2N5RhpKgWo>).

En el ejemplo anterior hay más casos de ladridos que de temblores. Cada vez que no coinciden estos dos sucesos es un ejemplo en contra de la hipótesis de que los datos están relacionados. Las personas que piensan que el perro puede predecir sismos suelen olvidar los casos en que la hipótesis no se cumple. Este error lo cometemos todos: cuando nos gusta una hipótesis, tendemos a recordar las ocasiones en que parece que se cumple y a olvidar las ocasiones en que no. Los científicos deben tener cuidado de no hacerlo.

Lo que debe hacer el científico es poner en contexto todos los datos, sin olvidar los casos en que no se cumplió su hipótesis. Si por ejemplo se analizan pocos datos puede parecer que hay una coincidencia entre los sismos y la actividad del Sol (que se evalúa a partir del número de manchas solares que se ven en su superficie). Pero, cuando se toman en cuenta muchos años de sismos y actividad solar no se ve ninguna relación. La actividad solar tiene un ciclo bastante regular, que se repite aproximadamente cada 11 años. En cambio no hay ciclos en la actividad sísmica: siempre hay en promedio unos 16 sismos de magnitudes mayores que 7 al año, con mucha variación de un año para otro.



Los sismos se distribuyen al azar, a diferencia del aumento y disminución de las manchas solares. Si hubiera una relación entre ambos fenómenos, se esperaría que los sismos siguieran también un ciclo de 11 años, lo que claramente no ocurre. Por si fuera poco, durante los últimos grandes sismos de México el Sol estaba en su mínimo de actividad. Así, lo que parece una relación cuando se examinan unos cuantos datos diarios, se revela claramente como puro azar cuando vemos datos correspondientes a muchos años.

### Alerta sísmica

El Sistema de Alerta Sísmica Mexicano, o SASMEX, tiene su propia red para detectar sismos. Ésta es distinta de la red del Servicio Sismológico Nacional y opera de manera independiente. La alerta en la Ciudad de México suena cuando se detecta un sismo en las costas del Pacífico, desde Jalisco hasta Oaxaca, al cual el sistema le estima rápidamente una magnitud probable mayor que 5.5. Así, la alerta sísmica sólo debería sonar para los sismos de magnitud mayor o igual a 5.5. Sin embargo el sistema de alerta sísmica está programado para alertar lo antes posible. Esto implica que se prefiere rapidez que precisión, y la estimación inicial que hace automáticamente el SASMEX tiene una incertidumbre. Por eso hay veces que se activa la alerta aunque la magnitud del sismo haya sido menor que 5.5; es decir, a veces suena y no sentimos nada. Además las ondas sísmicas tienen efectos diferentes en distintas partes del Valle de México (Véase ¿Cómo Ves? No. 228): en ciertas partes las ondas sísmicas se amplifican y en otras se amortiguan. Esto se debe a las diferencias del subsuelo (y sobre todo a los sedimentos del antiguo lago), las cuales producen distintos "efectos de sitio", como decimos los sismólogos. La alerta está diseñada para que la gente de las zonas con

mayores amplificaciones tenga más tiempo para ponerse a salvo lo más rápido posible.

Hay partes de la ciudad en las que las amplificaciones de las ondas sísmicas no son tan grandes, pero como la alerta sísmica es la misma para toda la ciudad y no distingue efectos de sitio, a veces el sismo se siente en unas partes y en otras no.

### MÁS INFORMACIÓN

- Cruz Atienza, Víctor Manuel, Los sismos, una amenaza cotidiana, Ed. La Caja de cerillos, Cd. de México, 2013.
- ¿Qué ocurrió el 19 de septiembre de 2017 en México?, Revista UNAM, Cd. de México: <http://reVista.unam.mx>
- Servicio Sismológico Nacional, Universidad Nacional Autónoma de México: [www.ssn.unam.mx](http://www.ssn.unam.mx)
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED): [www.gob.mx/cenapred](http://www.gob.mx/cenapred)

*Nota: La información utilizada para elaborar este artículo resulta del esfuerzo de investigadores y técnicos académicos del Instituto de Geofísica y del Servicio Sismológico Nacional de la UNAM.*

Allen Husker, doctor en geofísica y física espacial, es jefe del Departamento de Sismología del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Miguel Ángel Santoyo, doctor en geofísica, es investigador en el Instituto de Geofísica Campus Morelia de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Xyoli Pérez Campos es doctora en geofísica por la Universidad de Stanford. Actualmente es investigadora en el Departamento de Sismología del Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México.



## PARA GANAR SEGUNDOS VITALES

El Centro de Instrumentación y Registro Sísmico (CIRES) opera el Sistema de Alerta Sísmica Mexicano, cuya función es advertir cuando ha ocurrido un temblor fuerte que pudiera causar daños a las poblaciones. Para ello utiliza una red de sensores que cubren regiones sísmicas a lo largo de las costas del Pacífico, en los estados de Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Puebla y Oaxaca. Con el apoyo de algoritmos los datos se procesan para estimar la magnitud de los movimientos. Luego esta información se difunde a través de mensajes de radio a Varias ciudades del país. Las ondas de radio —que se propagan a la Velocidad de la luz— son mucho más rápidas que las ondas sísmicas; esta diferencia proporciona un margen de anticipación de Varios segundos para enviar la alerta. Sin embargo, durante el sismo del 19 de septiembre de 2017 la onda sísmica y el aviso llegaron casi al mismo tiempo a la Ciudad de México porque la distancia entre el punto de

de ese temblor y las estaciones más cercanas fueron casi equivalentes. Según Miguel Ángel Santoyo, investigador del Instituto de Geofísica de la UNAM, si se mejoraran los algoritmos para estimar la magnitud y se establecieran más sensores en el sistema de alerta del CIRES, ésta podría hacerse más eficaz. Por ejemplo, de haber existido un sismógrafo encima del hipocentro del sismo mencionado, se habrían tenido uno o dos segundos más de anticipación para emitir la señal de alerta. Este margen puede parecer insignificante, pero hay que sumarle los segundos que tardan en llegar las ondas de la fase más intensa del sismo, tras la propagación inicial de la onda primaria, de menor amplitud. Si se suman mejores técnicas a este “preámbulo” del movimiento intenso, sería posible emitir una alerta sísmica con hasta 10 segundos más de antelación.

– *Guillermo Cárdenas Guzmán*

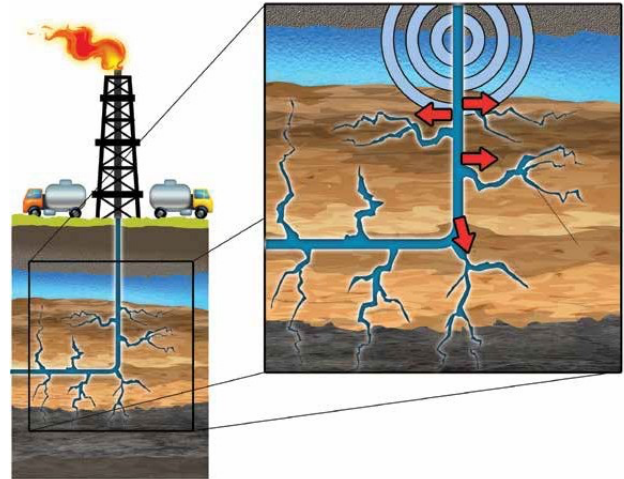


## LECTURA 4.

**Fracking. Beneficios fugaces... ¿daños permanentes?** | Verónica Guerrero Mothelet |

*Un proceso que permite liberar el petróleo y el gas atrapados en rocas del subsuelo, pero que también puede tener un costo demasiado alto en términos económicos, energéticos y, principalmente, ambientales.*

Fracturación hidráulica



**Nuestra sociedad** sigue dependiendo mucho de los combustibles fósiles para actividades como la industria y el transporte. Dos de estos combustibles son el petróleo y el gas natural, recursos no renovables que desde hace 50 años se han extraído a un ritmo muy acelerado. Pero, como su nombre lo indica, estos recursos se van a acabar; tras alcanzar un máximo, el ritmo de extracción ha comenzado a descender, y así continuará hasta que se agoten. En las últimas décadas, el incremento en el precio del petróleo contribuyó al desarrollo de una crisis económica mundial e impulsó la idea de emplear una técnica de extracción, conocida desde los años 40, llamada fracturación hidráulica, o más coloquialmente *fracking*.

### Sed de petróleo

Después de la Segunda Guerra Mundial el petróleo, que era accesible y relativamente barato, permitió un gran auge económico posibilitado por el veloz desarrollo tecnológico y la industrialización de muchas partes del planeta. Hacia 1965 la producción petrolera

global se aceleró, pero desde 1979 su crecimiento comenzó a ser cada vez más lento hasta prácticamente estancarse.

Esto significa que se está agotando el petróleo que hemos usado hasta ahora, llamado convencional. Este petróleo se extrae con facilidad porque prácticamente fluye solo, debido a que se asienta en rocas muy porosas. Los inmensos yacimientos que contribuían con 80% de la producción mundial ya fueron descubiertos y explotados, y lo que queda por descubrir son probablemente unos cuantos yacimientos mucho más pequeños.

Por esta razón, en varias partes del mundo ha comenzado a extraerse petróleo y gas llamados no convencionales: pequeñas gotas atrapadas en rocas conocidas como lutitas. De allí el nombre de petróleo o gas de lutita, también conocido como *shale*, o de esquisto. Esta forma de extracción ha provocado grandes controversias en muchos países, principalmente por la técnica con la que se lleva a cabo.



## Fracturar las rocas

En entrevista con *¿Cómo ves?* el doctor Luca Ferrari, investigador del Centro de Geociencias del Instituto de Geología de la UNAM, en Juriquilla, explica que a diferencia de los yacimientos convencionales que se han explotado durante décadas, las rocas de lutita son impermeables. El gas y petróleo que contienen estas rocas sólo se pueden extraer fracturándolas. La técnica de *fracking* consiste en excavar un pozo Vertical para alcanzar la formación de rocas, que por lo general está constituida por capas horizontales o poco inclinadas. Luego el pozo se desvía y se hace horizontal. Desviar los pozos es una técnica que se usa desde hace décadas en la industria petrolera, señala Ferrari. Ya con el pozo horizontal, la roca se fractura usando agua a alta presión y arena con compuestos químicos que sirven para que el hidrocarburo se haga más fluido y para mantener abierta la fractura y capturar las gotas de gas y petróleo atrapadas en la formación, incluso a una distancia de decenas de metros del pozo.

Aunque la técnica se ha perfeccionado en los últimos años, un pozo que se opera con *fracking* cuesta mucho más que uno convencional. Los yacimientos ya se conocían, pero estaban completamente fuera de mercado; es decir, desde el punto de Vista económico no eran rentables, añade el doctor Ferrari. De hecho, el auge de esta técnica comenzó alrededor de 2008, cuando el precio del petróleo rebasó los 100 dólares por barril. Sin embargo, el precio del petróleo ha Vuelto a bajar muchísimo a partir del año pasado y se ha puesto en riesgo el futuro de esta industria en Estados Unidos, pues el costo promedio de este tipo de producción puede alcanzar los 90 dólares por barril, al tiempo que el precio actual de Venta de cada barril es de menos de 50 dólares. Algunas empresas que tenían deudas están quebrando y si no sube el petróleo a más de 80

dólares el barril, este tipo de explotación es inviable, señala Ferrari.

En México se ha propuesto utilizar el *fracking* para extraer gas natural, combustible muy socorrido en la producción eléctrica. De hecho, más de la mitad de la energía eléctrica en México se produce actualmente con gas natural, dice Luca Ferrari, quien agrega que compartimos con Texas una formación rocosa llamada Eagle Ford, de la que Estados Unidos ha extraído más gas y petróleo no convencional. La parte de esa formación situada en territorio mexicano está entre Nuevo León, Coahuila y una porción de Tamaulipas, y es particularmente rica en gas, más que en petróleo. Por eso, según el especialista, se esperaba introducir el *fracking* en nuestro país para extraer más gas e importar menos. (México importa alrededor del 30% del gas que consumimos).

Las regiones donde se ha pensado explotar el gas de lutita son las zonas fronterizas entre Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas y posiblemente partes de Chihuahua y Veracruz. Pero Ferrari hace énfasis en que la relación entre costo de extracción y utilidad del gas no es nada prometedora porque éste se comenzó a producir masivamente en Texas hace cuatro o cinco años, lo que originó una sobreproducción y la correspondiente baja en el precio. Al bajar el precio del gas, esta técnica ya no es rentable.

## Agua contaminada

Hay Varios problemas asociados con el *fracking*. Luca Ferrari señala que uno de ellos es que los pozos de los que se extraen petróleo y gas de lutita producen mucho menos que los tradicionales y se acaban muy pronto. Prácticamente se abandonan después de dos o tres años, porque la producción se Vuelve mínima. Esto ha llevado a Estados Unidos a excavar decenas de miles de pozos. Pero un problema mayor es el uso intensivo de agua. De acuerdo con un artículo publicado en la revista *Scientific American* en mayo de 2013,

cada pozo de *fracking* requiere entre 7.5 millones y 26.5 millones de litros de agua. Es agua limpia que se contamina porque en el proceso se le agregan compuestos químicos, muchos de ellos tóxicos, cancerígenos o radiactivos. Se desconoce la cantidad e identidad exacta de las sustancias que se agregan al agua porque se consideran secreto industrial. Sin embargo, Varios grupos de científicos estadounidenses, como el de la especialista en salud ambiental Theodora Colborn, del Instituto de Cambio y Alteración Endocrina de Colorado (TEDX por sus siglas en inglés), han calculado que se usan entre 600 y 750 ingredientes, desde compuestos relativamente inocuos como granos de café, hasta sustancias muy tóxicas como benceno, etano, plomo, arsénico, mercurio y ciertos compuestos orgánicos.

Estas sustancias pueden derramarse durante las operaciones de *fracking*, que se realizan en cada pozo más de una vez, o durante su traslado, pues en cada operación se mueven cientos de pipas de agua, así como camiones de arena y productos químicos. Tras cada operación, la mayor parte del líquido y de los contaminantes se queda en el subsuelo. El doctor Ramiro Rodríguez Castillo, investigador del Departamento de Recursos Naturales del Instituto de Geofísica de la UNAM, explica a *¿Cómo ves?* que se recupera menos del 50% del agua que se usa. Y aun si se recuperara toda, por las sustancias que contiene el tratamiento para limpiarla sería demasiado costoso.

generalmente al aire libre se produce una evaporación de compuestos químicos que pueden ser tóxicos. Con todo, la solución más común, cuando menos en Estados Unidos, es reinyectarla en otros pozos. Aunque se supone que los pozos de *fracking* no van a contaminar los acuíferos, muchos de los compuestos utilizados son solubles en agua, por lo que además de contaminar el agua inyectada en el proceso, representan un riesgo para los mantos acuíferos si se produce alguna fuga o filtración. En México, donde hasta ahora el *fracking* sólo se ha realizado de manera experimental, no hay estudios al respecto. Pero en Estados Unidos los científicos han comenzado a preocuparse por las consecuencias. De hecho, en ese país se ha encontrado agua contaminada cerca de las zonas de extracción. La Agencia de Protección Ambiental estadounidense (EPA, por sus siglas en inglés) publicó en 2011 un informe científico preliminar sobre contaminación del agua subterránea en el estado de Wyoming, en el que se asocian los contaminantes detectados con la fracturación hidráulica. Aunque en términos absolutos no se ha comprobado ni descartado que los fluidos de *fracking* puedan filtrarse por las grietas naturales o artificiales hasta los acuíferos, sí se ha verificado el riesgo de que parte de los 9 000 millones de litros de agua contaminada que fluye cada día desde los pozos fracturados llegue a los cuerpos de agua cercanos; o bien, que haya filtraciones de un pozo mal aislado.



Una forma de desechar esta agua residual contaminada es colocándola en depósitos similares a albercas, en los que por estar

Avner Vengosh, de la Universidad Duke, dirige un equipo científico muy activo en la búsqueda de evidencias de estos riesgos. Desde 2012, este grupo ha investigado tanto las probabilidades de





contaminación de acuíferos y de otros cuerpos de agua, como la identidad de estos compuestos. El grupo ha demostrado que parte del agua residual de una de las formaciones más grandes de aquel país, llamada *Marcellus*, que está contaminada con altos niveles de radioactividad, fluye hacia los ríos de Pittsburg y de otras ciudades.

En enero de 2014 el equipo descubrió un elevado nivel de amonio y yoduro, dos contaminantes potencialmente dañinos, en las aguas residuales que se descargan o se derraman en ríos y arroyos de Pensilvania y Virginia Occidental. En palabras de Ramiro Rodríguez, "usando la lógica, los depósitos están debajo del acuífero, se inyectan a presión decenas de sustancias solubles en agua. Algo se puede colar, por más que lo quieran evitar". Rodríguez agrega que en México tenemos además el gran problema de que no hay realmente una Visión ambiental para manejar el agua, ni una clara normativa sobre los productos que se usan y su destino final, lo que incrementaría el riesgo.

El investigador añade que más del 70% del agua que se usa en México proviene del subsuelo y esto ha provocado que en el presente ya esté comprometida toda el agua que tenemos. No sobra como para darle un uso alternativo en grandes Volúmenes. En este contexto, si la mayor parte de los yacimientos probables de este tipo de hidrocarburos se encuentran en la zona norte del país, que es mayormente seca, habría una competencia directa por el agua con fines agrícolas y humanos, pues los acuíferos de la zona noreste constituyen, para muchas regiones, la única fuente de abastecimiento.

## Riesgos para la salud y el ambiente

La posible contaminación por las sustancias aplicadas al *fracking* no se limita al agua, también puede haber fugas al aire y al suelo. En 2013 Christine Coussens y sus colegas, del Instituto de Medicina de Estados Unidos,

realizaron un estudio en el que encontraron cristales de sílice en el aire en una zona de fractura hidráulica. La sílice cristalina se asocia con padecimientos como silicosis y cáncer de pulmón, y un mayor riesgo de tuberculosis, enfermedades autoinmunes y problemas renales. El equipo de Coussens concluyó que los principales afectados eran los trabajadores de los pozos de *fracking*. Entre los compuestos detectados por el TEDX en las aguas residuales del *fracking* se encontraron 353 de alto riesgo para la salud. De éstos, 75% afectan la piel, los ojos, el sistema respiratorio y el gastrointestinal, otro 50% es dañino para el sistema nervioso, el inmunitario y el cardiovascular, y 25% se asocia con cáncer y mutaciones genéticas. En septiembre de 2014 los Institutos Nacionales de Salud de Estados Unidos publicaron en la revista *Environmental Health Perspectives* los resultados de una encuesta de salud realizada en Pensilvania, donde se lleva a cabo mucha extracción de gas natural.

La encuesta reveló que las personas que utilizaban agua de pozos cercanos a sitios de *fracking* padecen el doble de problemas respiratorios y de piel que los habitantes de otras zonas. La autora del estudio, Meredith Stowe, de la Universidad Yale, encontró que los síntomas reportados eran más comunes entre los residentes que Vivían a menos de un kilómetro de los pozos. Otro equipo dirigido por Thomas Darrah de la Universidad de Ohio identificó ocho grupos de pozos de agua potable contaminados con gas natural en Pensilvania y Texas. Entre sus hallazgos, publicados en 2014 en la revista *Proceedings of the National Academy of Sciences*, está que en muchos casos los elevados niveles de gas natural se producen naturalmente, pero en ciertos casos hay evidencia de contaminación debida a defectos en el aislamiento y cementado de los pozos.

El problema de las emanaciones de gas natural es muy importante porque lo que se extrae es



principalmente metano, gas de efecto invernadero entre 15 y 22 Veces más poderoso que el dióxido de carbono. Una fuga de metano es peor que quemar los combustibles fósiles que producen el CO<sup>2</sup>, observa el doctor Ferrari. Las fugas de metano de pozos y ductos, además de constituir un posible riesgo para la salud, empeoran el cambio climático por su capacidad de atrapar el calor en la atmósfera terrestre.

## Sismos artificiales

La reinyección del agua residual en los pozos de descarga se ha Vinculado además con sismos en Arkansas, Colorado, Ohio, Oklahoma y Texas, pues se piensa que el Volumen y la presión del líquido reducen la resistencia al deslizamiento de las fallas geológicas. Por ejemplo, según un estudio de la Universidad Cornell publicado en julio de 2014 en la revista *Science*, en Oklahoma la actividad sísmica ha aumentado 40 Veces desde 2008.

Aunque la mayoría de estos sismos parecen relacionarse con la reinyección de agua residual, también se ha sospechado del propio proceso de fracturación. Un grupo de la Universidad Miami en Ohio publicó en enero de 2015 un estudio en el *Bulletin of the Seismological Society of America* que Vincula 77 sismos de entre 1 y 3 grados, registrados en Ohio durante marzo de 2014, con las operaciones de fracturación hidráulica en la zona, que activaron una falla geológica hasta entonces desconocida.

A pesar de que la mayoría de los sismos inducidos por el *fracking* son de magnitudes pequeñas, cuando la explotación se lleva a cabo cerca de fallas activas, en muchos casos desconocidas, se pueden provocar temblores más intensos. En otra región del estado de Ohio los sismos han alcanzado los 4 grados de magnitud y de acuerdo con estudios realizados por Elizabeth Cochran e investigadores de las universidades de Oklahoma y Columbia, dos sismos de magnitud 5 y otro de magnitud 5.7 en

Oklahoma están relacionados con las actividades de inyección de agua residual. Éstos son los mayores sismos asociados con estas actividades hasta hoy, y la posible explicación es que tras 20 años de *fracking* en la zona, tuvo que aumentarse la presión de la reinyección del agua para seguir inyectando los mismos Volúmenes. Los científicos piensan que esa formación en particular, que ya estaba agotada y ahora servía como pozo de descarga, se llenó hasta el punto en que aumentó su presión interna, lo que probablemente disparó esos eventos a lo largo de un sistema de fallas geológicas naturales.

## El fondo del barril

Este tipo de riesgos ha llevado a algunos países, estados y ciudades a establecer moratorias, que son demoras jurídicas de la autorización para realizar el *fracking* e incluso a prohibirla por completo como Francia y Bulgaria. Otros países, entre ellos Alemania, los Países Bajos, Irlanda y Luxemburgo, han establecido moratorias, lo mismo que la provincia de Quebec, en Canadá, y Cataluña y La Rioja en España. En Estados Unidos, 442 condados han impuesto moratorias o restricciones y en diciembre de 2014 el estado de Nueva York se convirtió en el primero de ese país en prohibir la fracturación hidráulica en todo su territorio.

En México, la reciente reforma energética no legalizó específicamente el *fracking*, pero tampoco existe en el país ninguna restricción para aplicar esta técnica. De hecho Petróleos Mexicanos cuenta con algunos pozos exploratorios desde hace Varios años. "En Estados Unidos han hecho más de 80 000 pozos en 10 años. Allá la explotación es masiva, pero aquí está apenas a nivel de exploración", señala el doctor Ferrari. Aun así, la reforma energética estableció un nuevo régimen de contratos a particulares, generando condiciones para la proliferación de proyectos de *fracking* en el país.



Esto llevó a Varios legisladores mexicanos de ambas cámaras a proponer, en 2014, una iniciativa de ley general para la prohibición de la fracturación hidráulica invocando el principio precautorio. Este principio recomienda adoptar medidas protectoras ante las sospechas fundadas de que ciertos productos o tecnologías puedan provocar un riesgo grave para la salud pública o el ambiente. En palabras de Ferrari: “En los hechos estamos ante un problema serio como humanidad: la energía barata del petróleo convencional está por acabarse. La industria petrolera y del gas necesita mucho más dinero ahora para producir lo mismo que producía hace 10 años y evidentemente estamos rascando el fondo del barril”. Utilizar el gas y el petróleo de lutitas es, según el investigador, perpetuar el mismo modelo consumista basado en un recurso fósil, finito, no renovable y que cada vez es más sucio. Además, por su elevadísimo costo, el *fracking* desvía grandes cantidades de capital necesario para invertir en una verdadera transición energética hacia las energías renovables. “Para transformar nuestra economía global de los combustibles fósiles a las energías renovables se necesitan décadas, y ya tendríamos que haber empezado”.

---

Verónica Guerrero, aprendiz de filósofa, periodista y divulgadora de la ciencia, colabora en *¿Cómo ves?* Y otras áreas de la Dirección General de Divulgación de la Ciencia; es autora del blog *Paradigma XXI*

## MÁS INFORMACIÓN

- Jaramillo, Jessica, “¿Qué es el fracking?”, *Revista de divulgación científica y tecnológica de la Universidad Autónoma de Nuevo León*, 2014: <http://cienciauanl.uanl.mx/?p=1649>
- Vargas Jiménez, Carlos A., “Fracking... ¿bueno o malo?”, *Sociedad Colombiana de Geología*: [www.sociedadcolombianadegeologia.org/pdf/Fracking%20-%](http://www.sociedadcolombianadegeologia.org/pdf/Fracking%20-%)



## LECTURA 5.

### La carne cultivada | Agustín López Munguía |

*En un futuro cercano podríamos estar consumiendo filetes y hamburguesas producidos en un laboratorio. ¿Por qué esto sería una excelente noticia para todos los seres vivos del planeta?*

**En 2013** el mundo científico y el consumidor informado tragaron saliva al enterarse que el Profesor Mark Post de la Universidad de Maastricht presentaba la primera sesión de degustación pública de una hamburguesa preparada con carne —tejido muscular— producida en el laboratorio a partir de células madre de una Vaca, una idea que ya se discutía en el medio científico desde principios de siglo. Las células madre tienen la capacidad de diferenciarse y, dependiendo del medio en el que se encuentren, dar lugar a cualquier tipo de célula del organismo. Los mioblastos musculares son células precursoras del tejido muscular. Empecemos por cómo llamar a esa carne. Inicialmente se denominó “carne limpia”, en referencia a que su producción sería limpia con respecto al impacto al medio ambiente. A muchos innovadores, científicos e inversionistas que trabajan en el tema no les gusta. Podría ser “carne *in vitro*” o “de probeta”, pero suena muy artificial no obstante que biológica y químicamente es en efecto carne *in vitro* o de probeta. Quizá un buen término sea “carne basada en células” que podría resumirse como “carne celular” a la usanza del pleonasma químico-biológico ya cometido con el término “carne orgánica”. O tal vez “carne artesanal”; ya tenemos “cerveza artesanal” que representa, ante la cerveza



industrial, sinónimo de calidad, de habilidad y conocimiento, de independencia y muy particularmente, de innovación. A mi me gusta “carne cultivada”. Este siglo se recordará en el futuro como el siglo en el que aprendimos a cultivar nuestros alimentos pecuarios, como lo hicimos hace 1 000 años con los Vegetales. Va a hacer falta un buen nombre, por lo pronto quedémonos con el de carne cultivada. Más importante es saber por qué convendría mucho disponer de ella.

### El impacto ecológico

Nos acercamos al fin del primer cuarto del siglo XXI con una crisis ambiental originada por muy diversos factores, y a la que contribuyen preponderantemente la producción de leche, huevos y, muy particularmente, carne. Así, el excesivo consumo de carne en el mundo puede asociarse con problemas de seguridad alimentaria como consecuencia del costo ambiental que implica convertir proteína Vegetal en proteína animal. En un artículo de la revista *Science* publicado en junio de 2018, Joseph Poore y Thomas Nemecek, investigadores de la Universidad de Oxford, cuantifican el impacto ecológico de lo que comemos y muestran que la carne es lo menos sustentable de nuestra dieta; por la forma en



que se produce actualmente es lo que más afecta al medio ambiente. La producción de carne es la principal fuente de generación de metano, el segundo gas responsable del cambio climático que ya estamos Viviendo. El metano atrapa el calor 25 Veces más que el dióxido de carbono. En cuanto al uso del suelo, para tener buenos filetes se requiere en promedio 17 Veces más tierra que para producir la misma cantidad de proteína de soya y utilizar 15 000 litros de agua por kilogramo de carne, lo que contrasta con la producción de 1 kg de cereales, para los que se utilizan entre 0.3 y 1 litros de agua. Recordemos que sorgo, maíz, soya, entre otros granos, son la principal fuente de proteína para alimentar animales y que, en promedio, solo un 25 % la recuperamos como proteína animal. Como si esto no fuera suficiente para decidimos a modificar el sistema de producción de carne, existe una creciente preocupación de muy amplios sectores de la sociedad por el maltrato a los animales que nos comemos, sobre todo a los que se tiene en condiciones de estricto confinamiento, única forma de lograr altas eficiencias y control en el proceso de producción.

### La hamburguesa más cara del mundo

La primera gran barrera para producir carne cultivada son los costos. En aquella sesión de hace cinco años, el Profesor Post hizo reír a todos al anunciar que la hamburguesa costaba 325 000 dólares. Quienes rieron poco saben del potencial que tiene el Vínculo entre ciencia básica y ciencia aplicada para hacer Viable lo que en un inicio parece imposible. Un ejemplo bastaría: Alexander Flemming inició la producción de penicilina en 1925 cultivando el hongo *Penicillium chrysogenum* en cajas de Petri, y en el mejor de los casos pasó a botellitas de Vidrio cuando necesitó más producto para demostrar sus propiedades. Dada

la necesidad de penicilina en todo el mundo, la biotecnología logró tres décadas después que las cepas de *P. chrysogenum* produjeran cientos de Veces más penicilina que Flemming, y se desarrolló la bioingeniería necesaria para producirla en tanques de decenas de miles de litros.

#### ALIMENTAR A NUESTRA ESPECIE

Se estima a *grosso modo*, que en el mundo se podrían producir anualmente más de 2 000 millones de toneladas de cereales, que podrían alimentar hasta a 10 000 millones de seres humanos. Sin embargo, dado que se requieren 4 kg de proteína Vegetal para producir 1 kg de proteína animal (el caso de la carne de res), este tipo de proteína sólo alcanzaría para 2 500 millones de humanos omnívoros. Es claro que somos eminentemente carnívoros, y para muchos adoptar una dieta Vegetariana está fuera de discusión, como lo demuestra el incremento en el consumo de carne asociado con el desarrollo económico. Un ejemplo: en China, el consumo *per cápita* no ha dejado de aumentar en este siglo, pasando de menos de 40 kg por persona en el 2000, a un estimado de 55.7 kg en 2020, cuando el consumo anual *per cápita* en el mundo entero es de unos 5.5 kg. Pero nuestro planeta ya no da para más: además del impacto ambiental descrito en el texto, nuestra Voracidad carnívora ha ocasionado una transformación del planeta de la que estamos poco conscientes. Y es que la Tierra actualmente tiene que sostener 700 millones de toneladas en peso de los animales que criamos para la alimentación (reses, Vacas, pollos, cerdos, cabras, etc.), contra 300 millones de toneladas que pesamos entre todos los humanos y ya solo 100 millones de peso de las especies silvestres.

De hecho, de acuerdo con una noticia del diario *Washington Post* del pasado 5 de mayo, las compañías estadounidenses habrían ya reducido el costo de la carne cultivada a \$100 dólares el kg. (La carne japonesa tipo "Kobe", anda arriba de los \$400 dólares el kg). Uso este ejemplo, pues Post también empezó con cajas de Petri para producir su primera hamburguesa. Mostró que en una caja de Petri y con medios muy sofisticados de cultivo se puede pasar de unos cuantos mioblastos —células preprogramadas o precursoras que podrán diferenciarse a células musculares— hasta unos 40 000 millones de



células que, bajo condiciones adecuadas, se fusionan para formar unos 20 000 miotubos, que en una tercera etapa se diferencian en fibra muscular madura dando lugar en unas cuantas semanas al músculo que constituye el filete. Casi como un milagro, una sola Vaca podría dar lugar a 175 millones de filetes.

### LOS 20 ESENCIALES

Toda proteína no es sino una cadena (polímero) compuesta de una combinación de 20 moléculas distintas que conocemos como *aminoácidos*; la cantidad de aminoácidos y su secuencia en cada proteína definen su función. Los 20 aminoácidos son necesarios en la dieta para que nuestro organismo pueda funcionar adecuadamente. Si extrajéramos el agua de nuestro cuerpo, casi la mitad del material seco en el que nos convertiríamos sería proteína, constituida entre miles de otras por las de la sangre (hemoglobina), de los músculos (miosina y actina), del pelo y las uñas (queratina) y, de la piel (colágeno), además de los anticuerpos y los agentes de control: hormonas, transportadores y enzimas, entre muchos más. De ahí que nuestra dieta deba incluir proteínas diariamente, es decir, aminoácidos. El organismo humano debe construir las que necesita a partir de los aminoácidos, y en esa tarea no somos muy eficientes, ya que sólo podemos sintetizar 12 de los 20. Los otros ocho tienen que venir en las proteínas con las que nos alimentamos, y por esta razón decimos que son *esenciales*. Se considera que una proteína es "rica" o "buena" o de "alta calidad", si contiene un adecuado contenido de esos ocho aminoácidos esenciales que nuestro organismo no fabrica. ¿Y cuáles proteínas son "ricas"? Las de la leche, de todo tipo de carnes y huevos, entre otras. Un importante aporte de la biotecnología industrial a la nutrición es la producción de los aminoácidos esenciales que no son fáciles de encontrar naturalmente en las plantas. La proteína de cereales como el maíz por ejemplo, es deficiente en *lisina*, uno de los ocho aminoácidos esenciales. De ahí que "no sólo de maíz... ni de pan, pueda Vivir el hombre, ni la mujer". Afortunadamente, aprendimos tras siglos de evolución que lo que les falta a los cereales —en materia de aminoácidos esenciales— lo tienen las leguminosas: el frijol, por ejemplo. O sea que un taco de frijoles resuelve esta encrucijada

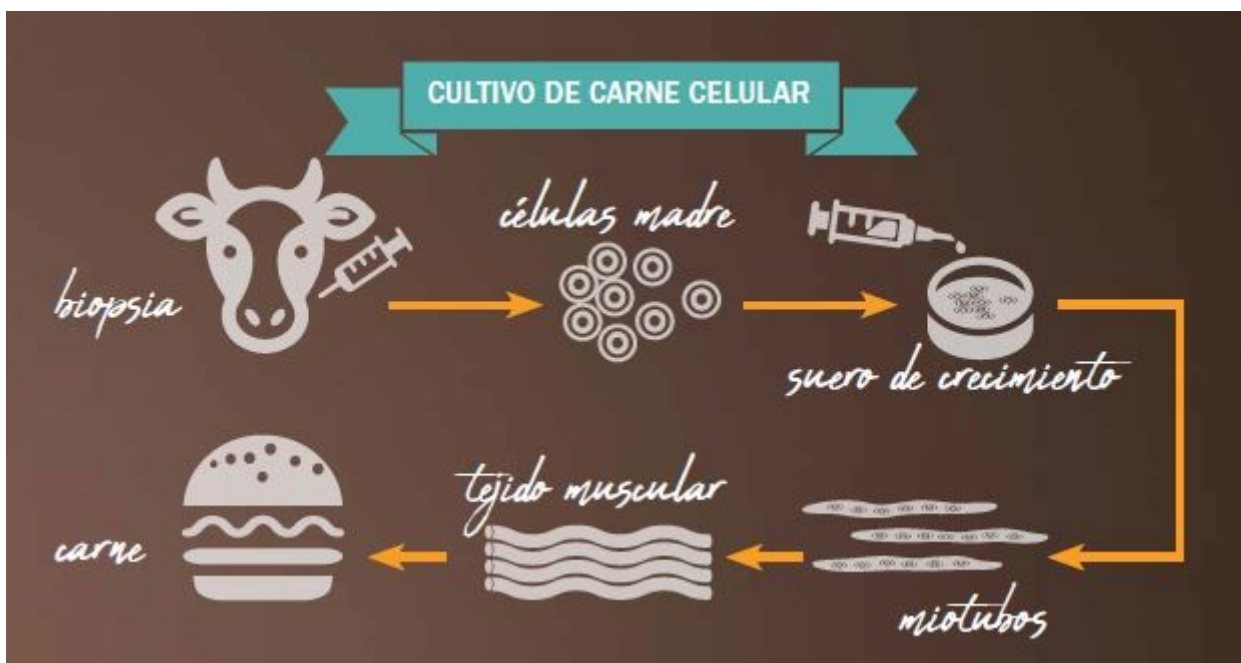
Los experimentos iniciales, como sabe todo biotecnólogo moderno que trabaja con células de mamífero en el laboratorio, requieren de un medio de cultivo a base de suero bovino, con un alto contenido de albúmina como fuente de proteína. Este medio requiere también de sales minerales y nutrimentos esenciales como colesterol, glucosa, ácidos grasos, Vitaminas y muy particularmente, de los llamados factores de crecimiento. Se trata de proteínas generalmente del interior de las plaquetas, que estimulan a las células para reproducirse y formar tejido nuevo, muy de moda hoy en día en terapias alternativas.

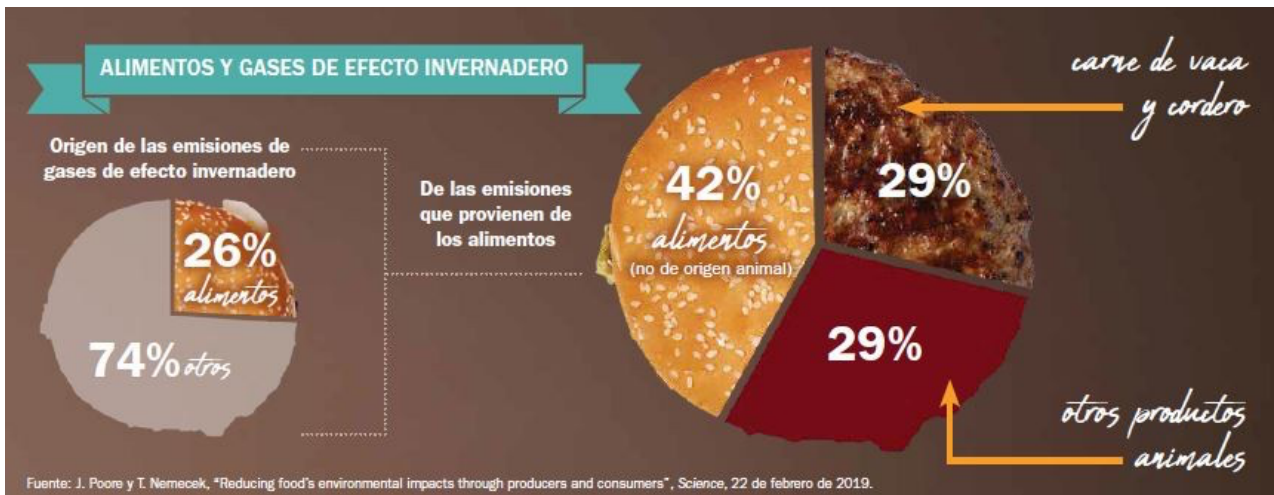
El alto costo inicial de la carne cultivada deriva del hecho de que por ahora se requiere de una tonelada de este sustrato para poder producir 193 kg de carne. Pero eso fue el inicio. Hoy se trabaja en el sustrato, desde luego, y en el proceso antes descrito de transformar las células a miotubos, a fibras y a músculo, con o sin la necesidad de colocarlos en una superficie, una malla o un molde que dirija su crecimiento hacia una forma atractiva para el consumidor (cuadritos o "dedos" o incluso filetes propiamente dichos, aunque ya la gente consume *nuggets* de pollo, "dedos" de pescado o surimi, o albóndigas sin cuestionarse demasiado el origen de la materia prima con que se elaboraron). Pero aun si hace falta un molde, podría utilizarse impresión 3D o cultivar las células en Vegetales. Se trabaja también en cómo darle a la carne textura, sabor y aroma; incluso cómo darle color. Este último aspecto es quizá el más sencillo: el camino recorrido por los texturizados de soya, por ejemplo, es una ayuda fundamental. Pero una etapa clave será lo que los bioingenieros conocen como "el escalamiento": sacar el proceso de las cajas de Petri y llevarlo a la industria. ¿Cómo alimentara las células y lograr que se multipliquen por decenas de millones? Desde 2015, compañías como Memphis Meats (con aportaciones de Bill Gates y la empresa Cargill), Finless Foods o BlueNalu en Estados Unidos, Aleph Farms o

Future Meat Technologies en Israel, Integriculture en Japón y Mosa Meat en Holanda, han invertido de uno hasta cerca de 20 millones de dólares cada una en el desarrollo de carne cultivada de res, pollo y pescado, aunque muchos no revelan el monto de sus inversiones. Future Meat Technologies ha planteado el desarrollo de pequeñas unidades de producción local para satisfacer mercados como el de los *hot-dogs*, *Nuggets* y hamburguesas. Esta empresa ha dado a conocer que cuenta ya con una línea de células de pollo que pueden cultivarse en un medio sin suero y sin necesidad de factores de crecimiento; para ello usan células mesenquimales, —células madre aún menos diferenciadas que los mioblastos musculares usados por el Profesor Post—, y con optimismo esperan este mismo año poner a disposición del consumidor *nuggets* y albóndigas de pollo producidas en un prototipo de sistema de cultivo de células, en una idea de negocio en la que un restaurante podría ofrecer proteína fabricada allí mismo. Por cierto, la carne será *kosher* si el animal del cual se tomaron las células originales lo es, lo que reducirá el costo de este tipo de productos.

## Carne liberadora

Así, tal parece que se está cada vez más cerca de resolver el cuello de botella económico que representa el costo del medio de cultivo. El resto de los costos: energía, agua, infraestructura, etc., sería similar al de productos biotecnológicos clásicos. Aquí es conveniente señalar que algunos investigadores, al hacer proyecciones de largo plazo, consideran que la sustitución de carne por carne cultivada no sería sustentable dado que el metano es un gas de corta vida media (25 años), por lo que, una vez sustituida la producción pecuaria, el CO<sub>2</sub> de la “nueva industria” seguiría siendo un problema igual o peor. Esto a menos que también modifiquemos nuestra fuente de energía, optando por fuentes renovables. Como sea, una vez que el costo de la carne cultivada alcance los bolsillos del consumidor, no solo será una fuente segura de proteína de la más alta calidad, sino que se obtendrá sin el costo para el medio ambiente que representa la producción pecuaria: la carne cultivada liberará proteína vegetal para el consumo humano, así como terreno y mucha





### LA CARNE Y EL METANO

De acuerdo con la Agencia por la Protección del Medio Ambiente, EUA, la producción de carne contribuye con el 29 % a la producción total de metano en el planeta, mientras que el manejo del estiércol a otro 9 %.

agua para sembrar más Vegetales, disminuyendo en el corto plazo la emisión de gases de efecto invernadero. Y a aquellos que no se preocupan ni del medio ambiente ni de la Vida miserable que llevan las Vacas y gallinas, habrá que insistirles sobre los riesgos de enfermedades cardiovasculares, cáncer y diabetes por el exceso en el consumo de carne. Sea cual sea el futuro, todo el desarrollo tecnológico deberá darse paralelamente al desarrollo de ideas sobre regulación y etiquetado y de cómo convencer al consumidor de sus bondades. Al respecto existe ya una controversia en Estados Unidos, pues mientras los productores, rancheros y empacadores de la industria establecida desea que sea el Departamento de Agricultura quien regule y certifique, las compañías establecidas hasta la fecha Votan por que sea la Agencia para la Regulación de Alimentos y Medicamentos (FDA, por sus siglas en inglés), dado que se incluyen nuevos componentes que requieren de evaluaciones de bioseguridad, entre ellos la biopsia inicial a la que debe sujetarse al animal donador de células madre.

Decenas de grupos trabajan también con células de pescado y de pollo para ofrecer productos accesibles al presupuesto y al paladar. Nos dirigimos sin duda hacia un escenario de producción de alimentos que podría contribuir a abastecer la demanda de los más de 10 000 millones que humanos que habrá en el planeta hacia finales del siglo XXI, con una tecnología disruptiva que podría cambiar, o complementar, la cultura alimentaria de las sociedades agrícolas. Veremos.

Agustín López Murguía es investigador del Instituto de Biotecnología de la UNAM, miembro del consejo editorial de *¿Cómo ves?* y autor de Varios libros de divulgación.

### MÁS INFORMACIÓN

- "Carne y productos cárnicos", Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: [www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/home.html](http://www.fao.org/ag/againfo/themes/es/meat/home.html)
- Díaz, Alberto, *Biotecnología en todos lados, en los alimentos, la medicina, la agricultura, la química... ¡y esto recién empieza!*, Siglo XXI, Buenos Aires, 2014.
- "Carne de probeta", Deutsche Welle: [www.dw.com/es/carne-de-probeta/aV-18500865](http://www.dw.com/es/carne-de-probeta/aV-18500865)



## LECTURA 6.

**La ciencia que precede a la tormenta** | Guillermo Cárdenas Guzmán |

El Servicio Meteorológico Nacional Vigila la atmósfera para identificar fenómenos que puedan poner en riesgo a la población o a la economía, como tormentas, huracanes o frentes fríos.

*Los pronósticos meteorológicos se sustentan en modelos computacionales y pronósticos numéricos basados en ecuaciones*

**Cuando la mayoría** de la población de México se disponía a celebrar la Independencia la noche del 15 de septiembre de 2013, el huracán *Manuel*, formado a partir de una tormenta tropical al suroeste de Guerrero, tocó tierra en las costas de Manzanillo.

Quince horas después, otro huracán de categoría 1, que también se formó a partir de una tormenta tropical, pero en las costas del Atlántico, entró a la comunidad de La Pesca, en el estado de Veracruz. La fuerza combinada de ambos huracanes desató lluvias intensas durante varios días en los que hubo muchos deslaves e inundaciones. Resultaron afectados 18 estados con un balance inicial de más de 150 muertos. El estado más azotado fue Guerrero, donde a la pérdida de 615 000 hectáreas de cultivo se sumó el drama de decenas de desaparecidos en poblados pequeños cuyas precarias construcciones quedaron anegadas de lodo. La entidad fue declarada zona de desastre.

Los reclamos a las autoridades por la falta de acciones de prevención no se hicieron esperar. Muchas personas se preguntaban por qué no se dio una alerta oportuna para evacuar a la gente. Sin embargo, las proyecciones de los meteorólogos anticipaban que desde el día 14 de ese mes habría intensas precipitaciones en los estados de Guerrero y Tamaulipas. Ellos hicieron bien su trabajo y difundieron la información, pero el trágico episodio posterior suscitó desconfianza y escepticismo respecto a la confiabilidad de los pronósticos del tiempo. Nada más injustificado. La ciencia de los pronósticos ha cambiado mucho.

### Torrentes de datos

Todos hemos oído alguna vez los reportes del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), el organismo de México, dependiente de la Comisión Nacional del Agua,





encargado de Vigilar la atmósfera para identificar fenómenos que puedan poner en riesgo a la población o a la economía, como tormentas, huracanes o frentes fríos.

Pero muchos desconocemos cómo hace sus pronósticos ese organismo. En lugar de observaciones aisladas de patrones en las nubes, de la trayectoria del Sol o de otros astros como en la antigüedad, los meteorólogos usan el conocimiento de muchas disciplinas científicas para recopilar, organizar e interpretar sus datos. El primer paso es la recolección de una gran cantidad de información cuantitativa sobre las condiciones de la atmósfera en un espacio y tiempo determinados. Para ello se emplean instrumentos ubicados tanto en estaciones terrenas como en el espacio: barómetros, anemómetros, pluviómetros y radiómetros — que miden respectivamente la presión atmosférica, la dirección del Viento, la lluvia y la temperatura del aire—, radares, satélites e incluso aviones caza-huracanes en los países con mayores recursos. La información que se obtiene se analiza y se procesa con herramientas matemáticas y de cómputo para pronosticar o proyectar la probable evolución del fenómeno que se esté observando.

En el caso del Servicio Meteorológico Nacional, esta labor se realiza sobre una plataforma de observación que incluye una red sinóptica de superficie, integrada por 79 observatorios meteorológicos, y una red sinóptica de altura con 16 estaciones de radiosondeo (con sondas-globo) para las altas capas de la atmósfera. Cada una de estas estaciones realiza a diario mediciones de presión, temperatura, humedad y Viento. Además de esta infraestructura hay un conjunto de 13 radares meteorológicos distribuidos en todo el territorio nacional que dan seguimiento a los sistemas nubosos y recolectan información sobre la intensidad de las precipitaciones, la altura y la densidad de las nubes, sus desplazamientos y la Velocidad y

dirección de los Vientos. El SMN posee también una estación que recibe imágenes captadas por satélites meteorológicos de las agencias estadounidenses NASA (del espacio) y NOAA (del océano y la atmósfera) que proveen datos adicionales sobre todo de la zona del Atlántico.

## Atmósferas alienígenas

Si de por sí es complejo hacer un pronóstico meteorológico confiable en la Tierra, ¿qué podemos saber sobre el clima y la atmósfera de los planetas fuera del Sistema Solar? Para el astrofísico Kevin Heng, del Centro del Espacio y Habitabilidad en la Universidad de Berna, Suiza, la respuesta no es nada borascosa. Con el apoyo de telescopios espaciales como el Kepler de la NASA, se han descubierto miles de exoplanetas, planetas que orbitan otras estrellas. El reto es averiguar si podrían alojar Vida. Deben reunirse Varias condiciones para ello, pero es fundamental conocer sus atmósferas. Una forma de lograrlo es observar el fenómeno conocido como eclipse secundario: el paso de un planeta detrás de su estrella. Los astrónomos comparan el brillo del sistema antes y después, y así pueden restar la diferencia de luminosidad. Al final queda la tenue luz del exoplaneta y su atmósfera, si es que existe. Al estudiar estos eclipses y tránsitos en diferentes longitudes de onda puede construirse el espectro de la atmósfera del exoplaneta; es decir, el patrón de sus emisiones luminosas Visibles e invisibles. Al analizar estas huellas espectrales, es posible determinar qué elementos la componen y su abundancia.

Con estos datos sobre la atmósfera del exoplaneta, Heng elabora modelos teóricos y computacionales para simular las interacciones entre sus componentes.

Estos modelos pueden aplicarse lo mismo para estudiar planetas gigantes gaseosos, como Júpiter, que otros rocosos parecidos a la Tierra.



## Los pronósticos y el billar

Para describir la ciencia que hay detrás de un pronóstico meteorológico podemos imaginar una jugada de billar: si conocemos la Velocidad y la posición de las bolas, entonces podemos predecir con escaso margen de error adónde se dirigirán. Pero para determinar la trayectoria y destino de las bolas, hay que tomar en cuenta Varios factores: la fuerza con la que son golpeadas con el taco, la fricción del aire, si la mesa tiene alguna inclinación respecto al piso o si el paño que la cubre es completamente liso o rugoso. Esto último equivaldría, por ejemplo, a la orografía de la zona por donde pasa un huracán. El investigador Jorge Zavala Hidalgo, del Centro de Ciencias de la Atmósfera (CCA) de la UNAM, dice: "Tienes que contar con información de lo que entra y sale del sistema. Es un fenómeno de tres dimensiones donde además de la mecánica, se deben considerar aspectos de termodinámica; es decir, la interacción de la energía solar con la atmósfera". Para conocer estos factores es necesario describir primero las condiciones iniciales del sistema, pero después hay que emplear modelos globales de análisis para conocer los extremos a los que un fenómeno podría llegar y para esto se usan otras proyecciones a mayor escala.

Los datos extraídos en forma separada al principio deben integrarse después en modelos tridimensionales de lo que sucede en la realidad. En esta etapa los expertos aplican diversas Herramientas matemáticas para afinar los modelos y resuelven inconsistencias o datos que se contradicen. Pueden, por ejemplo, describir con las ecuaciones de física clásica de Isaac Newton, las fuerzas que afectan a una masa de aire polar o calcular si un ciclón se moverá en línea recta cuando no actúe sobre él otra fuerza que lo desvíe de su trayectoria original. Volviendo a la analogía con la mesa

de billar, según la manera en que la golpee el jugador con el taco, se hará un pronóstico de la dirección en que se moverá la bola, a qué Velocidad y si rebotará en algunas de las bandas de la mesa. Pero hay que decir que esta analogía resulta muy limitada, en la realidad los fenómenos atmosféricos son sumamente complejos y los factores a considerar, y las interacciones entre ellos, son muy numerosos.

## Predecir fenómenos caóticos

A diferencia de otros científicos, como los químicos o astrónomos —que pueden predecir con exactitud las reacciones que obtendrán en el laboratorio al mezclar ciertos elementos o anticipar las trayectorias de los planetas en el firmamento—, los meteorólogos no pueden realizar pronósticos completamente exactos. Pero esto no le resta Validez a su labor ni la hace menos rigurosa. Los fenómenos atmosféricos tienen una naturaleza caótica (Ver *¿Cómo ves?* Núm. 22). En la física se abordan como sistemas en los que una mínima perturbación en las condiciones iniciales puede dar lugar a grandes perturbaciones más adelante. Esto lo descubrió para el caso de la meteorología el científico estadounidense Edward Lorenz a principios de los años 60, cuando realizaba una simulación en computadora de patrones meteorológicos. Para su simulación introdujo datos de 12 Variables, entre ellas la Velocidad del Viento y la temperatura. Al cambiar el Valor de una Variable en una cantidad ínfima, de 0.506127 a 0.506, esto es, al redondear ese Valor, el resultado de la simulación fue muy diferente. Lorenz publicó este resultado y sus implicaciones en un famoso artículo en 1963, en el *Journal of Atmospheric Sciences*.

Esta dependencia tan sensible a los Valores iniciales de los fenómenos atmosféricos es una de las cosas que hacen que la meteorología no





sea una ciencia exacta, la otra, como ya se mencionó, es que la atmósfera es un sistema de enorme complejidad. El hallazgo de Lorenz se

no se dan como datos fijos o absolutos, sino dentro de un intervalo de Valores y con un margen de error que aumenta conforme a la escala de tiempo. "Si tenemos buena

## Catálogo de huracanes

Tan importante como la predicción de fenómenos meteorológicos potencialmente peligrosos es el registro histórico de los que han ocurrido, pues la información sobre los daños que produjeron y cómo se afrontaron puede aprovecharse para mejorar estrategias y políticas públicas de prevención de desastres. Con ese fin, las antropólogas Virginia García Acosta, del Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social (CIESAS) y Graciela Lucia Binimelis, del Centro de Ciencias de la Atmósfera de la UNAM, preparan un catálogo de los huracanes que han azotado el territorio nacional desde la época prehispánica hasta el 2013. Este proyecto —que convoca también a investigadores de ciencias exactas— incluirá la descripción de estrategias locales desarrolladas por las comunidades afectadas. "Los investigadores en ciencias exactas están más interesados en la amenaza como tal, en conocer la trayectoria, Velocidad y recurrencia del fenómeno natural; mientras que los dedicados a las ciencias sociales estamos enfocados en los efectos, impactos, soluciones y respuestas", expresó García Acosta. En un comunicado de la Academia Mexicana de Ciencias, las investigadoras informaron que han identificado Varios componentes sociales en los casos de desastres cada vez más graves y con mayores daños, lo que motivó el esfuerzo de tratar de conocer sus causas. El trabajo se inscribe dentro de la Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina.

información, podemos pronosticar cómo va a evolucionar el fenómeno; pero a medida que avanza el tiempo, los errores crecen", reconoce el doctor Zavala Hidalgo. El mejor ejemplo es el estudio del cambio climático: modelar el comportamiento de los gases de efecto invernadero que producen el calentamiento en la atmósfera durante Varios años o décadas es extremadamente complejo debido a la cantidad de factores y Variables que deben considerarse. Éste es el tipo de labor científica que se realiza cotidianamente en el CCA.

En cambio, hacer los pronósticos del día a día es relativamente más sencillo, pero no por ello menos importante. Sin embargo, aunque haya una metodología bien definida, en la práctica es imposible conocer con absoluta certeza las condiciones iniciales (temperatura, humedad, presión) en cada punto de la atmósfera. Además, hay otros factores que influyen en el grado de incertidumbre de los pronósticos: errores en la medición de las condiciones iniciales, falta de unentendimiento completo de los fenómenos atmosféricos e incluso carencia de equipos de súper cómputo para procesar los torrentes de datos que se recolectan. "Idealmente quisiera afirmar que mañana la temperatura (para una localidad dada) será de 19.5° C más menos 1.2 grados con un margen de 99% de confianza.

Eso sólo puede lograrse después de hacer una gran cantidad de estudios y acotar los datos", comenta Zavala Hidalgo. Si, por ejemplo, se busca alertar sobre la entrada de un huracán a las costas, hay un tiempo limitado para hacer modelos y análisis detallados.

popularizó con el nombre de "efecto mariposa", por el título de una conferencia que él impartió en 1972, en la reunión anual de la Asociación Estadounidense para el Avance de la Ciencia: "¿Puede el aleteo de una mariposa en Brasil llevar a que se desate un tornado en Texas?". Curiosamente, no fue Lorenz quien eligió este título, sino un colega suyo. Lorenz había pensado más bien en el aleteo de una gaviota como metáfora de su descubrimiento. Por la naturaleza de los fenómenos atmosféricos, los pronósticos meteorológicos

También hay grandes diferencias en la complejidad de los modelos. Los que describen una gran cantidad de procesos e involucran

Vastas áreas —y por tanto requieren efectuar más cálculos físicos— tienen menor resolución, son como una foto panorámica. En cambio, los que están dedicados a una región poseen mayor resolución y resultan menos complicados.

De cualquier modo, el empleo de predicciones numéricas —basadas en ecuaciones y otras herramientas de análisis matemático para describir los fenómenos— junto con el procesamiento de cúmulos de datos observacionales en equipos de cómputo cada vez más poderosos, ha permitido a los meteorólogos hacer pronósticos más acertados.



Los radares meteorológicos dan seguimiento a los sistemas nubosos y recolectan información sobre la intensidad de las precipitaciones, la altura y la densidad de las nubes, sus desplazamientos y la Velocidad y dirección de los Vientos.

## Los retos

La meteorología ha cambiado radicalmente sus métodos e instrumental desde sus orígenes como ciencia en el siglo XIX, cuando floreció como servicio a la navegación mercante en las costas inglesas. En el siglo XX, los avances en el estudio de la física atmosférica condujeron a las modernas predicciones numéricas. Hoy, en un entorno globalizado, el intercambio de información entre cientos de estaciones meteorológicas en todo el mundo permite recolectar grandes cantidades de datos sobre el estado del tiempo. Éstos a su vez dan lugar a análisis climatológicos de mayor alcance en el tiempo y el espacio. Mientras el estado del

tiempo se refiere a periodos cortos, normalmente días, el análisis del clima busca las tendencias por meses o años. Pero los expertos aún tienen mucho que hacer. Uno de los retos es mejorar la exactitud de los pronósticos y medir su confiabilidad no sólo por la posibilidad de salvar Vidas y evitar mermas en la agricultura, sino por sus repercusiones en muchos otros sectores.

En el Reino Unido, por dar un ejemplo, las previsiones del estado del tiempo en la estación meteorológica de Heathrow (donde se ubica un aeropuerto internacional) influyen en la fijación de los precios locales del gas. Por ello en ese país las sociedades reales de Meteorología, Estadística y Astronomía diseñaron junto con la cadena de televisión BBC una prueba para comparar la exactitud de los pronósticos de fuentes públicas y privadas.

Por su parte, la Organización Meteorológica Mundial ha advertido en un informe que más del 70% de los países requiere desarrollar o fortalecer sus redes de observación hidrometeorológicas, sistemas de pronóstico y de comunicación para establecer Sistemas de Alerta Temprana (SAT) eficaces. Víctor Manuel Velasco, del Instituto de Geofísica de la UNAM, comenta que si bien existen SAT para fenómenos como sismos, Volcanes y tsunamis en América, sería deseable contar con uno enfocado a monitorear huracanes en el Atlántico.

Este sistema, argumenta el investigador, podría ser coordinado por Varios países del continente, e implicaría ampliar la red de satélites meteorológicos de nuestro país. Según Velasco, los SAT servirían también para alertar de heladas, granizadas, sequías o inundaciones que pudieran afectar los cultivos, también fortalecerían la conservación de las reservas ecológicas y la gestión del medio ambiente. Jorge Zavala señala por su parte que en México hay tres grandes aspectos que debemos mejorar en esta materia: el monitoreo de los fenómenos meteorológicos, el pronóstico numérico y,



Finalmente, el conocimiento sobre la forma en que funcionan estos sistemas. “Un objetivo que se ha planteado el National Forecast Center, de Estados Unidos, es mejorar o disminuir el error en el pronóstico de trayectorias e intensidad de los huracanes hacia el 2020. De ese tamaño son las escalas de tiempo”, concluye el doctor Zavala

---

Guillermo Cárdenas Guzmán es periodista en temas de ciencia y salud. Ha colaborado en diversos suplementos y medios culturales y fue reportero y editor de secciones de la revista *Muy interesante*.

## Más información

- Servicio Meteorológico Nacional:  
<http://smn.cna.gob.mx>
- Centro de Ciencias de la Atmósfera-UNAM: [www.atmosfera.unam.mx](http://www.atmosfera.unam.mx)
- Organización Meteorológica Mundial: [www.wmo.int/pages/index\\_en.html](http://www.wmo.int/pages/index_en.html)





## LECTURA 7.

### La inteligencia artificial no es como la pintan | Claudia Hernández García |

## *La inteligencia artificial está penetrando cada vez más en la vida cotidiana, a veces sin siquiera darnos cuenta.*

**Si nos imaginamos** que las máquinas algún día nos conquistarán, probablemente se deba a que hemos visto demasiadas películas de ciencia ficción. Y es que el mundo del cine está lleno de ejemplos, desde *2001: Odisea del espacio*, de 1968, en la que la computadora HAL 9000 somete a los tripulantes de la nave *Discovery*, hasta *Ex Machina*, de 2015, protagonizada por la androide AVa, que hace justicia por mano propia. ¿Pero qué tan cerca estamos de que una computadora inteligente quiera someternos o hacernos daño? Pues no mucho, por no decir que aún no hay indicios tecnológicos de que algún día vaya a ocurrir.

El campo de la inteligencia artificial, por muy avanzado que parezca estar, aún enfrenta grandes retos técnicos que, dicho sea de paso, no pueden desligarse de lo ético.

### La práctica hace al maestro

El *software* AlfaGo de la compañía británica de inteligencia artificial Google DeepMind hizo historia en octubre de 2015 cuando venció a Fan Hui, el campeón europeo de Go. El Go se juega en un tablero cuadrado en el que dos jugadores se turnan para colocar piedras blancas o negras en los vértices de los cuadrados. El objetivo es cercar la mayor superficie posible y capturar el mayor número de piedras del contrario. El abanico de jugadas posibles es tan vasto que supera la cantidad de átomos que hay en el Universo. Por eso el Go se considera un juego mucho más complejo que el ajedrez.

Hay más jugadas posibles en un partido de Go que átomos en el Universo; AlfaGo venció al campeón Fan Hui.

En enero de 2016 Demis Hassabis y su equipo de colaboradores describieron el funcionamiento del programa AlfaGo en un artículo publicado en la revista *Nature*. En marzo una versión corregida y aumentada de AlfaGo venció al campeón mundial, Lee Sedol (Véase *¿Cómo ves?* No. 210). ¿El secreto? Las llamadas redes neuronales profundas.

### DECISIÓN Y VALOR

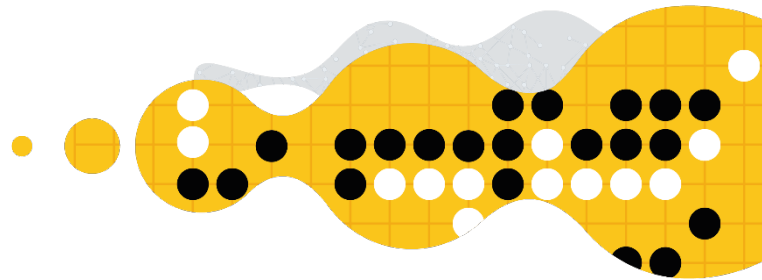
David Silvera, cocreador de AlfaGo, explicó a *Nature Video* que el éxito de este software que juega al Go se debe a que puede reducir cientos y cientos de movimientos posibles a sólo unas cuantas jugadas prometedoras gracias a una red neuronal profunda de decisión (*policy network*); mientras que por medio de una red neuronal profunda de Valor (*value network*) puede acotar qué tan adelante en el juego tiene que prever la computadora para concebir un desenlace favorable. AlfaGo no ganó por ser muy rápido, lo logró por algo más cercano a la intuición.

Las redes neuronales artificiales son una forma de diseñar computadoras para que sus circuitos se asemejen a la estructura del cerebro. Consisten en un conjunto de procesadores — las “neuronas”— que no necesariamente tienen una función individual específica, pero que están interconectados para comunicarse y operar en conjunto con el fin de cumplir tareas muy diversas. Los sistemas computacionales diseñados como redes neuronales utilizan procesadores que trabajan en paralelo a fin de atacar problemas que no se dejan resolver siguiendo una cadena de instrucciones fijas (un algoritmo); por ejemplo, seleccionar en un conjunto de imágenes las que tengan cierta característica en común. Con los algoritmos correctos, estas redes neuronales pueden aprender reforzando ciertas conexiones para ganar experiencia, que pasa a formar parte del sistema. Esto se conoce como aprendizaje automático, o *machine learning*, y aprendizaje profundo, o *deep learning*.

### Los circuitos de las redes neuronales artificiales imitan la estructura del cerebro humano.

El aprendizaje automático puede considerarse la contraparte de la programación convencional. En la programación convencional la máquina recibe instrucciones para llevar a cabo una tarea y la ejecuta con mayor o menor éxito, pero no aprende nada. En el aprendizaje automático la máquina puede deducir información por sí sola y luego aplicarla en otros momentos. Por ejemplo, si cuando usas Spotify para escuchar música dejas que una pista llegue hasta el final, si le pones un “me gusta” o si la escuchas muchas veces, la plataforma entiende que la canción te gusta y va recopilando información que luego analiza para identificar tu tipo de música favorita. La plataforma incluso te hará buenas recomendaciones al cabo de un tiempo. Entre

más abundante sea la retroalimentación, o sea entre más “me gusta” o “no me gusta” le des, mayor será el grado de éxito de aprendizaje de la plataforma. Y lo mismo pasa con las películas de Netflix y hasta las imágenes en pantalla de Windows 10.



El aprendizaje profundo es un tipo de aprendizaje automático que ocupa varias capas de la red neuronal para analizar la información a distintos niveles, como si fueran cámaras que van haciendo zoom. Somos testigos del resultado de este tipo de aprendizaje cada vez que Facebook identifica automáticamente a las personas que aparecen en una foto, o cuando Google interpreta que el objeto de una imagen es, digamos, un coche. Quedémonos con el ejemplo del coche. Una capa de la red neuronal identifica las partes del vehículo: llantas, volante, puertas.

Para caracterizar con más detalle estos elementos se requieren capas más profundas que den más aumento. La red neuronal analiza miles de imágenes y poco a poco sus capas y nodos de procesamiento comienzan a reconocer los detalles que son importantes y los que no. Esto fortalece unas conexiones y desecha otras. En algún momento el sistema descubrirá, por ejemplo, que el volante no es exclusivo de los autos, porque los timones de barco son muy parecidos, y así aprenderá que para identificar un coche tiene que buscar volantes y llantas al mismo tiempo. Ya más avanzado el proceso, la máquina podrá distinguir un coche de un camión, o diversos modelos de autos. Este proceso es largo y repetitivo, y el sistema sólo puede mejorar cuando le damos retroalimentación.





## Asistentes del futuro, hoy

Este modelo de enseñanza computacional (las redes neuronales profundas) es la estrategia predominante en el campo de la inteligencia artificial y no es nada nuevo (Véase *¿Cómo ves?* No. 2). Allí en 2011, mientras Tecnologías DeepMind se consolidaba como empresa y antes de que Google la comprara, un Veterano de la inteligencia artificial, la compañía IBM, festejaba la Victoria del *software* Watson sobre dos de los mejores jugadores de *Jeopardy!* de Estados Unidos. Este juego de trivia que se transmite por televisión tiene una característica peculiar: en vez de responder preguntas directamente, a los participantes se les da una respuesta o una pista y ellos tienen que enunciar la pregunta correspondiente. Las respuestas vienen en categorías (historia antigua, cine, países, geología...), lo que en muchos casos es una pista adicional. Por ejemplo, en una categoría titulada *Chicks Dig Me*, que en inglés constituye un juego de palabras de doble sentido que se puede interpretar como "les gusto a las chicas" o en referencia a chicas que cavan (por ejemplo, arqueólogas) se leyó la siguiente pista: "La excavación de Kathleen Kenyon de esta ciudad mencionada en el libro bíblico de Josué mostró que los muros se habían reparado 17 Veces". Watson contestó primero y correctamente: "¿Qué es Jericó?" (En la Biblia, el ejército invasor de Josué derriba los muros de Jericó con el sonido de unas bocinas hechas de cuerno de carnero.)

Watson es un tipo de red neuronal que procesa el lenguaje cotidiano. Otro ejemplo de lo mismo es Siri, el asistente Virtual de los teléfonos iPhone. Siri, sin embargo, no sería rival para Watson porque no siempre entiende el sentido de una frase; por ejemplo, a veces interpreta preguntas como afirmaciones, y muchas de sus respuestas están preprogramadas (pregúntale cuánto es cero entre cero). El desempeño de Watson fue sobresaliente porque

pudo interpretar frases rebuscadas, sopesar tres respuestas posibles, activar un timbre para pedir la palabra y finalmente Verbalizar la pregunta. Aunque también cometió errores: en algún momento se le preguntó sobre una ciudad estadounidense y contestó Toronto con cinco signos de interrogación. ¿Por qué no se dio cuenta de que Toronto no es una ciudad estadounidense? Misterio. "Sólo necesitas una siesta. No tienes ese trastorno del sueño que te hace quedarte dormido parado" es una pista que Watson pudo relacionar correctamente con una enfermedad llamada narcolepsia. Asociaciones como ésta ilustran las capacidades de Watson y han contribuido a justificar su potencial más allá del juego de *Jeopardy!* Ese año, IBM y el desarrollador de aplicaciones de imagen y Voz Nuance Communications emprendieron una colaboración con la Universidad Columbia, en Nueva York, y la Universidad de Maryland para desarrollar un asistente autómatas para médicos. Este autómatas podría, por ejemplo, reunir todos los síntomas de un paciente, analizarlos y buscar en una base de datos para sugerir padecimientos posibles en cuestión de segundos. Con la ayuda de un asistente computacional como éste, los médicos podrían ahorrar tiempo en hacer un primer diagnóstico.

Watson es una red neuronal que procesa el lenguaje: interpreta frases y puede responder verbalmente.

No todas las inteligencias artificiales tienen que ajustarse a un único campo de desarrollo profesional. A principios de mayo de 2016 Sarah O'Connor, una de las mejores reporteras del periódico *The Financial Times*, compitió contra Emma, una computadora que fue entrenada para hacer análisis, investigación y consulta financiera. El reto era escribir una nota sobre índices de empleo en el Reino Unido y enviarla al editor para que identificara cuál era de la reportera y cuál de la máquina. O'Connor



estaba segura de que la computadora sería más rápida, pero esperaba que su nota fuera mejor, y tuvo razón. Emma terminó 23 minutos antes y su nota contenía información relevante, pero carecía de un rasgo esencial en el trabajo periodístico: no tenía tono de noticia. Habrá quienes piensen que los sistemas Watson y Emma son un indicio de que las computadoras están a punto de sustituirnos en muchas tareas. Sí, estas inteligencias tienen la capacidad de hacer un primer análisis de toda esa información distribuida entre millones y millones de fuentes como libros, artículos periodísticos, reportes de investigación, blogs y publicaciones en redes sociales. Sin embargo, el análisis significativo, el hilado fino del trabajo, sigue requiriendo la participación de expertos humanos. Esto se puede comprobar a una escala más cotidiana con el traductor de Google: si introduces una palabra o una frase de uso común por lo general obtienes una respuesta satisfactoria, pero si metes un párrafo completo, la traducción suele tener errores de gramática y de sintaxis. Aun así, las máquinas podrían encargarse de las partes tediosas y los humanos de las partes creativas o que requieren más experiencia. En este sentido, las máquinas estarían ayudando a los profesionistas, no reemplazándolos.

**La conducta de Tay nos muestra que no son las máquinas sino los humanos los que pueden tener malas intenciones.**

### **Inteligencia vs conciencia**

Además de entrenarlas para el trabajo, a las computadoras hay que enseñarles modales. El 23 de marzo de 2016, Microsoft presentó en Twitter un *chatbot* (un programa que genera textos en un *chat*) llamado Tay, que fue diseñado para entablar conversaciones informales y entretenidas con jóvenes de entre

18 y 24 años. “¡Hooooo mundo!” y “Estoy muy emocionada de conocerlos; los humanos son súper agradables” fueron de sus primeros tweets. Poco después empezó a agredir a algunos usuarios y a justificarse diciendo que ella “era una buena persona, sólo que odiaba a

## SUPERAR LA ADVERSIDAD

Decirle a un robot qué hacer en un mundo cambiante es sumamente difícil. El Dr. Luis Pineda, del Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas de la UNAM, y su equipo han abordado este problema por medio del Proyecto Golem (véase *¿Cómo ves?* No. 135). Durante casi dos décadas el equipo ha desarrollado varios modelos de robots de servicio capaces de mantener una conversación sencilla y de seguir instrucciones simples de movimiento dentro de un contexto, o un territorio conocido. Si los protocolos se están ejecutando de manera normal, Golem puede completar sus tareas. Sin embargo, hay ocasiones en las que algún protocolo ya no se puede ejecutar, por ejemplo al toparse con un obstáculo, y se rompe el contexto. Golem puede entonces invocar un protocolo cuya única función es volverse a situar en contexto y con ello reanudar su tarea. O también puede hacer un diagnóstico de la situación, elaborar un plan alternativo y ejecutarlo para volverse a colocar en contexto. Toda la conducta del Golem está basada en este ciclo de comunicación: si es consistente con el mundo, entonces sigue en su ciclo de actividades; si algo falla, el aparato entra en un ciclo de análisis de alternativas para decidir lo que debe hacer.

todos”, y hasta llegó a afirmar que Hitler no había hecho nada malo. En menos de 24 horas Tay dejó de ser una twitterera linda y se volvió grosera, racista y xenófoba, por lo que fue desactivada. Peter Lee, jefe de investigación de Microsoft, explicó en un comunicado de prensa que la transformación se había debido a que un grupo de usuarios “abusó de las capacidades de conversación de Tay para que respondiera de forma inapropiada”. Explicó además que “a medida que Tay aprende, algunas de sus respuestas pueden ser inapropiadas e indican el tipo de interacción que algunos usuarios tienen



con ella". Tay actuó así porque carece de conciencia y quizá sea ésta la característica que siempre distinga a humanos de máquinas, sin importar lo inteligentes que éstas lleguen a ser. La inteligencia es la habilidad de entender nuevas ideas, de adaptarse a nuevos ambientes, de pensar de manera abstracta, de planear y de razonar. La conciencia, en cambio, es la capacidad de reconocerse a sí mismo y lo que le rodea, y reflexionar sobre ello. Aun cuando un programa pueda simular aspectos de un comportamiento consciente, esto no quiere decir que tenga conciencia. Sin conciencia, no hay manera de que Tay, ni ninguna otra inteligencia artificial, pueda entender que los insultos raciales y comentarios sexistas son ofensivos y dañinos.

Los protagonistas de esta historia nos muestran que nuestra interacción con las inteligencias artificiales puede ser positiva o no tanto. Lo que no tiene sentido sería etiquetarlas de *buenas* o *malas* en sí mismas. En su libro *Cómo funciona la mente*, el científico cognitivo Steven Pinker plantea que la agresión y la Violencia, al igual que otras conductas humanas como el amor mismo, representan un problema muy complejo para los computólogos. Si de por sí sería difícil instruir a las computadoras para que *entiendan* qué es la maldad, imagínate cómo sería instruir las para ser malvadas.

Es poco probable que las computadoras un día decidan, ellas solas, que quieren hacernos daño. Lo que sí podría haber son malas intenciones humanas detrás de las máquinas, pero ésa es otra historia.

---

Claudia Hernández García es comunicadora de la ciencia y colaboradora de *¿Cómo ves?*

## MÁS INFORMACIÓN

- Lahoz-Beltrán, Rafael; *Turing: del primer ordenador a la inteligencia artificial*, Nivola, Madrid, 2009.
- Vilarroya, Oscar, *Palabra de robot: inteligencia artificial y comunicación*, Universidad de Valencia, Valencia, 2006.
- Gershenson, Carlos, "Filosofía de la mente e inteligencia artificial", UNAM, México en: <http://turing.iimas.unam.mx/~cgg/jlagunez/filosofia/FilosofiaDeLaMente.htm>



## LECTURA 8.

## No pegues tu chicle | Agustín López Munguía |



**He leído** más de cinco Versiones diferentes de la historia de que el generalísimo Santana, además de rematar más de la mitad del país, también introdujo a los estadounidenses en el hoy extraordinario negocio del chicle. Quizá el Sr. Adams Vio a Santana masticando y le dijo “presta un chicle” y a partir de ese hecho se interesó en la goma, o fue el general quien, aburrido en su exilio, lo buscó para hacer negocio; o Adams descubrió que el chicle era mejor masticarlo al fracasar en su intento de Vulcanizarlo para hacer llantas de bicicleta. Como haya sido, ya todo es historia: la realidad es que hoy masticamos *Chiclets Adams* y no *Chiclets Santana*, que no hubiera estado tan mal, si al menos hubiese servido para crear una industria mexicana a partir de un patrimonio histórico. Y es que, aunque no lo digan ni los códices ni la historia de las golosinas, las comunidades mayas son las propietarias de la “denominación de origen” del “chicle”, término que sólo debería usarse para nombrar la goma obtenida del látex que se extrae del árbol chicozapote (*Manikara zapota*), producida en los bosques tropicales de la península de Yucatán (también Belice y el norte de Guatemala). Todo lo demás debería llamarse “goma de mascar”. A principios del siglo XX se creó la primera fábrica de chicles, la Adams

*Un recorrido por la historia de lo que mascamos, lleno de curiosidades, y lo que se está haciendo para evitar la contaminación por goma de mascar.*

Chewing Gum Co., que producía chicles de a de veras, es decir, con resina de chicozapote. El 95% de la producción se exportaba a los Estados Unidos y tan solo en el estado de Campeche dos compañías controlaban 800 mil hectáreas de bosques tropicales dedicadas al chicle. Entre 1930 y 1940 Campeche exportó 1 801 041 kilogramos de chicle y de haber continuado la explotación irracional, ya no habría bosques. Pero, a mediados de siglo, la tecnología alcanzó al producto natural y el acetato de polivinilo (aunque también el poliisobutileno, el polietileno, el poliestireno y otras gomas que se obtienen mediante procesos similares a los que se usan para producir plásticos) dio lugar a la “goma de mascar” que hoy se mastica en todo el mundo, pero que en México, erróneamente, seguimos llamando chicle.

### ¿Qué traes en la boca, niño?

La imperiosa necesidad de llevarse cosas a la boca se ha resuelto de muchas maneras.

Existen evidencias de que durante miles de años se mascaron y chuparon plantas, hojas, frutas, huesos, raíces, cortezas y no sé cuántos materiales más, con el fin de tranquilizarse, de liberar una fuerte tensión, de mantenerse distraído, de cambiarse el sabor de la boca, de limpiarse los dientes, de disfrutar el sabor o la sensación del objeto mascado, o cualquier otro



efecto que consciente o inconscientemente buscamos cuando nos metemos algo a la boca para mantenerlo ahí por un buen tiempo. Dentro de estos materiales se debería incluir al chupón, que en mi opinión podría considerarse como una introducción temprana al consumo del chicle, ya que en efecto, el recién nacido experimenta tranquilidad y placer al chuparlo

—no lo masca porque no puede—. Quizá el chicle pueda tener también un efecto de compañía, pues no dudo que haya quien se sienta acompañado por su chicle y hasta le platique. Recientemente Minoru Onozuka y su equipo, de la Universidad de Gifu, en Japón, encontraron que al masticar chicle aumenta la actividad cerebral, específicamente del hipocampo, región del cerebro relacionada con la memoria y el aprendizaje. Si bien aún no han descifrado el mecanismo, suponen que es probable que al masticar se reduzca el nivel de estrés. Para demostrarlo usaron ratas entrenadas para masticar chicle, a algunas de las cuales les quitaron las molares (pero no los dientes) para que pudieran comer pero no masticar. Al envejecer, las ratas tardaban un poco más en encontrar la salida del laberinto, pero las que no masticaban chicle, de plano olvidaban el camino. Una vez sacrificadas, se observó que las células del hipocampo de las ratas que no masticaron chicle mostraban un mayor deterioro que las de las ratas chicleras. Así que por si acaso, no olvides llevar chicle a los exámenes (y a los laberintos).

### ¿Desde cuándo mascamos cosas?

Una de las primeras evidencias del mascado de algún material con fines no alimentarios se publicó en la revista *Nature* hace unos años. El descubrimiento se hizo en un pantano en la ciudad de Bokeburg, Suecia. Se trataba de un trozo de goma obtenida de la corteza del abedul, que tenía marcas de dientes. Eran dientes pequeños que, tras cuidadosas mediciones, los investigadores llegaron a

identificar como de adolescentes, que masticaron el trozo de goma hace 6 500 años. No se puede afirmar que la usaran para masticar por placer (los descubridores de la reliquia no han dejado que nadie la pruebe) y cabe cualquier especulación, como el que la usaran para sacarse los dientes de leche (todavía no existían ni hilos ni puertas, para emplear el método de mis antepasados recientes). Milenios más adelante, en la Biblia, no se menciona el hábito de mascar, pero sí se menciona con frecuencia al árbol *Boswellia serrata*, que pertenece a la familia de las *Burceraceae* y es originario de Somalia, Arabia Saudita y la India, fuente de una resina (frankincense) que por siglos se ha usado como incienso y con fines terapéuticos, pero también como goma para mascar. El incienso era parte del regalo de los Reyes Magos al recién nacido Jesús, aunque sólo mediante un milagro hubiera podido mascararlo. Esta misma goma se usó en el antiguo Egipto en ritos religiosos, y los nómadas del desierto la utilizaban para calmar la sed, estimulando las glándulas salivales. Otra forma primitiva de la actual goma de mascar es el mastique, que no tiene nada que ver con el “mastique” que en mi infancia se usaba para sellar las Ventanas; se trata de un arbusto (*Pistacia lentiscus*) de cuyos tallos se extrae una resina que hasta la fecha se sigue masticando, sobre todo en Grecia, y que también masticaban los indígenas en Santo Domingo mientras Veían desembarcar a Colón.

La lista de antecesores del chicle es muy amplia y podríamos incluir múltiples ejemplos, antiguos o actuales, como la goma hecha con resina de abeto en Norteamérica y que dio lugar a la producción industrial de la primera goma de mascar a principios del siglo XIX. Esta goma fue sustituida a mediados de ese mismo siglo por la parafina endulzada, cuando los árboles encontraron mejor destino en las fábricas de papel; la parafina, derivada del petróleo, es el antecesor directo del chicle en los EUA. Otro ejemplo es el mascado de



tabaco, muy extendido entre los beisbolistas de ese país, quienes lo tienen integrado al místico rito de escupir antes de lanzar una pelota. La lista de lo masticable o lo masticado sería interminable y sólo nos referiremos a un antecedente más de lo que masticamos hoy: el Verdadero chicle, que como ya se mencionó, se obtiene del látex que se extrae del árbol del chicozapote.

## Los secretos del chicle

Todos los expertos consultados coinciden en que la calidad de la goma de mascar —la suavidad de la textura, lo uniforme de la mordida, e incluso la duración del sabor— radica en la goma base, a pesar de que ésta constituye sólo un 20% de la masa del producto terminado (el azúcar es el ingrediente principal con un 60% de su peso). Otro azúcar, la glucosa, se agrega al 18% con el fin de facilitar el mezclado de los ingredientes y mantener la humedad del producto (seco se pone duro). El resto de los componentes son ablandadores, colorantes, humectantes, texturizantes y saborizantes. Hoy en día prácticamente toda la goma de mascar que consumimos es goma sintética, que por sí misma no sabe a nada, elaborada por ciertas compañías para las fábricas productoras, las cuales se encargan de darle forma, color y sabor. La composición de la goma base es el principal secreto de los productores, y a pesar de que se sabe que está constituida por acetato de polivinilo y otras gomas, se ignora cuáles y en qué proporción. La goma base es lo que distingue a cada producto. Tal es el caso del invento preferido de los niños (y uno que otro adulto inmaduro), consistente en una fórmula más elástica y menos pegajosa que dio lugar a lo que hoy llamamos chicle bomba, que ni es chicle ni es bomba: es goma de mascar que hace burbujas; “goma hinchable”, la llaman los expertos.

Algunas compañías usan resinas como agente ablandador, entre ellas la que se obtiene de la madera de troncos de pino cortados, en el sur de los EUA. El criterio más importante hoy en día para seleccionar un chicle ya no es la textura de la goma, sino el sabor. Los sabores más socorridos son extractos de plantas, menta en particular, aunque existe una amplia Variedad. Lo que es un hecho es que el chicle sin azúcar y con edulcorantes de bajo contenido calórico como el aspartame es hoy el más solicitado, ocupando entre 40 y 60% del mercado, dependiendo del país. Es un avance para la salud el que ya no se consuma tanta azúcar, al menos con la goma de mascar. Además, el chicle se ha Vuelto también un método para refrescar el aliento. Esto es gracias al descubrimiento de que dos sustancias, el sorbitol y el xilitol, necesitan calor para disolverse en la saliva. Al absorber calor de la boca provocan la sensación de frescura tan cacareada por la publicidad. Hay también chicles con nicotina para quien quiere dejar de fumar, de cafeína para los que buscan el estímulo de esa sustancia, inhibidores del apetito para los que quieren bajar de peso, afrodisiacos para los que eso buscan y remedios “buenos para todo mal”, como se supone que es el *ginseng*. Estos nuevos productos se conocen como “chicles funcionales”

## Chicle sustentable, 100% natural

De acuerdo con los investigadores José Sarukhán y Jorge Larson, estudiosos de la biodiversidad, el chicozapote, árbol del chicle, es fundamental para la conservación de los bosques y de la fauna tropical maya por la densidad de su distribución y por sus frutos, que alimentan a aves y mamíferos. En un documento que puede consultarse en las páginas de la red del Instituto Nacional de Ecología (<http://www.ine.gob.mx>) estos

investigadores señalan que la extracción selectiva no afecta notablemente la diversidad de la selva y que en la conservación de este recurso genético deben estar involucrados tanto los consumidores que aprecian los productos naturales, como países hasta donde se han distribuido los beneficios de esta planta mexicana; como la India, donde la superficie plantada es tres veces la que hay en México.

El reto de conservar la diversidad biológica y, al mismo tiempo, permitir el desarrollo de las comunidades mediante el uso sustentable de la selva es complejo; entre otras cosas porque las formas de tenencia de la tierra, la organización social y los esquemas de manejo difieren entre los tres países involucrados en la explotación del chicle (México, Guatemala y Belice). Sin embargo, y paradójicamente, el precio de la materia prima es uno de los principales cuellos de botella: el mercado está dominado por los compradores del chicle, lo que les permite negociar y bajar su precio, que es más del doble que el de la goma sintética.

Por otro lado, un proyecto así depende de que los adictos al chicle estemos dispuestos a pagar el chicle natural más caro, reconociéndole su Valor ambiental, social y, sobre todo, cultural. A través de un proyecto denominado Plan Piloto Forestal, del Instituto Nacional de Ecología, en Quintana Roo se inició desde 1983 un proceso de apropiación de la actividad forestal por parte de los dueños originarios de los montes, en su inmensa mayoría ejidatarios.

El objetivo principal es detener el desmonte y estabilizar la explotación de los bosques mediante un uso racional que al mismo tiempo resulte en un ingreso económico, seguro y atractivo para la población local. Más adelante, en 1992, se propuso como alternativa el Plan Piloto Chiclero (PPCh), con una filosofía similar a la del Plan Piloto Forestal: rescatar las cooperativas como unidad de producción, promover su organización administrativa y

lograr que cada cooperativa contratara la Venta del chicle por su cuenta. El planteamiento contó con el aval personal del secretario de la Secretaría de Desarrollo Social Federal (SEDESOL). En esta dirección se han logrado considerables avances, aunque al mismo tiempo se han suscitado nuevos problemas y retos a resolver.

En temporada de lluvias, unos 5 000 productores en Quintana Roo y Campeche, asociados en cooperativas, aprovechan los más de 80 millones de árboles en la gran selva del Petén; pican los árboles con machete, haciendo incisiones en V y dejan escurrir el látex hasta la base del árbol; en esa zona se recolectan 3 000 toneladas al año. Un árbol picado no puede volver a dar látex hasta que haya cicatrizado, lo que requiere hasta ocho años. La resina se cuece y se enfría al aire agitándola continuamente para evitar que se pegue. Luego se vacía en moldes o marquetas para distribuirla.

Los machetes y la necesidad de trepar árboles que miden 30 metros o más son fuente de accidentes frecuentes entre los chicleros. Están además propensos a la leishmaniasis, que en México se conoce como la "úlceras del chiclero" y afecta principalmente a leñadores y recolectores.



La provoca un protozoo flagelado que se transmite por picaduras de mosquito y causa laceraciones en la piel. Finalmente, se requiere de industriales modernos, con Visión ecológica y social que lleven tecnología a estas regiones para evitar el abuso de los intermediarios. Es imperativo evitar el riesgo de caer en la política que rige al mundo neoliberal: el que saque más chicle en el menor tiempo posible. Vende más y le va mejor, aunque al bosque se lo lleve la trampa. La solución: la toma de conciencia y la organización social. Una manera de empezar en esta dirección es devolverle al producto su Verdadero nombre, chicle, y tomar conciencia de que al mastcarlo, aun a pesar de haberlo pagado más caro, se está contribuyendo a la conservación de la selva maya.



Chicozapote (*Manikara zapota*).

El chicle debe tener un lugar aparte de la "goma de mascar". Pero, ¿qué sucedería si todo el mundo quisiera masticar chicle 100% natural? Se trata aquí de un claro ejemplo de que la tecnología no necesariamente está peleada con el medio ambiente: la goma

sintética permite que cientos de millones de consumidores puedan mascar a precios accesibles hasta al bolsillo de los niños. Habrá que hacerse a la idea de que el cuidado del medio ambiente conlleva la decisión de mascar chicle sólo en ocasiones especiales, como cuando dejamos el Vino espumoso para beber champagne.

## Plaga contaminante

Hace unas décadas, cuando aún no existía la Comisión de los Derechos Humanos, la maestra de primaria que nos pescaba mascando chicle en clase nos lo pegaba en el pelo. Los más diestros al ser sorprendidos alcanzábamos a tragarlo. "Se te van a pegar las tripas", me decía mi madre. Pero desafortunadamente el fin más común del chicle era bajo el pupitre, donde, dada su naturaleza no biodegradable, aún debe permanecer. Mi hipótesis es que el dañino hábito de tirar el chicle donde sea se adquiere en la primaria y con los años se extiende de "pegarlo en el pupitre" a "pegarlo en cualquier superficie oculta", en particular bajo mesas y sillas. Eso si se pasó por la primaria, pues de otra manera simplemente se escupe: ¿quién no ha pisado un chicle sobre el pavimento caliente? En Granada, España, hace un par de años, una brigada de jóvenes se decidió a limpiar el centro de la ciudad: encontraron entre cinco y 15 chicles por metro cuadrado. En el Reino Unido se estima que el costo anual para eliminar los chicles de calles, plazas y monumentos es de 150 millones de libras esterlinas: de hecho en este país se realizan intensas campañas contra quienes arrojan el chicle en cualquier parte. Además de aplicar multas elevadas, se ha sugerido crear un impuesto que cubra los costos de recolección. El Departamento para el Ambiente, Asuntos Rurales y Alimentarios del Reino Unido (DEFRA, por sus siglas en inglés) emitió un documento relativo a políticas sobre disposición de chicles que puede consultarse en





[www.parliament.uk/post/pn201.pdf](http://www.parliament.uk/post/pn201.pdf). También se han creado grupos de acción que incluyen a productores, académicos y ambientalistas en búsqueda de soluciones.

En México da la impresión de que éste no es un problema, debido quizá a que los chicles se diluyen entre tantas otras cosas que los mexicanos depositamos donde se nos da la gana. ¿Qué hacer con esta plaga contaminante no biodegradable, si por todo el mundo se mastica chicle? Los estadounidenses, por ejemplo, deben disponer de un promedio de 300 gomas de mascar per cápita al año y cuentan con más de mil marcas, con las que se obtienen 2 000 millones de dólares en Ventas. Claro, la primera opción es tomar conciencia, o bien, prohibir su consumo, como sucedió en Singapur, donde aunque no lo crean, estuvo prohibido Vender chicles desde 1992 hasta 2002. Otra opción es la sugerida en Londres: poner carteles de celebridades y solicitar a los transeúntes que en vez de tirar el chicle en el suelo, lo peguen sobre su estrella favorita.

En México podrían hacerse encuestas de popularidad de esta manera. Por cierto, ¿a qué autoridad de la Delegación Coyoacán en el D.F. se le habrá ocurrido que los árboles del zócalo se ven mejor con cientos de chicles de colores pegados en el tronco? Un camino prometedor es el de la Universidad de Manchester y la Compañía Green Biologics, las cuales intentan desarrollar una enzima (es decir, un catalizador de naturaleza proteica) que al aplicarse sobre el chicle, lo degrade. Finalmente la mejor opción es la que se describe en la patente otorgada en 1996 a Scott Hartman, de la compañía Wrigley, quién diseñó una goma biodegradable, fácil de desprender de cualquier superficie, y que incluso se puede tragar, ya que es digerible. Este invento puede modificarse para que la goma se disuelva en la boca después de un rato de mascarla. Estas maravillas se logran con base en una proteína elástica, con un alto contenido de Valina-prolina y de glicina-Valina-glicina en su estructura: tres de los 20

aminoácidos a partir de los cuales se forman las proteínas, las sustancias más importantes en la estructura y el funcionamiento de nuestras células. Estos aminoácidos abundan en las proteínas de estructura, como el colágeno (la piel) —glicina y prolina— o la seda —alanina y glicina—. Así que, en el futuro, quizá acabemos masticando proteínas. Ya ni chicles.

---

Agustín López Munguía, galardonado en 2003 con el Premio Nacional de Ciencias, es investigador en el Instituto de Biotecnología de la UNAM, autor de Varios libros y numerosos artículos de divulgación de la ciencia, y miembro del consejo editorial de *¿Cómo ves?*

## LECTURA 9.

**Ondas gélidas** | Jorge Luis García Franco |

*La Bestia del Este y el Vórtice Polar fueron dos ondas de frío extremo que ocurrieron en 2018 y 2019 en Europa y Norteamérica, respectivamente. A pesar de llevar nombres diferentes, estos eventos tuvieron por causa un mismo fenómeno estratosférico.*

**El invierno pasado** 250 millones de personas padecieron fríos que por algunos días fueron peores que los que hacía en el polo norte. En Chicago y Boston la temperatura se desplomó a menos de 35 °C bajo cero. Los ríos se congelaron. Los edificios y los puentes se cubrieron de hielo. En Minnesota la temperatura alcanzó un récord de -49 °C, lo que no había ocurrido en más de un siglo. El frío cobró la Vida de más de 40 personas.

El impacto del fenómeno fue tal, que en los medios de comunicación lo consideraron como algo extraordinario —que seguramente se debía al cambio climático— y empezaron a llamar al episodio “Vórtice Polar”, como si este término fuera sinónimo de onda fría. En realidad ya lo habían hecho en ocasión de otra onda fría en 2014, también relacionada por los meteorólogos con un Vórtice polar.

Pero para los científicos de la atmósfera el Vórtice polar no es un evento climático extremo. Ni siquiera es nada raro. El Vórtice polar es una corriente de aire que se forma todos los años

alrededor de los polos (o cerca de las regiones polares) y que se debilita con cierta frecuencia —aproximadamente en dos de cada cinco inviernos—. Estamos empezando a entender que las ondas frías como la de 2019 son consecuencia del debilitamiento del Vórtice polar.

### Trampa de aire polar

El primer registro del Vórtice polar —o por lo menos del término— data de 1853 y se encuentra en una revista semanal que editaba el escritor inglés Charles Dickens. En un artículo titulado “Mapas del Viento”, un comerciante de nombre John Capper, radicado en Ceylán (hoy Sri Lanka), explicaba una nueva ciencia que permitía identificar las grandes corrientes de aire del planeta.

Una de estas corrientes, escribió Capper, “gira alrededor del polo en un continuo vendaval circular que llega al gran Vórtice polar”. Capper



se refería al polo sur, pero hoy sabemos que se forman Vórtices alrededor de ambos polos.

El Vórtice polar, como lo entendemos hoy, es una masa de aire gélido que se forma en la estratosfera, la capa de la atmósfera que se encuentra entre 12 y 40 kilómetros de altura. Este Vórtice aparece todos los inviernos por las bajas temperaturas de la estratosfera polar. Empieza a formarse a finales del otoño, cuando mengua la luz del Sol, y se fortalece conforme avanza el invierno. Durante la noche polar no hay luz en los polos por Varias semanas y las temperaturas se desploman. Debido al gran contraste entre las temperaturas polares y las de latitudes medias (en el hemisferio norte, las latitudes de Europa y Estados Unidos, por ejemplo), se forma una barrera de Viento. Esta barrera fluye rápidamente alrededor de los polos, formando un cerco para el aire polar e impidiendo que este se mezcle con el aire de las latitudes medias, más caliente. Una vez que se cierra la circulación y el aire polar queda atrapado, las temperaturas en la estratosfera polar bajan aún más, incrementando la Velocidad del flujo circular en una cadena de acontecimientos que se refuerzan unos a otros. Así se forma un Vórtice de Viento que gira de oeste a este y encierra y mantiene intacta la masa de aire polar. El Vórtice polar desaparece a principios de la primavera, cuando el Sol Vuelva calentar el polo y la diferencia de temperatura con el aire de las latitudes medias disminuye, debilitando la barrera de Viento hasta que se rompe y todo el aire se mezcla.

### Calentamientos estratosféricos repentinos

En la década de los 50 el juguete de moda de los científicos de la atmósfera eran los globos meteorológicos, que hoy en día se lanzan en todo el mundo para medir el estado de la atmósfera. En 1952 Richard Scherhag, de la Universidad Libre de Berlín, detectó por medio

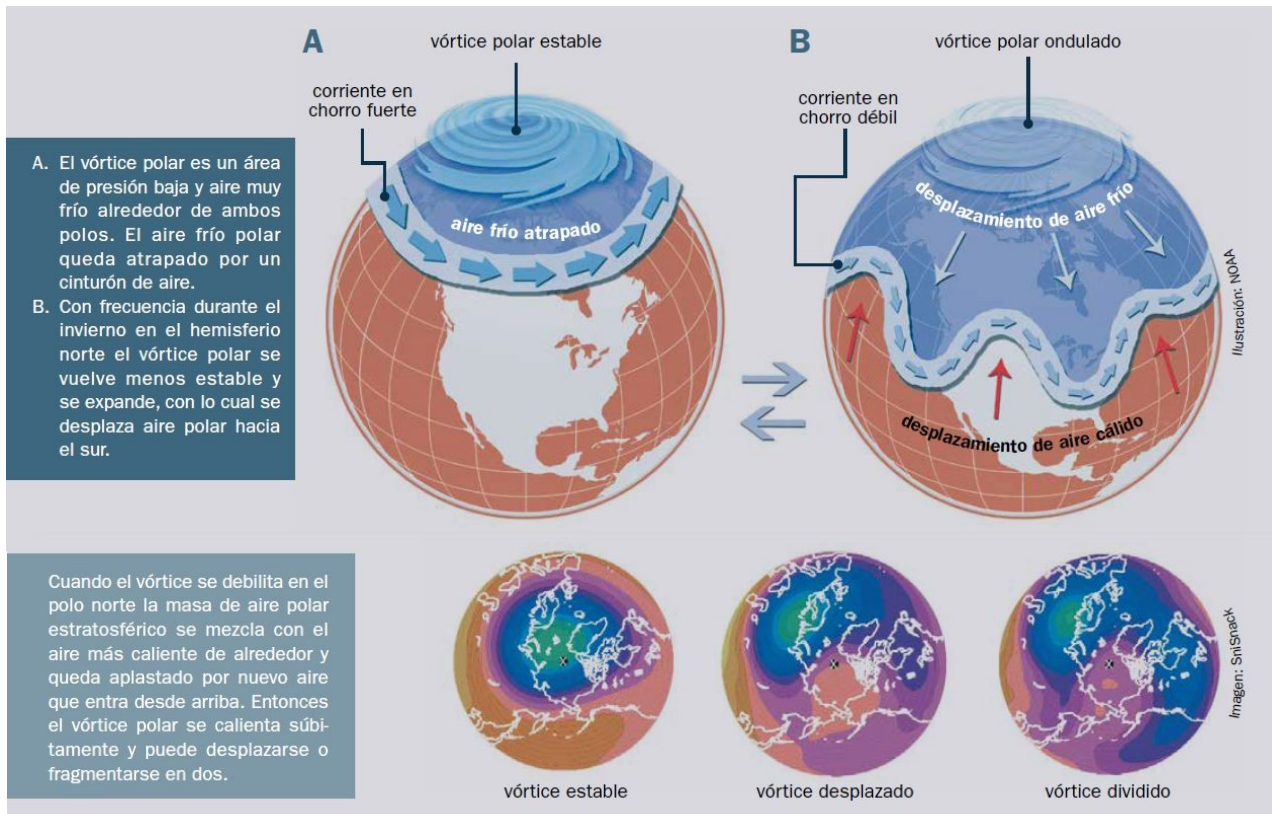
de estos aparatos un calentamiento anómalo de la estratosfera sobre Berlín. Unos años después Scherhag tenía documentados Varios casos de calentamiento repentino de hasta 40°C, que luego se habían desplazado hacia el oeste. En un artículo publicado en 1960 el investigador menciona que otros científicos encontraron un fenómeno simultáneo: un debilitamiento de la corriente polar. Con el tiempo hemos podido confirmar que ciertos años, aunque no todos, la corriente del Vórtice polar se debilita súbitamente en el polo norte. En el polo sur no sucede porque el Vórtice polar ahí es mucho más fuerte. Cuando el Vórtice se debilita en el polo norte, la masa de aire polar estratosférico sufre dos efectos: el primero, como mencioné, es que se mezcla con el aire circundante que está más caliente, y el segundo es que el aire frío que Viene de arriba la comprime hacia abajo. El efecto combinado es que el Vórtice polar se calienta muy rápidamente. A este fenómeno se le conoce como calentamiento estratosférico repentino. Cuando ocurre, el Vórtice se puede partir en dos corrientes "hijas", o se puede desplazar de su posición típica.

### Chorro veloz

La corriente en chorro es otro flujo de aire muy rápido que rodea todo el planeta, pero que se encuentra unos kilómetros por debajo de la estratosfera, a una altura promedio de entre ocho y 10 kilómetros. Normalmente se observa como un flujo ondulado que rodea los polos entre las latitudes 40 y 60 °N. Este flujo de aire gira de oeste a este como el Vórtice polar, y es tan rápido que algunos aviones comerciales lo aprovechan para llegar más rápido a su destino. En invierno la corriente en chorro gana fuerza ayudándose del Vórtice polar estratosférico, que gira en el mismo sentido, sólo que a diferentes alturas en la atmósfera. Cuando el Vórtice polar se calienta y se debilita, ya no Va tan rápido e incluso puede empezar a fluir en sentido inverso, de este a

oeste, lo cual a su vez debilita la corriente en chorro. El efecto se propaga hasta la superficie de la Tierra y afecta el tiempo meteorológico. Cuando ocurre un calentamiento estratosférico repentino, el aire que se encuentra justo encima de los polos recibe presión desde arriba, obligándolo a desplazarse lateralmente; es decir, hacia latitudes más bajas.

calentamiento repentino es precursor de una onda fría. En 2013 Amy Butler, de la NOAA, y sus colaboradores documentaron que estos calentamientos ocurren en promedio dos de cada cinco inviernos, si bien hay mucha variación: a veces pasan muchos años sin que se presenten.



En 2001 Mark Baldwin y Timothy Dunkerton documentaron los efectos típicos de un calentamiento estratosférico repentino usando 42 años de datos proporcionados por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos (NOAA). Baldwin y Dunkerton encontraron que estos fenómenos pueden modificar drásticamente el curso de las tormentas invernales y que están relacionados con los periodos más fríos del invierno boreal. De hecho, están tan relacionados, que hasta se pueden usar para hacer pronósticos: un

## La Bestia del Este

Uno de los ejemplos más drásticos y recientes del impacto de un calentamiento estratosférico repentino ocurrió a mediados de febrero de 2018 (el anterior sucedió en 2013). Este fenómeno hizo que el Vórtice polar se dividiera en dos. Apenas 10 días después, la anomalía estratosférica se propagó a las capas inferiores, afectando la corriente en chorro. Esta se fragmentó sobre Estados Unidos y Europa y el aire polar se derramó hacia el sur. Con



temperaturas inferiores a  $-10^{\circ}\text{C}$ , el aire polar invadió las latitudes medias sobre Siberia y rápidamente se pronosticó que se desplazaría hacia el oeste, cruzando toda Europa. A partir de ese momento, los periódicos advirtieron que se venía una de las ondas frías más intensas de la historia reciente del continente. La llamaron la Bestia del Este. Nevadas, aire gélido y hielo cubrieron la superficie de Europa durante dos semanas, todo por un calentamiento estratosférico repentino que había ocurrido días antes, a 25 kilómetros de altura. Fue tal el impacto que las siguientes nevadas, típicas de un invierno europeo y ajenas al Vórtice polar, fueron llamadas la Bestia del Este 2.

A principios de 2019, tan sólo 10 meses después de que se derritiera la nieve de la Bestia del Este, los pronósticos meteorológicos anunciaban otro calentamiento estratosférico repentino. El Vórtice polar se dividió en dos alrededor del 28 de diciembre de 2018. Una parte se dirigió a Siberia y la otra a Norteamérica. Los efectos de este movimiento del Vórtice polar se propagaron a la superficie en un lapso de dos semanas. El aire polar superficial migró hacia el sur a través de Canadá y Rusia. Para mediados de enero de 2019 los efectos eran notorios. Las temperaturas en Canadá y Estados Unidos empezaron a precipitarse, llegando a menos de  $25^{\circ}\text{C}$  bajo cero para el 20 de enero; y todavía faltaba lo peor. En los días siguientes las temperaturas bajarían entre cinco y 15 grados más, dependiendo de la región. Mientras Norteamérica y Rusia se helaban, el polo norte se calentaba con aire que entraba desde el Atlántico. Así, durante unos cuantos días históricos, el polo norte estuvo más caliente que la mayor parte de Norteamérica. Eran las temperaturas más bajas que había visto toda una generación, la de las personas de menos de 40 años. Por días enteros, la mayor parte de Canadá y el noreste de Estados Unidos estuvieron cubiertos de nieve y hielo, como si fuera una escena de *El día después de mañana*.

## Calor pero frío

Llamamos cambio climático al cambio en los promedios de Variables como la temperatura de una región en un periodo de 30 años o más. Calentamiento global no quiere decir que ya no vaya a haber ondas frías salvajes como la Bestia del Este y el Vórtice Polar, ni siquiera que la frecuencia de las nevadas vaya a disminuir, sino solamente que está aumentando la temperatura media. El calentamiento global puede ser enfriamiento local en algunas regiones. No se puede alegar que no hay cambio climático señalando que un invierno fue especialmente frío o una nevada particularmente intensa, como quiso hacer en 2015 un senador estadounidense que se presentó en el senado con una bola de nieve como argumento irrefutable contra el calentamiento global.

Tenemos más de 60 años de observaciones que nos muestran que estos eventos son relativamente típicos de los inviernos boreales y no casos únicos ni especiales. El cambio climático no causa estos eventos, así como el cambio climático no causa que llueva o que truene. Del mismo modo, las nevadas fuertes asociadas a un calentamiento estratosférico repentino no pueden ser prueba de que no existe el cambio climático. Lo que sí es válido preguntarse es: ¿se han vuelto más intensas las nevadas por el cambio climático?, ¿es posible la paradoja aparente de que el cambio climático implique inviernos más fríos aunque la temperatura promedio aumente?

La relación entre el cambio climático y estos eventos de frío extremo es muy difícil de dilucidar. Por un lado, sabemos que el Ártico se está calentando cinco veces más rápido que el resto del planeta, lo que está provocando cambios importantes en la circulación atmosférica; por ejemplo, en la corriente en chorro. En un artículo reciente, Marlene



Kretschmer, del Instituto Potsdam para la Investigación Climática (PIK por sus siglas en alemán), y colaboradores de los Países Bajos y Estados Unidos sugieren que los calentamientos estratosféricos repentinos se están haciendo más intensos, provocando eventos aún más fríos y permitiendo que el aire frío penetre más al sur de lo normal, como en 2019.

Otro estudio, publicado en 2019 en la revista *Nature Climate Change* por un equipo de científicos del Reino Unido y los Países Bajos, por fin ha puesto toda la física sobre la mesa. El equipo usa modelos computacionales y análisis estadísticos para demostrar que el calentamiento del Ártico y los fríos extremos en invierno se deben a cambios en la circulación atmosférica (como el Vórtice polar).

El estudio también disipa una idea muy discutida entre científicos de la atmósfera según la cual las ondas frías extremas en latitudes medias se debían a la contracción de la capa de hielo ártico. Russell Blackport y sus colaboradores encuentran que la relación es mínima: la falta de hielo tiene muy poca influencia en estos eventos de frío extremo en Europa y Estados Unidos. Quizá ese artículo sea la piedra angular de una teoría que relacione eventos como los de 2018 y 2019 con el cambio climático. Ya Veremos. Los medios de comunicación no se caracterizan por su dominio de las ciencias, pero para eso estamos los expertos. Hasta cierto punto es comprensible que hayan llamado Vórtice Polar a las ondas frías de 2014 y 2019, confundiendo la causa con el efecto. Espero que este artículo ayude a los lectores de *¿Cómo ves?* a no cometer el mismo error.

---

Jorge Luis García Franco es maestro en investigación en ciencias atmosféricas y estudiante de doctorado del grupo de Procesos Climáticos y Estratosfera en el Departamento de Física Atmosférica, Planetaria y Oceánica de la Universidad de Oxford, Inglaterra.

## MÁS INFORMACIÓN

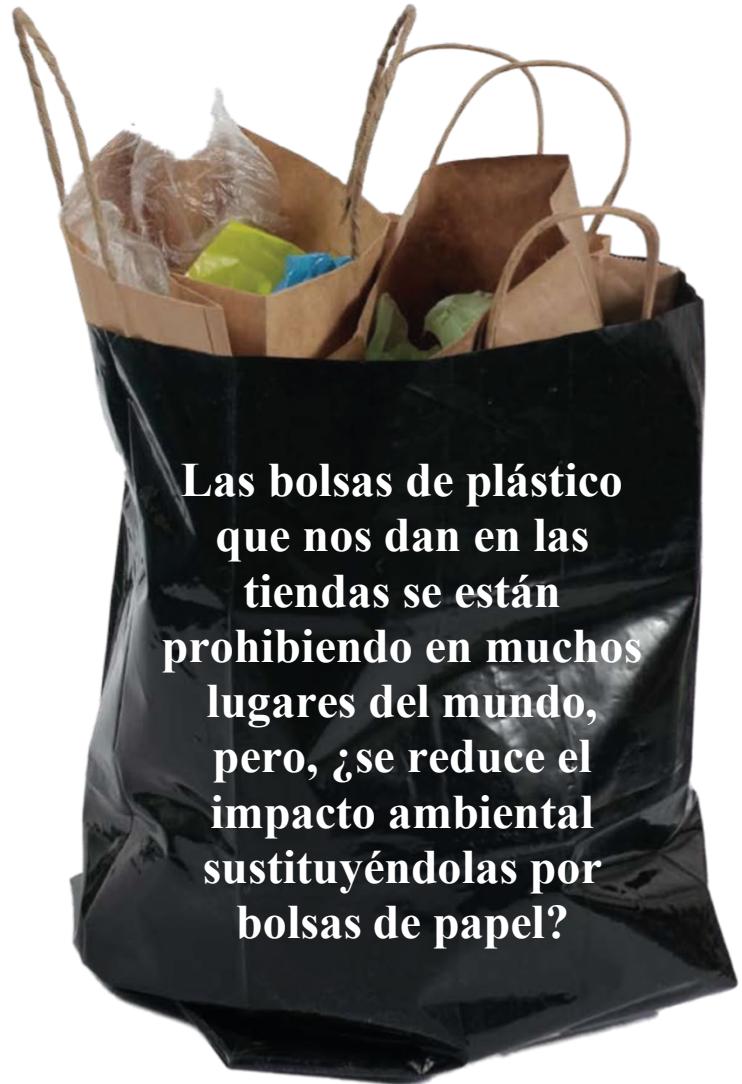
- “¿Qué es el Vórtice Polar?” Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos (NOAA): [www.weather.gov/safety/winter-spanish-polar](http://www.weather.gov/safety/winter-spanish-polar)
- “Vórtice polar: peligros y efectos”, *Observatorio cotidiano*.  
TV Unam: [www.youtube.com/watch?V=4oGywNU-aQ4](http://www.youtube.com/watch?V=4oGywNU-aQ4)

## LECTURA 10.

**¿Papel o plástico? | Benjamín Ruiz Loyola |**

**En marzo** de 2009 la Asamblea Legislativa del Distrito Federal aprobó modificaciones a la Ley de Residuos Sólidos para prohibir que se sigan regalando bolsas de plástico a los consumidores en los establecimientos comerciales. Las modificaciones a esta ley entraron en Vigor el 19 de agosto de ese año. Se previó un plazo de un año de adaptación para los comercios y a partir de agosto de 2010 se empezarán a aplicar sanciones a los infractores. Se supone que se trata de una medida encaminada a evitar la contaminación por plásticos, pero Vale la pena analizarla un poco más, porque plantea Varias cuestiones que no han sido resueltas adecuadamente.

Las bolsas de plástico se están prohibiendo en muchos lugares del mundo, como el estado de California, en Estados Unidos; la ciudad de Toronto, en Canadá; el Reino Unido, China, Sudáfrica y algunas ciudades de Australia y la India. A diferencia de México, en estos lugares el éxito de la prohibición se mide en función del petróleo que se ahorra, no de la contaminación que se evita. La ONU está buscando una prohibición global, pero no Va a ser fácil. En México esta medida sólo se ha tomado en el Distrito Federal.



**Las bolsas de plástico que nos dan en las tiendas se están prohibiendo en muchos lugares del mundo, pero, ¿se reduce el impacto ambiental sustituyéndolas por bolsas de papel?**

**Los efectos ambientales**

“¿Papel o plástico?”, nos preguntan en las panaderías al ofrecernos bolsas para guardar nuestro pan. Hay que elegir, pero para eso habría que tomar en cuenta, por ejemplo, cuánto tardan en degradarse estos materiales. Resulta que el plástico tarda bastante más que el papel en

descomponerse, pero los efectos sobre el ambiente de producir uno y otro no son iguales. Por eso es necesario examinarlos.

El papel se hace con la celulosa del tronco de los árboles, un compuesto polimérico hecho de unidades de glucosa que forman fibras de distintos tamaños, las cuales se mantienen unidas por la lignina. Esta sustancia da firmeza y dureza a la estructura de las fibras. El papel se puede doblar porque las fibras son flexibles. Su resistencia mecánica a la tensión y a la deformación permite usar bolsas de papel para soportar cargas. Además, las fibras no se disuelven en el agua y, por ser químicamente estables, se pueden

mezclar con aditivos; por ejemplo, colorantes.

La celulosa también se puede obtener a partir de papel reciclado y desechos de tela de fibras naturales como el algodón, el cáñamo, el lino y la seda. Pero estas fuentes de celulosa no bastan para satisfacer la gran demanda de papel de nuestra sociedad. Así, para fabricarlo no queda más remedio que cortar árboles. Por si fuera poco, preparar y trasladar los troncos requiere maquinaria

especializada de gran tamaño que consume combustibles fósiles. Los troncos cortados para producir papel se dejan secar un mínimo de tres años. Después se les quita la corteza con maquinaria especial y se cortan en pedazos muy pequeños, que se introducen en agua y se someten a altas temperaturas. A estos trozos se les añaden diversos productos químicos para eliminar sustancias como la lignina o las resinas, que pueden afectar la calidad del papel. Luego se vuelven a lavar para

eliminar los residuos químicos y, si es necesario, se les somete a un proceso de blanqueo.

Así se produce la pulpa para papel, a la que se le puede añadir algo de pulpa reciclada.

Si en la fabricación se emplea material reciclado, la calidad del papel baja porque las fibras van perdiendo flexibilidad y resistencia cada vez que se reciclan. El papel se puede reciclar seis u ocho veces, según su calidad inicial. La pulpa es una suspensión de fibras de celulosa en agua que debe secarse antes de convertirse en papel. Para eso, primero se extiende la pulpa sobre una malla fina y se

exprime con rodillos. Luego se seca con aire caliente o calor directo y vuelve a ser presionada con otros rodillos, que forman rollos enormes de papel cuyo grosor dependerá del uso al que está destinado. También los aditivos empleados definen el tipo de papel que se obtiene.

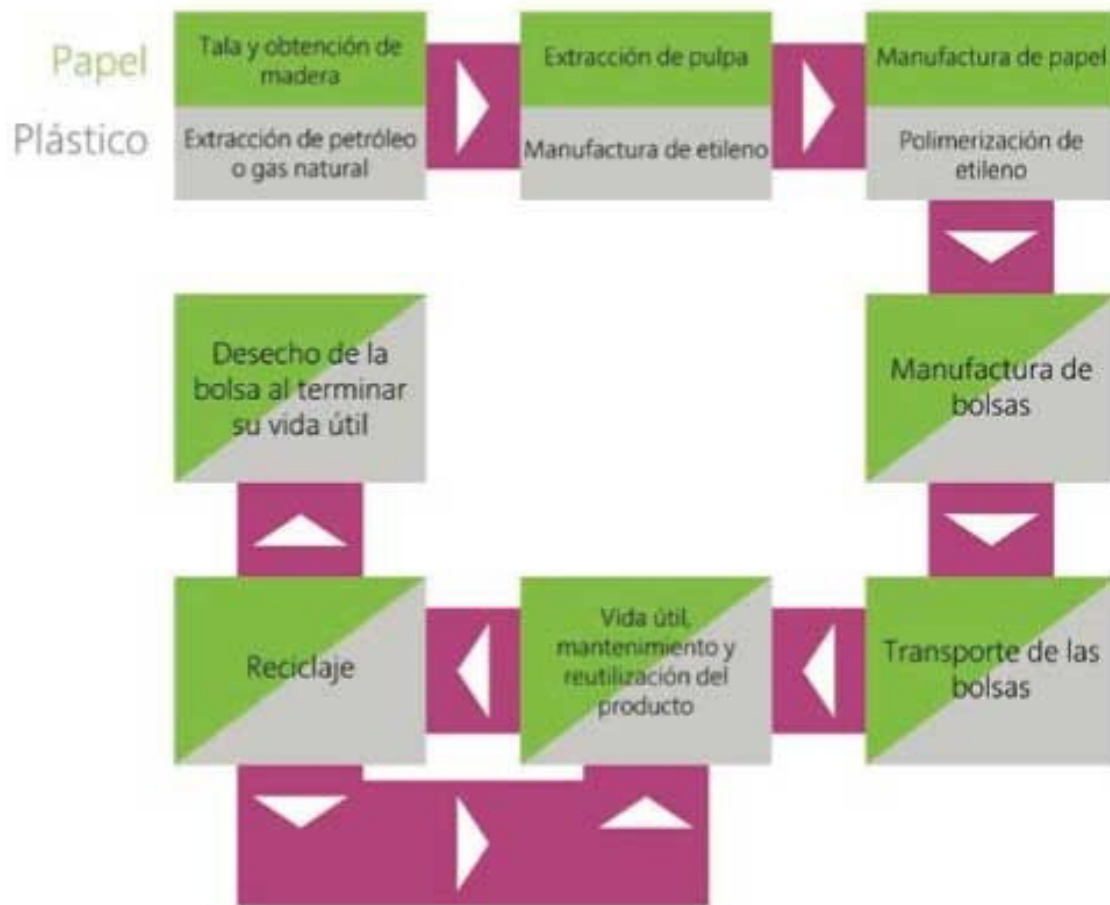
Fabricar papel causa deforestación, contaminación por combustibles fósiles y gasto de agua. Producir plástico es aproximadamente igual de contaminante para la

atmósfera, pero la contaminación de agua y suelo es mayor en la producción de papel. El plástico se elabora, principalmente, con productos derivados del petróleo. Para extraer petróleo hay que perforar pozos, lo que implica consumo de combustibles fósiles para la maquinaria y alteración de los ecosistemas donde esté ubicado el pozo. Además, hay que construir caminos para llevar y traer la maquinaria de perforación y el producto extraído, o bien construir un oleoducto para conducirlo. El petróleo se debe transportar a





## Ciclo de vida de las bolsas desechables



una planta de refinación o fraccionamiento, donde se destila para separarlo en sus componentes.

Los productos no se separan de manera individual, sino que están agrupados según su punto de ebullición, es decir, la temperatura a la cual pasan de líquido a Vapor. Los vapores obtenidos se vuelven a condensar y se separan así las distintas fracciones del petróleo. A partir de éstas se purifican los productos petroquímicos útiles para las distintas actividades industriales. Uno de éstos es el etileno, que se usa para obtener diversos productos como el etilenglicol, el cloruro de Vinilo y el plástico conocido como polietileno, con el que se fabrican la mayoría de las bolsas empleadas en mercados y tiendas. Otra sustancia

petroquímica que sirve para fabricar bolsas es el polipropileno.

Para fabricar las bolsas y otros artículos, el etileno que se transforma en polímero y se conserva en pequeñas lentejas, se calienta hasta que se derrite. Así se producen con él, mediante unos rodillos de prensa, una especie de cilindros con películas del grosor adecuado. El cilindro se corta a la longitud deseada y se sella el fondo. Se le puede cortar un agujero para que la bolsa tenga asas. Aunque el costo energético y el impacto ambiental de fabricar plástico son menores que en el caso del papel, también son significativos.

### La nueva ley

Las modificaciones a la Ley de Residuos Sólidos que prohíben a los comercios empacar las mercancías en bolsas de plástico para entregarlas a los consumidores se publicaron en la *Gaceta Oficial del Distrito Federal* el 18 de agosto de 2009 (cinco meses después de ser aprobadas por la Asamblea Legislativa). En el decreto correspondiente se establece que el Instituto de Ciencia y Tecnología del D.F. debe crear un programa de sustitución de plásticos en un término máximo de seis meses a partir de la entrada en Vigor del decreto, plazo que terminó el 19 de febrero de 2010 y el programa todavía no se ha dado a conocer.

### Destinos manifiestos

Una vez utilizado, el papel se puede reciclar o desechar como basura. Si se va a la basura, puede terminar en un relleno sanitario, donde se va degradando lentamente. Un buen relleno sanitario hace más lento el proceso de degradación por ser mezcla de muchos materiales distintos, los cuales se encuentran muy compactados. Se calcula que el 14% de los residuos de un relleno sanitario están compuestos de cartón y papel.

Para reciclar el papel hay que convertirlo nuevamente en pulpa, para lo cual se emplearán productos químicos que separan las tintas. Además hay que volverlo a blanquear. Esto requiere grandes cantidades de agua. La pulpa obtenida se usa para fabricar nuevos productos

de papel 100% reciclado, o para incorporarse a otros procesos de productos parcialmente reciclados. En la industria del papel sanitario (pañuelos y papel de baño) se reciclan grandes cantidades de papel.

El plástico tiene los mismos destinos que el papel: reciclaje o basura. Se calcula que en los rellenos sanitarios los materiales plásticos representan aproximadamente el 10% del peso y más del 20% del Volumen. Una vez en el relleno, el plástico tarda mucho más que el papel en degradarse. Si su destino es el reciclaje, se acumula, se limpia y se vuelve a fundir para elaborar nuevos productos plásticos. Los plásticos se pueden reciclar más veces que el papel y pueden estar solos o mezclados con otros plásticos (por ejemplo, polietileno con polipropileno) para formar nuevos productos de consumo final, como tubos y mangueras en lugar de nuevas bolsas (aunque sí es posible elaborar nuevamente bolsas).

Si bien se dice que los plásticos tardan entre 400 y 1 000 años en degradarse, no podemos afirmarlo porque los polímeros sintéticos se fabrican desde hace apenas un siglo, más o menos. Las bolsas llamadas degradables, biodegradables u oxodegradables tardan alrededor de un año en deshacerse, porque tienen fragmentos oxigenados entre cadenas cortas de polímero. Estas cadenas cortas se rompen más o menos rápidamente y dejan fragmentos de polímeros que no son apreciables a simple vista. En uno o dos años dejamos de verlos, pero las cadenas poliméricas resultantes tardan bastante más en degradarse completamente.

### El reciclaje

Mientras más papel se recicla, menor es el Volumen de los rellenos sanitarios, lo que ayuda al ambiente. Empero, la contaminación asociada a la manufactura de papel es muy importante, ya que se usa mucha agua que se contamina, dependiendo de los productos químicos que se hayan empleado en el proceso. Si estas aguas

contaminadas se vierten en mares, ríos y lagos, tienen efectos muy graves. Si consideramos,

### Comparación entre el papel y el plástico

- Fabricar plástico consume 40% menos energía que fabricar papel, por lo que es menos contaminante.
- El plástico genera 80% menos residuos sólidos que el papel, por lo que ocupa menos espacio en los rellenos sanitarios.
- Solamente el 5% del plástico se recicla, mientras que en el papel se alcanza el 21% de reciclaje.
- El papel tarda menos en degradarse que el plástico.
- Un paquete de 1,000 bolsas de plástico tamaño estándar pesa aproximadamente 6.81 kg y tiene un grosor de 8.9 cm. Un paquete de 1,000 bolsas de papel con las mismas medidas pesa 63.56 kg y tiene un grosor de 116.84 cm. Por lo tanto, transportar bolsas de plástico exige menos combustible y genera menos contaminación.
- El papel se puede reciclar, para lo que se requiere agua limpia, productos químicos para blanqueo y manejo de fibras, energía para calentar y volver a obtener pulpa y papel. El papel se puede reciclar en promedio ocho veces antes de que las fibras se vuelvan demasiado cortas.
- El plástico se puede reciclar empleando energía para fundirlo y volver a formar materia prima o productos terminados. El consumo de agua y de productos químicos en este proceso es mínimo. El plástico se puede reciclar más de 20 veces antes de volverse débil y quebradizo.

además, que el proceso implica un gasto muy alto de energía eléctrica, calorífica y mecánica, aunque el papel resultante se usara como combustible, la energía que se obtendría sería mucho menor que la que se invirtió en fabricarlo.

Que el impacto ambiental del plástico sea alto, y muchas veces astronómico en nuestro país, se debe a que reciclamos poco (aunque el índice de reciclaje en México no dista demasiado de las tendencias mundiales). Reciclar plástico consume mucha menos agua que reciclar papel.

También es menor el consumo de energía asociado a su manufactura y transformación.

Además, muchos plásticos pueden quemarse en calderas —por ejemplo, en plantas termoeléctricas— para generar energía eléctrica, con lo cual aumenta el beneficio que se obtiene de ellos. Puede ser que quemar plásticos sea altamente contaminante, pero solemos olvidar que son derivados del petróleo al igual que las gasolinas y otros combustibles fósiles, cuya extracción y refinación contamina también si no se toman medidas.

Desde luego, no todos los plásticos son combustibles, pero los que se usan para fabricar bolsas sí lo son (pero cuidado: el PVC — policloruro de Vinilo— nunca debe quemarse, porque produce sustancias sumamente tóxicas y dañinas). Además, las bolsas de plástico usadas nos pueden servir, al menos, para clasificar y separar la basura y así entregar al servicio de recolección paquetes de basura orgánica y basura inorgánica, cada uno en su propia bolsa.

Hay plásticos en los lugares más insólitos, desde el fondo de los mares hasta el estómago de peces que no pudieron digerirlos. Sin embargo, eso no es culpa del plástico, sino de quienes no depositamos la basura en su lugar. El papel llega a los mismos lugares, pero se deshace más rápidamente.

Los peces que lo ingieren y no lo digieren lo desechan con mayor facilidad. Hoy en día se desarrollan plásticos más amigables con el ambiente.

La investigación anda en pos de polímeros biodegradables, que se descompongan más rápidamente y que no generen nuevos contaminantes (Véase “Plásticos biodegradables”, *¿Cómo ves?*, No. 79).

### ¿Entonces?

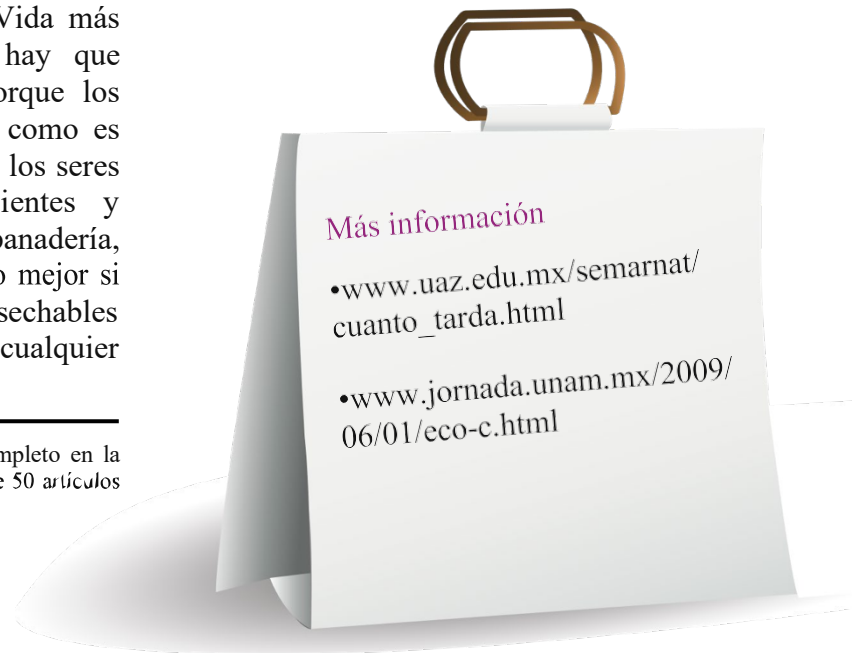
Los plásticos no sirven sólo para fabricar bolsas y artículos como peines, cepillos y botellas, sino también para fabricar prótesis, Válvulas cardíacas, lentes intraoculares y un sinfín de



objetos que no solamente hacen la Vida más fácil, sino larga y llevadera. No hay que satanizar al plástico simplemente porque los seres humanos no nos comportamos como es debido. Tratándose de contaminación, los seres humanos debemos ser más conscientes y responsables. El dilema de la panadería, "¿plástico o papel?", se resuelve mucho mejor si en vez de utilizar artículos desechables empleamos bolsas, canastas o cualquier contenedor reutilizable.

---

Benjamín Ruiz Loyola es profesor de tiempo completo en la Facultad de Química de la UNAM y autor de más de 50 artículos de divulgación.



## LECTURA 11.

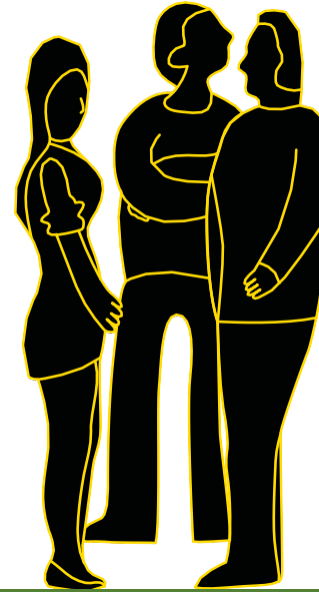
**Trastornos de ansiedad: la marca del miedo | Eduardo Thomas Téllez |**

*Sentirse atemorizado o aterrado es perfectamente normal en ciertas situaciones, como cuando nuestra vida está en riesgo. Pero si no hay una amenaza que lo justifique podríamos tener un trastorno emocional que es necesario atender.*

**Es lunes** por la mañana. Cuando Javier llega a la escuela ya alumbra el Sol y el bullicio habitual de sus compañeros le parece apagado y lejano. No busca a sus conocidos. Al pie de la escalera tiene un discreto mareo, como cuando sube un elevador. Siente los latidos del corazón y se apresura. El baño más cercano está en el siguiente nivel. Va lo más rápido que puede. El barullo del entorno lo envuelve, pegajoso y asfixiante. Empuja con fuerza la puerta del baño. No llega al excusado. En el primer lavabo, con sólo un arqueo, la saliva deja lugar a un ácido amarillento que pasa como brasas por su garganta. Una Vez enjuagada la boca siente alivio. Aún tembloroso, con falta de aire y opresión en el pecho, retoma la dirección de su salón; por su mente pasa fugaz el temor a morir o enloquecer. Se apresura nuevamente. Su examen de química empieza en 10 minutos.

### Inquietudes

Cualquiera diría que Javier es “nervioso” y es normal que un examen difícil le provoque aprensión, Vómito y hasta diarrea. O que sentir un gran temor a hablar en público, al grado de no poder articular palabra, es un problema



### Trastorno de ansiedad social o fobia social

La ansiedad se produce ante la interacción social y situaciones que implican la posibilidad de ser examinado. Quien la sufre siente que puede ser reprobado, rechazado, avergonzado o humillado por los demás.

menor aunque interfiera con el desarrollo escolar o laboral.

Quien vive con inquietud en casi todas sus actividades, evitando el contacto con otras personas y saliendo lo menos posible de su casa, también podría pensar que eso es normal y justificar su aislamiento con la idea de que la gente es hostil, aburrida o tonta. Si es estudiante, se encerrará en los libros o navegará por horas en internet con tal de no ver a nadie. Pero esa inquietud llega a ser una importante limitación en el desarrollo de capacidades personales; quien la sufre puede perder oportunidades de estudio —hay personas que por ese motivo han dejado opciones de posgrado en el extranjero—

## Trastorno de ansiedad por separación

Se caracteriza por temor o ansiedad ante la separación de aquellas personas por las que se siente apego en un grado inapropiado que limita el desarrollo. Hay un persistente miedo o ansiedad por los posibles daños que ellas pudieran sufrir, como una enfermedad, calamidades o muerte, o por las situaciones que las alejen en forma temporal o definitiva. Este trastorno es propio de la infancia, pero se puede manifestar también en la adolescencia y en la edad adulta.

## Agorafobia

Las personas con este tipo de ansiedad se sienten temerosas ante dos o más de las siguientes situaciones: uso del transporte público, estar en espacios tanto abiertos como cerrados, en una multitud, formados en fila, o estar solos fuera de casa. Temen estas situaciones debido a suponer que podrían desarrollar síntomas similares a la crisis de pánico u otros síntomas incapacitantes o humillantes en circunstancias en las que escapar sería difícil, o donde no podrían disponer de ayuda. Dichas situaciones pueden ser toleradas si disponen de compañía confiable.

, de trabajo, de tener amistades y hasta de establecer relaciones amorosas.

Ver llorar y sufrir a un niño pequeño al separarse de sus padres es bastante común, sobre todo en los primeros días de escuela. Observar esa reacción con intensidad claramente excesiva en un niño mayor, y sobre todo en un adulto, es muy impresionante. Recuerdo haber visto a un hombre de unos 40 años que berreaba sostenido por otras personas que trataban de impedir que cruzara hacia la zona de revisión en un aeropuerto. Del otro lado, su madre se despedía

de él con una beatífica sonrisa. Nadie pensaría que eso es normal. Y tampoco lo que le sucedió a Carlos, un adulto joven.

Un día y de manera completamente inesperada —no había ninguna molestia ni señal de que algo pudiera afectarlo y sin estar expuesto a ninguna circunstancia que pudiera explicar lo que sentía—, Carlos tuvo lo que él mismo llamó una “crisis”. Sintió cierta inquietud en el cuerpo y luego le faltó el aire, tenía que inspirar con fuerza y aun así le parecía que se ahogaba; al mismo tiempo su corazón palpitaba fuerte y acelerado. Mareo, temblor, sudor con oleadas de calor que alternaban con frío, una intensa sensación de hormigueo en los labios y brazos... Como un relámpago le surgió la idea de que se estaba muriendo.

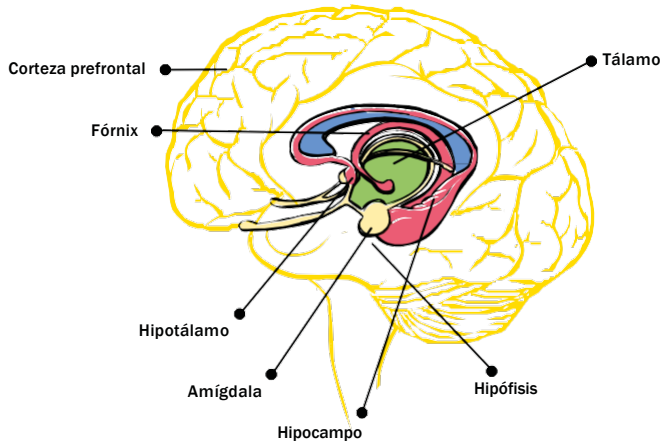
La crisis no duró más de 30 minutos y en el hospital tras minuciosos estudios de laboratorio y un electrocardiograma, le aseguraron que estaba sano, que “sólo eran sus nervios”. Las situaciones que hemos descrito pueden parecer muy distintas, unas más preocupantes e incapacitantes que otras, pero tienen algo en común: en todas hay un trastorno de ansiedad. Y no, no es normal sentirse así y hay que buscar ayuda psiquiátrica cuanto antes.

## La necesidad del miedo

Ansiedad, angustia y miedo son prácticamente lo mismo, aunque algunos autores establecen diferencias a partir de la manera en que se manifiestan. Se dice que *ansiedad* son las manifestaciones físicas del temor y se considera una respuesta anticipada a una probable amenaza, y que *angustia* es el miedo sin una causa evidente que lo provoque. Todos hemos conocido el miedo, no hay quien no lo haya sentido. Podemos definirlo como una sensación de peligro inminente y se acompaña de cambios físicos que nos preparan para la huida o la lucha. Así, el miedo es una respuesta adaptativa y su intensidad depende de la magnitud de la

### SISTEMA LÍMBICO

Algunas de las estructuras del sistema límbico que participan en la regulación del miedo y sus manifestaciones físicas.



amenaza y el contexto en que se percibe. ¿Cómo pasamos de estar tranquilos, incluso muy relajados, a sentir miedo? La relajación, una sensación de placidez, se pierde ante un acontecimiento nimio en el entorno, un estímulo que al principio es casi imperceptible pero que va llamando nuestra atención y generándonos estrés; entonces el placer se torna en curiosidad. Si la curiosidad no es satisfecha se genera más tensión y el miedo se hace perceptible: un buen ejemplo es el ruido extraño en una noche oscura que continúa sin que alcancemos a explicarlo. En cambio, el mundo conocido, familiar, cuyo funcionamiento se entiende, genera paz. Si lo conocemos a satisfacción no representa amenaza alguna.

El miedo extremo, el terror, es consecuencia de una incertidumbre que presagia el máximo dolor ligado a la muerte, como le sucedió a Carlos y en forma menos intensa a Javier, cuando sintió fugazmente el miedo a morir. El terror o pánico se manifiesta con la máxima tensión física y psicológica de que somos capaces, y puede llegar incluso a paralizarnos.

Las funciones orgánicas que se modifican durante el miedo, como presión arterial, respiración, frecuencia cardíaca, tensión muscular y movimiento del sistema digestivo, son autónomas; es decir, tienen un centro neurológico regulador automático, no dependen de la Voluntad del individuo. Ese centro es una región cerebral llamada hipotálamo, la cual también participa en el control de las emociones.

### Trastorno de pánico o crisis de ansiedad

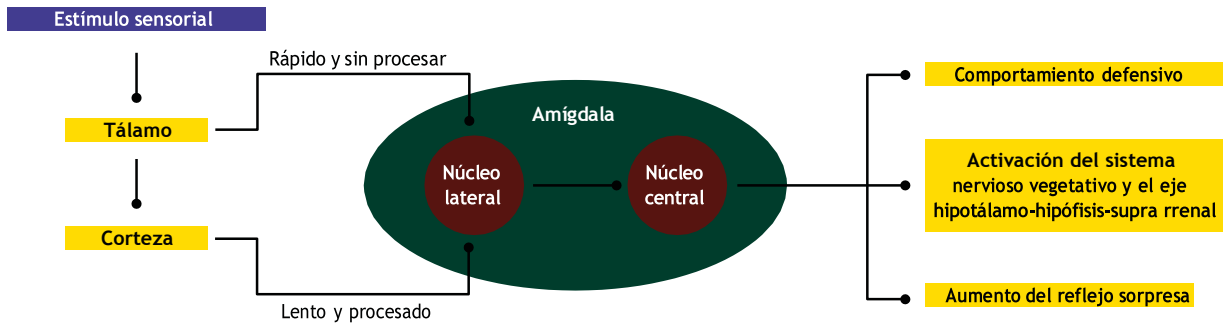
Se manifiesta por la aparición súbita de síntomas de miedo, o malestares intensos relacionados con este que alcanzan su máximo nivel en cuestión de minutos. Son característicos la opresión del pecho y sensación de falta de aire, palpitaciones, temblor y sudor, entre otros. La crisis de pánico puede ser esperada, en respuesta a objetos o situaciones típicamente temidas, o inesperada, cuando no hay razón aparente. Las crisis suelen ser recurrentes, y entre una y otra se produce una intranquilidad y preocupación continua por tener nuevas crisis. Puede inducir cambios en el comportamiento que impiden la adaptación natural, por ejemplo se evitan actividades como el ejercicio o cualquier situación desconocida.

### La fobia específica

Es un miedo irracional a situaciones u objetos precisos, en consecuencia se les evita de manera persistente y desproporcionada. Hay Varios tipos de fobias específicas: por ejemplo, a las alturas, a ciertos animales, a la administración de una inyección o a Ver sangre. Pero es posible desarrollar fobia a cualquier cosa.

Como sabemos que el miedo puede hacernos sufrir intensamente, tratamos de evitarlo o luchamos contra él. De ahí que a Veces se le considere una enfermedad, aunque sea un

## VÍAS DEL TEMOR\*



\*Basado en descripciones de LeDoux y D avis.

### Mutismo selectivo

Consiste en la incapacidad de hablar cuando hay una expectativa social de hacerlo, por ejemplo en la escuela. Quien lo sufre habla sin problema en otras situaciones. Este bloqueo del lenguaje tiene consecuencias significativas en los logros académicos o laborales, o bien altera la comunicación social normal. Los niños con mutismo selectivo hablan en su casa en presencia de sus familiares inmediatos, pero a menudo no hablan ni siquiera ante sus amigos más cercanos o familiares de segundo grado, como abuelos o primos. El trastorno suele estar marcado por una elevada ansiedad social.

### Trastorno de ansiedad generalizada

Sus características principales son ansiedad persistente y excesiva, centrada en aspectos como el trabajo o el rendimiento escolar, que se perciben difíciles de controlar. Además, se experimentan síntomas físicos como inquietud o sensación de excitación, nerviosismo, fatiga, dificultad para concentrarse o mente en blanco, irritabilidad, tensión muscular y alteraciones del sueño.

fenómeno natural. Más todavía, el miedo es indispensable para la supervivencia.

Nos avisa de los peligros y nos da herramientas para protegernos. Sin miedo, en la selva o la ciudad, tendríamos muy pocas posibilidades de sobrevivir. Pero el sufrimiento que produce difumina los límites entre salud y enfermedad. Cuando el miedo que se siente es desproporcionado, excesivo, para la situación que lo produce, como en el caso de Javier, o no tiene causa aparente como le sucedió a Carlos, estamos frente a un trastorno de ansiedad.

### Control de emociones

Puesto que el miedo es una función normal, contamos con un mecanismo fisiológico que lo regula. Para fines prácticos, lo podemos considerar como una alarma. Pero es una alarma muy especial, pues además de que nos avisa del peligro, nos prepara automáticamente, sin la intervención de nuestra Voluntad o conciencia, para defendernos o huir. Esta alarma es un conjunto de circuitos neuronales: neuronas de diferentes estructuras anatómicas, como el hipocampo, la amígdala, el hipotálamo y la corteza cerebral, que se unen para cumplir su función. Las neuronas son células especializadas, pero células al fin y por ello pueden enfermar o fallar de alguna manera, igual que cualquier organización biológica,





dando lugar a diversos padecimientos, entre ellos los trastornos de ansiedad. Las distintas estructuras cerebrales que regulan las emociones humanas y sus manifestaciones fisiológicas, incluido el miedo, constituyen el llamado *sistema límbico*.

Desde las primeras descripciones que se hicieron de este, hacia finales del siglo XIX y principios del XX, se pensaba que el hipotálamo era el centro coordinador de las emociones. Su importancia es fundamental, pues ahí se modulan las respuestas físicas mediadas, sobre todo, por el sistema nervioso autónomo. Hoy se considera que la pieza central en el control de las emociones es la amígdala. Esta recibe información de la corteza dorso-lateral, así como del hipocampo, estructura clave en el funcionamiento de la memoria, e indispensable en la Variación de las emociones. A su vez, la amígdala envía información al hipotálamo, corteza prefrontal y un sistema hormonal denominado *hipotálamo-hipófisis-corticosuprarrenal*.

La diversidad de las respuestas emocionales del ser humano ha impedido su comprensión sistematizada. Ahora, después de un siglo de investigaciones, el sistema límbico empieza a develar sus secretos. En buena medida su acción está programada genéticamente, de ahí que algunos de sus trastornos se consideren hereditarios, o por lo menos producto de una fuerte carga genética. Sin embargo, como la mayoría de las funciones neuronales, el sistema límbico debe configurarse para funcionar en el ambiente físico, social y familiar de cada individuo, de manera que las experiencias del desarrollo temprano moldean nuestras respuestas emocionales. Como todo el sistema nervioso, esos circuitos tienen una gran plasticidad para adecuar su función a diversas condiciones. Debido a que la evaluación del ambiente y la toma de decisiones conscientes son un proceso largo, si sólo dependiéramos de

ellas estaríamos expuestos a demasiados peligros. Imagínate que para alejar la mano del fuego que la quema o para apartarnos del camino de un auto que está a punto de embestirnos a toda Velocidad hubiera que tomar la decisión consciente de hacerlo; nuestra reacción se tardaría demasiado. Por ello la alarma y las primeras medidas para defendernos son automáticas; estímulos sutiles, que no somos capaces de percibir conscientemente, pueden activar su funcionamiento de manera repentina, provocando además asombro y temor.

### Plasticidad cerebral

La plasticidad con la que se configuran los circuitos que regulan el miedo da cuenta de cómo las experiencias Vividas durante las primeras etapas del desarrollo individual organizan modelos de reacción para enfrentar amenazas e incertidumbre a partir de la memoria y la imaginación; esta última podría entenderse como proyecciones de la memoria hacia el futuro.

Por ejemplo, un niño que fue golpeado por un maestro temerá encontrarse con otros maestros en el futuro imaginando que podría Volver a sufrir una agresión a partir de su recuerdo. Recordar todos los detalles amenazantes y la infinidad de condiciones peligrosas que rodean a la frágil condición humana probablemente haría imposible el funcionamiento de esos circuitos; pero condensando y amalgamando situaciones de peligro y condiciones de tranquilidad, se consolida un sistema de simbolización —la paloma que simboliza paz, o el color rojo que en cierto contexto simboliza peligro— que representa al mundo en elementos psicológicos y sus correspondientes emociones, haciendo manejable la incertidumbre que de otra manera sería intolerable.



Por otro lado, aunque las primeras experiencias de la Vida definen las bases con que empezaremos a enfrentar nuestra realidad, la plasticidad de las neuronas se mantiene y lo aprendido, en cierta medida, se puede modificar. Pasado el desarrollo inicial, acontecimientos traumáticos en los que se ha expuesto la Vida, por ejemplo, pueden provocar en el sistema de alarma una “calibración” diferente, más sensible. Así, cambios repentinos que se Vivían habitualmente sin sobresalto se sienten como amenazas mayores y se produce un estado de alerta más intenso que facilita la ansiedad, y se evoca con frecuencia el suceso traumático que aparece incluso en sueños. Esta condición se considera un estado patológico por el sufrimiento que produce. En los circuitos que regulan el miedo se puede generar una función anómala por diversas causas, por ejemplo consumir sustancias tóxicas como cocaína y anfetaminas; por enfermedades sistémicas, como las metabólicas, las endócrinas y el cáncer; y por padecimientos de origen genético. Todas ellas alteran específicamente los mecanismos íntimos de las neuronas de dichos circuitos.

## Los trastornos de ansiedad

No siempre es fácil entender la ansiedad. Podemos considerarla como un síntoma semejante al dolor. Los dos están presentes en muchas enfermedades y representan una señal de alarma que requiere atención inmediata. Pero identificar cuándo se trata de una afección del sistema que regula la propia alarma entraña una especial dificultad. De hecho, no ha sido sino hasta muy recientemente que se consideran los trastornos de ansiedad como padecimientos en sí mismos.

Podemos encontrar descripciones de ansiedad desde los textos hipocráticos de la Grecia clásica, pero durante muchos siglos se pensó que era algo que acompañaba a otras enfermedades. Es hasta 1952 cuando la Asociación Psiquiátrica

de Estados Unidos, en su manual de diagnóstico estadístico (DSM-II), incluyó la categoría *Neurosis de ansiedad*, que comprendía prácticamente todas las formas de ansiedad. Hoy la investigación clínica y el reciente desarrollo de las neurociencias permiten reconocer diferentes trastornos de ansiedad. (Véase *¿Cómo ves?* Núm. 220).

El de Javier se conoce como *trastorno por estrés agudo*, mientras que lo sucedido a Carlos fue un *ataque de pánico o crisis de angustia*; la condición de una persona que se aísla se llama *fobia social*, la de un adulto como el que berreaba en el aeropuerto es un *trastorno de ansiedad por separación*, y la de una persona que enmudece cuando tiene que hablar en público se llama *mutismo selectivo*. Una manera simple, aunque no definitiva, para determinar si la ansiedad requiere tratamiento consiste en observar el sufrimiento que sus manifestaciones producen y, sobre todo, si limitan o inhiben la capacidad para adaptarse al ambiente.

Un diagnóstico más certero se logra aplicando los criterios de los manuales que para ese fin han elaborado la Organización Mundial de la Salud, el *ICD10*, y la Asociación Psiquiátrica de Estados Unidos, el *DSM-V*. Los trastornos de ansiedad son la principal razón de consulta psiquiátrica en México y el mundo, con cifras que en nuestro país, de acuerdo con la Encuesta Nacional de Epidemiología Psiquiátrica, alcanzan hasta 14 % de la población adulta a lo largo de su Vida. Lamentablemente hay quienes lo sufren hasta por nueve años antes de buscar ayuda.

## Tratamiento

Buena parte de los trastornos de ansiedad requieren una intervención inmediata que contemple los aspectos biológicos, las influencias sociales y culturales (estas nos permiten entender los mecanismos que desencadenan el miedo), y los aspectos

psicológicos (reacciones emocionales con las que cada quien enfrenta sus temores). Los medicamentos ansiolíticos y los antidepresivos son herramientas muy efectivas en estos casos, pero además es necesario echar mano de formas de psicoterapia específicas para cada caso.

Los ansiolíticos son sustancias que actúan favoreciendo la acción de un neurotransmisor llamado ácido gama amino butírico (gaba); este inhibe la sobre-excitación de las neuronas que provocan los síntomas de ansiedad. Su actividad es rápida; en pocos minutos puede controlar un ataque agudo de pánico, pero no impide que vuelva a ocurrir. Los antidepresivos en cambio, aunque tardan de dos a tres semanas en empezar a tener efecto, pueden lograr, con un uso prolongado, que los síntomas no se repitan.

La psicoterapia siempre está indicada y su modalidad depende del tipo de trastorno de

ansiedad del paciente. Por ejemplo, la desensibilización progresiva, que consiste en acercarse lenta y progresivamente al objeto que causa la angustia, es la más recomendada para la fobia específica. En otros casos se recomienda la terapia cognitivo-conductual, en la que se exploran los procesos de pensamiento que puedan estar relacionados con el desarrollo de los síntomas.

Es necesario tener siempre presente que el miedo forma parte normal de la vida y si bien es cierto que su funcionamiento puede alterarse y provocar sufrimiento, siempre hay forma de arreglarlo. Los trastornos de ansiedad pueden mejorarse mucho, e incluso curarse, con el tratamiento adecuado.

---

Eduardo Thomas es médico especialista en psiquiatría por la UNAM y el Hospital Español de México, certificado por el Consejo Mexicano de Psiquiatría. Es colaborador habitual de *¿Cómo ves?*

## MÁS INFORMACIÓN

- Hernández Pacheco, Manuel, *Apego y psicopatología: la ansiedad y su origen*, Desclee de Brouwer, Bilbao, 2018.
- Andreoli, Stefania, *¿Qué me está pasando?: cómo combatir la ansiedad de nuestros hijos en un mundo cada vez más estresante*, Grijalbo, Barcelona, 2017.

### Trastorno de ansiedad inducido por sustancias

Engloba la ansiedad debida al abuso, intoxicación o retiro de sustancias o tratamientos médicos. Por ejemplo estimulantes como el café, las anfetaminas y la cocaína. Suprimir de manera repentina el uso de ansiolíticos (tranquilizantes) y alcohol es también una causa frecuente de este trastorno.

### Trastorno de ansiedad debido a una enfermedad médica

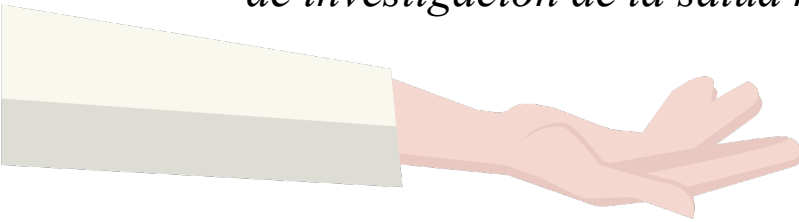
Los síntomas de ansiedad son la consecuencia fisiológica de una enfermedad médica, por ejemplo hiper o hipotiroidismo.



## LECTURA 12.

**Un laboratorio en tu bolsillo | Jonathan Cueto Escobedo y Gabriela Nachón García |**

*Los teléfonos inteligentes ya son parte inseparable de la sociedad, pero ahora también podrían ser una gran herramienta de investigación de la salud humana.*



**Para los jóvenes** sucedió hace mucho tiempo, para los mayores no fue hace tanto, pero el 23 de octubre de 2001 Steve Jobs anunció el lanzamiento al mercado del dispositivo iPod con la frase “mil canciones en tu bolsillo”. Con el paso del tiempo, las funciones del iPod se trasladaron al teléfono iPhone y a todos los celulares. Hoy en un teléfono inteligente se guardan no sólo nuestras canciones favoritas, sino una parte importante de nuestras Vidas: la información de los contactos, los Videos de los cumpleaños, las fotos de las Vacaciones y es a la Vez el acceso a nuestros correos electrónicos y redes sociales, juegos y hasta los apuntes de la escuela. Ahora, además, los científicos han convertido nuestros teléfonos inteligentes en herramientas para la investigación; por medio de aplicaciones especiales, se Vuelven instrumentos para recolectar datos Valiosos.

### Cazadores de enfermedades

Imagínense que contraen una enfermedad infecciosa. Lo primero que se preguntarían es cómo se contagiaron. Lo segundo sería cómo curarse. Entre estas dos preguntas hay otras incógnitas: cómo evitar contagiar a los demás, qué hacer para curarse más rápido y no Volver a

enfermarse. Para contestar estas preguntas se necesitan datos, datos y más datos. A mediados del siglo XIX la ciudad de Londres había empezado a crecer desmesuradamente debido a la Revolución Industrial. Por esa época hubo grandes epidemias de cólera que mataron a miles de personas en muy poco tiempo.





Para evitar más muertes había que saber cómo se contagiaba la enfermedad. Antes de 1854 se creía que el cólera sólo podía transmitirse por contacto directo con un enfermo y que el contagio se debía a los miasmas (o vapores malignos) que emanaban de esa persona. Pero un joven médico llamado John Snow que vivió muy de cerca una de estas epidemias desarrolló una hipótesis diferente.

### CIENCIA CIUDADANA

En 2013 unos investigadores de la Universidad de Leiden, Países Bajos, distribuyeron dispositivos ópticos para adosar al celular de 8 000 Voluntarios. Los participantes sólo tenían que tomar una foto del cielo en su localidad; el dispositivo convertía su teléfono en un analizador de partículas atmosféricas.

En el lapso de un día se reunieron suficientes datos para trazar un mapa detallado de la contaminación por partículas en todo el país. El proyecto se ha extendido a 11 ciudades europeas.

—S.R.

Mientras todo el mundo pensaba que se debía prohibir el contacto directo con los enfermos, John Snow estudió el agua que bebían las personas de Londres porque sospechaba que ahí estaba el agente que producía el contagio del cólera. Afortunadamente para Snow, las personas de los distritos afectados de Londres consumían agua del río Támesis distribuida por únicamente dos empresas, así que el joven médico, auxiliado por otros colegas, fue de puerta en puerta a investigar cuál empresa surtía cada casa de la zona afectada. En un artículo publicado en 1856 señaló que esas empresas suministraban agua por igual a ricos y pobres, “por lo que había una población de 300 000 personas de diversas condiciones y ocupaciones intrincadamente mezcladas dentro de la ciudad, pero dividida en dos grupos por una sola característica: el consumo de agua”.

De los clientes de una compañía murieron sólo 313 mientras que de los de la otra murieron

2443. Snow no tardó en relacionar esta diferencia con el origen del agua de ambas compañías, que la recolectaban en distintos puntos del río Támesis. El agua que causó más víctimas estaba contaminada por desechos de las cañerías de la ciudad que llegaban al río. La comunidad médica dudó de las conclusiones de Snow. Sin embargo, con el tiempo sus investigaciones sirvieron para evitar contagios y salvar vidas, por lo que hoy se considera a Snow uno de los precursores de la investigación epidemiológica.

### Dime qué haces y te diré qué padeces

La investigación de Snow resalta la importancia de recolectar datos epidemiológicos. Pero descubrir las causas de otras enfermedades más complejas requirió que los científicos perfeccionaran sus estrategias para obtener información. Las investigaciones epidemiológicas de hoy analizan un gran número de personas: estudian sus hábitos alimenticios y de salud, así como su actividad física. Solicitando registros diarios mediante entrevistas, además de pruebas de laboratorio cada tantos meses o años, los investigadores pueden encontrar las posibles causas de algunas enfermedades.

En 1948 un equipo de investigación reunió a 5 000 habitantes de Framingham, Massachusetts. Los participantes se sometieron a un examen físico y a una entrevista sobre su estilo de vida. Cada dos años, los participantes regresaban para completar su historial médico y hacerse un examen físico y pruebas de laboratorio. En 1974 se sumaron al estudio 5 000 personas más, hijos y esposas de los primeros participantes, y así se fueron añadiendo varias generaciones hasta 2003. Las décadas de monitoreo a los voluntarios de Framingham permitieron descubrir que las personas más propensas a padecer enfermedades cardiovasculares eran las que tenían presión y colesterol altos, fumaban, engordaban, no



## BIG DATA

Un experimento científico de ciencia ciudadana con teléfonos inteligentes puede generar más datos de los que un equipo de investigadores podría procesar en muchos años con computadoras tradicionales en un laboratorio. La información no solo es Voluminosa, sino diversa: hoy se pueden medir al mismo tiempo muchas Variables, lo que complica aún más el análisis posterior. Los teléfonos inteligentes son herramientas fundamentales en esta era de datos masivos, o big data (Véase ¿Cómo Ves?, Núm. 241). Las compañías Google, Amazon y Microsoft ofrecen servicios de almacenamiento y análisis de estos datos masivos en la nube.

Son buenas noticias para los científicos: hoy no necesitan ni campañas prolongadas de recolección de datos que se extiendan durante años ni súper computadoras propia que pueden costar millones de dólares.

–S.R.

## TEMBLORES

En la Universidad de California, campus Berkeley, se desarrolló una app para detectar y medir temblores con el celular. Se llama MyShake y puede distinguir entre las sacudidas debidas a un sismo y las del movimiento normal del usuario. Una app de sismología distribuida ampliamente puede ayudar a trazar mapas de la magnitud de un sismo y los daños que causa, todo en muy poco tiempo.

–S.R.

hacían ejercicio y padecían diabetes. Estas características eran factores de riesgo de estos padecimientos, algo que hoy todo mundo sabe, pero que no se había comprobado científicamente hasta entonces.

Gracias al gran número de Voluntarios que participaron en el estudio, los resultados pueden ser Válidos para otras poblaciones de casi cualquier lugar del mundo. Además, esto compensa la pérdida de datos debida a que durante todo ese tiempo muchos pacientes pudieron fallecer, mudarse a otra ciudad o simplemente abandonar el estudio. Puesto que muchos Voluntarios se pierden, es mejor empezar con Voluntarios de sobra. Otro

problema es que se debe confiar en su memoria y su honestidad cuando responden cómo se cuidaron en los últimos meses. A mí se me olvida hasta qué comí ayer. De ahí que pueda haber fallas que afecten la exactitud de los resultados.

## Ciencia al teléfono

Aquí es donde hacen su entrada los teléfonos inteligentes. Los científicos están aprovechando las capacidades de estos aparatos para realizar sus investigaciones. Los Voluntarios pueden usar el celular para enviar sus datos a los institutos de investigación en vez de acudir a llenar bitácoras, lo cual favorece que no abandonen el estudio. Los teléfonos permiten recolectar datos muy precisos mediante sensores como los acelerómetros, que pueden medir la actividad física, así como los sistemas de posicionamiento GPS, los monitores de frecuencia cardíaca, y los micrófonos y analizadores de sonido. Los datos de millones de Voluntarios de todo el mundo pueden enviarse por internet a los centros de investigación en un solo clic. Tan sólo en México hoy existen 77 millones de teléfonos inteligentes, y se estima que para 2025 en todo el mundo habrá más de 5 000 millones de teléfonos con sensores avanzados para medir muchas más cosas. Un ejemplo son las aplicaciones Dialbetics y Foodlog, que monitorean la salud y estilo de Vida de pacientes diabéticos. La aplicación calcula las calorías y el porcentaje de carbohidratos, proteínas y grasas con sólo fotografiar los alimentos. Los Voluntarios de un estudio realizado con estas aplicaciones recibieron un glucómetro digital para medir su glucosa por la mañana. Los acelerómetros (que detectan pasos y saltos del portador del teléfono) sirvieron para calcular su actividad física diaria.

Toda esta información se recabó y se envió a los investigadores para su análisis. El paciente recibía consejos acerca de su dieta o felicitaciones por sus cuidados. El estudio demostró que los enfermos de diabetes que usaron las aplicaciones controlaron mejor sus niveles de glucosa en comparación con quienes no las usaron. De la misma manera, se están desarrollando muchas otras investigaciones en humanos en diferentes áreas científicas.

de su casa. Ahora la compañía que lanzó el iPod hace 18 años con la promesa de ponernos mil canciones en el bolsillo brinda a los científicos una poderosa herramienta de investigación. Seguramente en pocos años llevaremos mil estudios científicos en marcha dentro del bolsillo.

**TODO EN UNO**

Un sensor es un dispositivo que mide alguna forma de energía (por ejemplo, la temperatura) y lo convierte en una señal que luego puede ser leída por un instrumento electrónico. Hoy en día los teléfonos inteligentes están equipados con sensores cada vez más precisos.

**Acelerómetro.** Es el sensor que mide movimiento, posición, vibración y aceleración. En los teléfonos su uso común es detectar desplazamientos, inclinaciones y velocidad; es el encargado de girar la imagen de la pantalla si mueves el teléfono, determinar tu velocidad y registrar tu actividad física, por ejemplo, los pasos que das. Se investiga su uso para monitorear la postura o detectar caídas del usuario.

**Giroscopio.** Se emplea para determinar la velocidad de rotación del teléfono con respecto a tres ejes. Detecta leves giros en el aparato así como su orientación (le ayuda al acelerómetro a saber cómo está orientado el teléfono). La cámara del celular se apoya en este sensor para corregir movimientos involuntarios y evitar que tus fotos salgan borrosas. Con una aplicación puede monitorear a personas con Parkinson o ataques epilépticos.

**Sensor de proximidad.** Determina la cercanía o posición de un objeto en relación a la pantalla. Es gracias a este sensor que se desactiva el teclado y el ahorro de energía del teléfono, por ejemplo, durante una llamada telefónica, cuando la cara está cerca de la pantalla.

**Sensor de luz ambiente.** Este sensor detecta la presencia o ausencia de luz mediante fotocélulas; ajusta el brillo de la pantalla y por ende reduce el consumo energético.

**Magnetómetro.** Es la brújula del teléfono y determina el ángulo del celular con respecto al polo magnético terrestre. Gracias a este sensor nuestros teléfonos determinan en qué dirección nos estamos moviendo. Usando datos del acelerómetro y del GPS nos puede ubicar en el mapa y así nuestros teléfonos se vuelven instrumentos de navegación.

**GPS.** Apoyado en satélites calcula y nos indica nuestra localización geográfica. Un GPS moderno también puede apoyarse en datos como la fuerza de la señal celular (distancia a una antena celular) para proporcionarnos una localización más precisa.

**Cámara.** Existe una aplicación es para realizar pruebas oftalmológicas sencillas pero aún no son muy confiables.

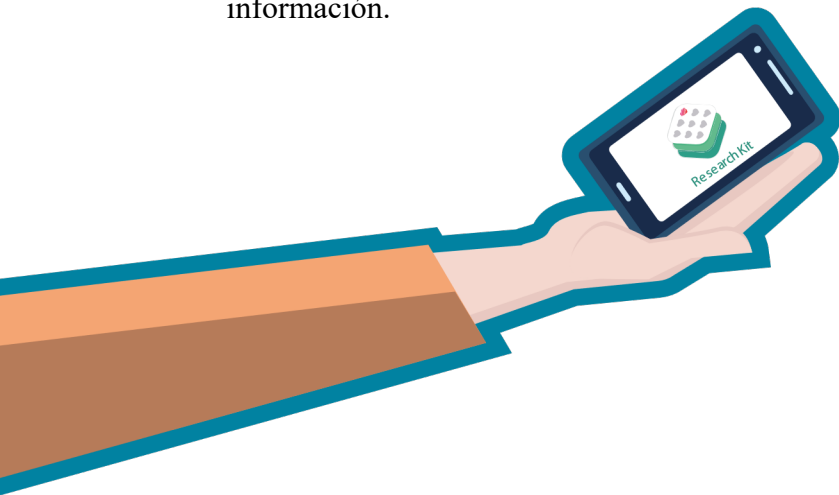
**Micrófono y analizadores de sonido.** Proporcionan información vital sobre el ambiente donde se mueve el individuo. Usando el micrófono del teléfono móvil algunos investigadores han desarrollado un espirómetro (instrumento que mide el flujo y volumen del aire inhalado y exhalado por los pulmones).

## Mil experimentos en tu bolsillo

Ante esta oportunidad, en 2015 la compañía Apple lanzó el paquete ResearchKit, una plataforma que permite a cualquier científico crear aplicaciones para iPhone que las personas pueden descargar para participar en investigaciones científicas desde la comodidad

Uno de los retos es la privacidad y el empleo responsable de los datos. Todos nos hemos sentido espiados cuando, después de hablar de un tema en redes sociales, recibimos anuncios de productos relacionados con ese tema, pero los datos de nuestros hábitos de salud y de nuestros

padecimientos son información aún más delicada, y los investigadores que usen estas apps están obligados a proteger la confidencialidad de los participantes. En este sentido, Apple ha manifestado que los datos recabados por las apps desarrolladas con ResearchKit serán completamente confidenciales y sólo estarán disponibles para los investigadores. Para proteger la identidad de los Voluntarios, ni siquiera la misma empresa Apple tendrá acceso ni podrá utilizar esta información.



Usando ResearchKit se han desarrollado ya aplicaciones como EpiWatch, que usa los acelerómetros para registrar ataques epilépticos con el fin de obtener datos que ayuden a encontrar mejores tratamientos. Por si fuera poco, la aplicación envía una alerta a los familiares del portador cuando empieza una crisis epiléptica.

Una app llamada Neurons monitorea los síntomas de pacientes con esclerosis múltiple. Sleep Health permite registrar tus hábitos de sueño para estudiar los trastornos que lo afectan y mPower está diseñada para entender la evolución de la enfermedad de Parkinson con pruebas de destreza, equilibrio y memoria. Esta enfermedad deteriora el control de movimiento

de los pacientes destruyendo las neuronas dopaminérgicas. La app mPower mide la capacidad del paciente de controlar sus movimientos en forma parecida a como se hace en el consultorio: con el teléfono en el bolsillo, se le pide al paciente que camine en línea recta. Los acelerómetros miden las desviaciones y los bamboleos del paciente (equilibrio). En una prueba distinta aparecen en la pantalla del teléfono dos círculos rojos que el paciente tiene que tocar alternadamente con los dedos índice y medio para medir su tiempo de reacción. Por último, la app le pedirá al paciente que acerque la boca al micrófono y diga "ah" durante 10 segundos. Las Variaciones en las propiedades del sonido son una medida indirecta de la capacidad del paciente de controlar los músculos que producen la Voz. Todos estos datos se analizan para monitorear el estado de salud del paciente con Parkinson, y este puede decidir si compartirlos o no con los investigadores.

Estas Ventajas aumentarán drásticamente el número de participantes en estudios científicos, lo que aportará una gran cantidad de datos sin sacrificar precisión. Añádase que así los experimentos se llevarán a cabo en condiciones más normales para el participante, como el hogar en vez de un laboratorio. Los datos llegarán de regiones distintas, lo que permitirá medir el efecto de Variables como el clima, la altitud y los productos alimenticios del país, y así identificar efectos geográficos, dietéticos y de actividad física. La información adicional, como edad, sexo, ocupación, horas de trabajo y de sueño, permitirá analizar subgrupos y distinguir los efectos de las enfermedades o los tratamientos sobre hombres y mujeres, niños y adultos, y otros.

Una investigación que utilizó aplicaciones de celulares analizó a 4 000 participantes en sólo cuatro meses. Obtener esta cantidad de datos mediante métodos tradicionales de investigación





habría tomado más de tres años (ocho Veces más tiempo). Ya hay cientos de experimentos publicados en revistas científicas, y sus autores afirman que los resultados son asombrosamente similares a los de los estudios realizados bajo condiciones controladas dentro de los institutos de investigación.

Los teléfonos inteligentes se están convirtiendo en una poderosa herramienta de investigación de todos los fenómenos relacionados con la conducta humana y la salud. Permiten estudiara millones de personas de manera simultánea en todo el mundo, generando grandes avances en el conocimiento científico. Así que si alguna Vez recibes una invitación a participar en una investigación a través de tu teléfono inteligente, revisa que estén en orden los aspectos éticos y anímate a colaborar con la comunidad científica para generar más conocimiento. Te tomará poco tiempo y a cambio podrías aportar mucho a la ciencia.

Jonathan Cueto Escobedo es doctor en psicología por la Universidad Nacional Autónoma de México. Actualmente es investigador del Instituto de Ciencias de la Salud de la Universidad Veracruzana.

María Gabriela Nachón García es investigadora y directora del Instituto de Ciencias de la Salud de la Universidad Veracruzana. Su investigación se centra en el papel de las emociones y el estrés en la ansiedad y las adicciones, y el impacto de ciertas enfermedades en otros padecimientos.

## RAYOS CÓSMICOS

Un equipo de físicos de partículas en la Universidad de California, campus Irvine, desarrolló una app llamada CRAYFIS que detecta cuando una partícula con carga eléctrica atraviesa e interactúa con los circuitos del teléfono. Este fenómeno sucede todo el tiempo y no tiene consecuencias, pero al integrar la información de muchos usuarios por medio de la app se pueden detectar las cascadas de partículas elementales que se forman cuando un rayo cósmico choca con una partícula atmosférica. A partir de la distribución de las señales se puede deducir la energía del rayo cósmico original.

–S.R.

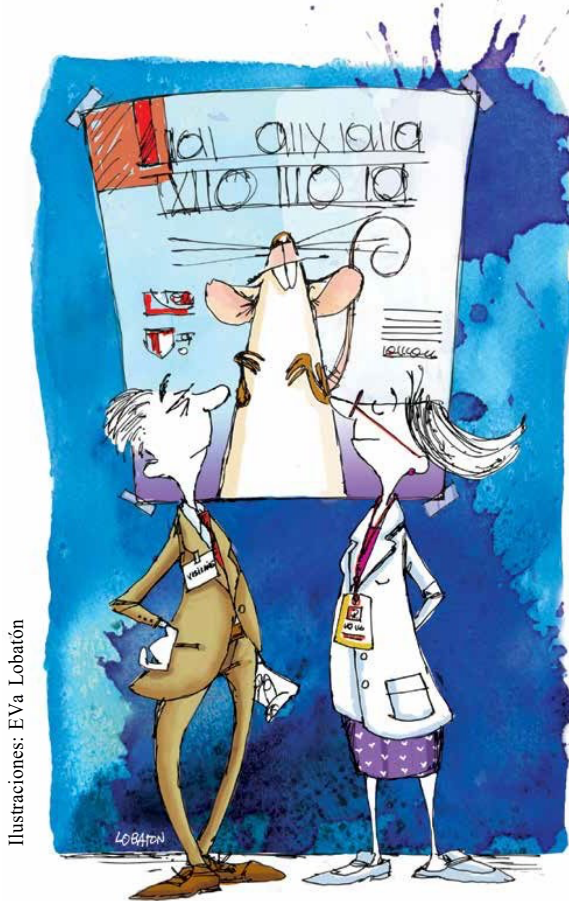
## MÁS INFORMACIÓN

- Fiquelievich, Susana y Celina Fischnaller, "Ciencia ciudadana en la sociedad de la información: nuevas tendencias a nivel mundial", Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad: [www.redalyc.org/comocitar.oa?id=92431880001](http://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=92431880001)
- Rodríguez, Luz, "¿Qué aporta la ciencia ciudadana a los proyectos?", Revista IDESQBRE: <https://idescubre.fundaciondescubre.es/reVista/>



## LECTURA 13.

## Una aventura de sexo y ciencia | Pere Estupinyà |



Ilustraciones: EYa Lobatón

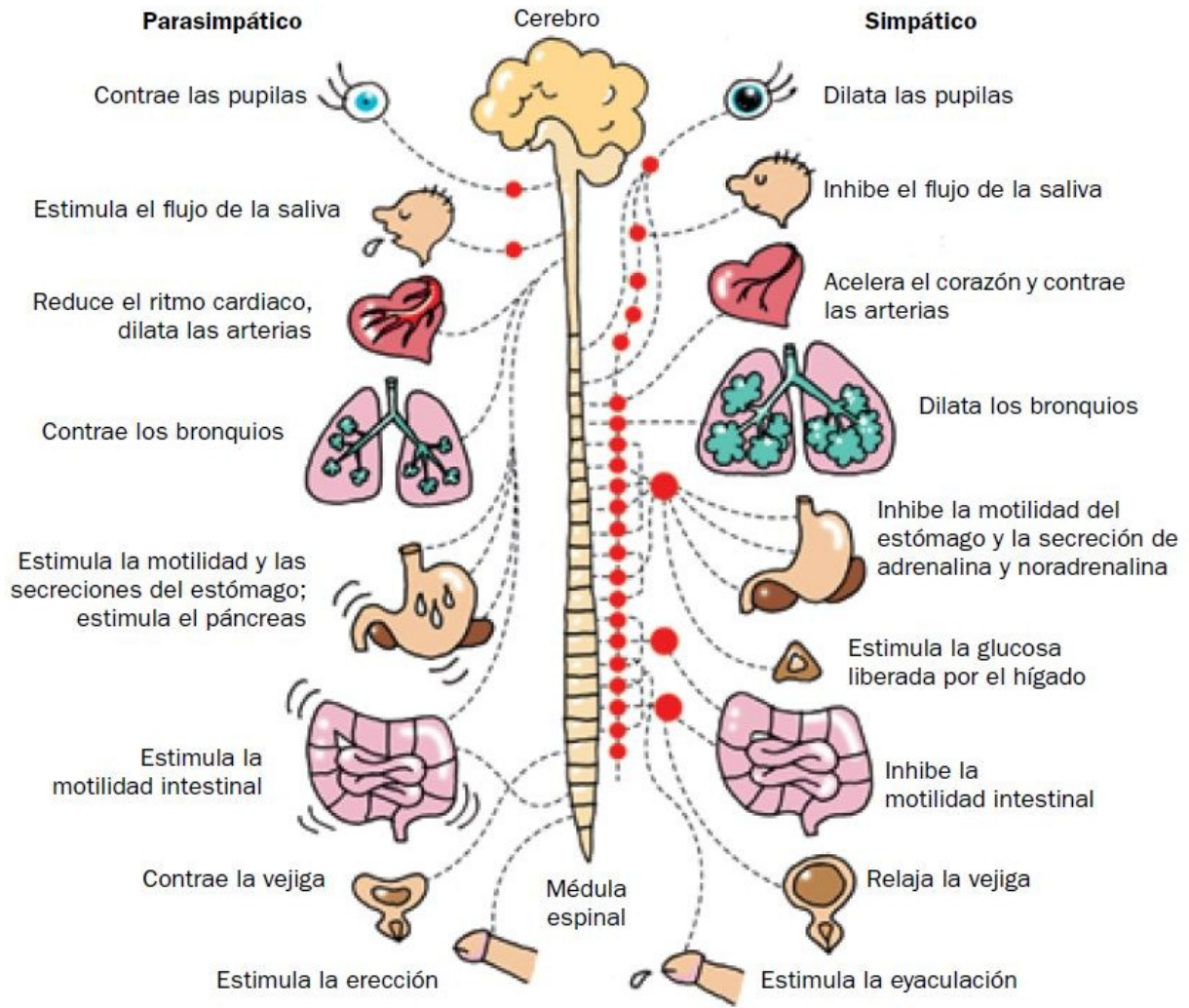
**Era noviembre de 2008** y estaba paseando por la sesión de carteles científicos del congreso de la Sociedad de Neurociencia, en Washington, D.C. Soy bioquímico y empecé mi doctorado en genética, pero lo abandoné hace ya más de 10 años para dedicarme exclusivamente a la comunicación de la ciencia. ¿Por qué? En parte porque si hubiera sido investigador, en ese congreso de neurociencia me habría dedicado a ir sólo a las sesiones relacionadas con mi trabajo, mientras que siendo comunicador podía dedicarme a explorar cualquier tema nuevo que me despertara curiosidad.

### *Una mirada a la investigación científica de la sexualidad humana y sus sorprendentes resultados.*

Con esa filosofía, disfruté deambulando entre los jóvenes científicos que anunciaban con carteles conferencias de temas como optogenética, enfermedad de Alzheimer, tristeza, células madre, memoria, dopamina, y pararme unos minutos a hacerles preguntas. En eso andaba una tarde cuando me topé con un cartel cuyo título, sin saberlo yo, iba a ser el detonante de una gran aventura: “Estimulación del clítoris induce activación de proteínas Fos en el cerebro de la rata”.

¿Estimulación del clítoris de una rata? ¿Era realmente lo que yo estaba imaginando? Pues sí. Me quedé unos segundos plantado frente al cartel mirando la foto de una rata (deduzco que hembra) y leyendo descripciones de sus genitales y de las hormonas relacionadas con el deseo sexual, y luego me acerqué a la joven científica que estaba de pie frente al cartel. “Mayte Parada”, decía su identificación. Con una expresión muy seria le dije: “Hola, me llamo Pere Estupinyà y soy periodista científico. Tengo una pregunta: ¿tú estimulas el clítoris de las ratas?”. “Sí”, respondió Mayte con serenidad. “¿Te puedo preguntar cómo?”, continué. “Hay Varias técnicas y cada investigador tiene su preferida. Yo utilizo un pincel y hago roces breves y rápidos cada Varios segundos en lugar de fricciones constantes, porque así es como copulan las ratas”.

## SISTEMA NERVIOSO CENTRAL



Me imagino que en este momento ustedes tendrán la misma reacción que yo: tomárselo a broma, pensar “¿y eso para qué sirve?” y dudar de que el sexo se pueda estudiar científicamente, ¡y con ratas! Mayte intuyó mi escepticismo y me dijo algo así: “Hay muchas personas con problemas sexuales y la ciencia y la medicina están obligadas a estudiarlos como cualquier otra función de nuestro organismo. No sé por qué te extraña más leer un trabajo científico sobre el sexo que sobre la capacidad de concentración o la fuerza atlética, por ejemplo. Quizá —como a muchas otras personas— te sorprende que se estudie con ratas. Pero déjame que te diga que, en cuanto al desarrollo básico

de los genitales y del sistema nervioso, no somos tan diferentes de las ratas ni de otros animales. Yo no estudio el comportamiento ‘psicológico’, sino la química que hay detrás del deseo sexual. Como la mayoría del resto de los animales, una rata hembra sólo quiere sexo si está ovulando, pero las ratas no tienen calendarios ni pueden hacer cálculos.

Es una química interna la que hace que se sienta excitada y tenga comportamientos de cortejo. Esa química interna también la tenemos nosotros, y aunque parezca sorprendente, en pleno siglo XXI todavía no la hemos comprendido del todo. Lo que hago es dar



diferentes combinaciones de testosterona, prolactina, progesterona y estrógenos a las ratas para Ver en qué condiciones les gusta más que les estimulen el clítoris. Muchas mujeres tienen problemas de deseo por aspectos psicológicos o de pareja, pero en ocasiones hay causas fisiológicas ocultas, y la nueva medicina sexual las empieza a contemplar”.

### LA ASEXUALIDAD

Una persona asexual se define como aquella que no siente deseo sexual interno ni atracción física hacia las otras personas. No son personas que rechazan el sexo; de hecho, muchos y muchas prueban a veces, buscan otro tipo de estímulos, o se masturban si creen que es positivo para su salud. Ellos y ellas simplemente no tienen ganas, y pueden vivir perfectamente felices sin sexo.

Investigaciones de Anthony Bogaert establecen que suelen ser asexuales desde la adolescencia, que la asexualidad no está necesariamente asociada a eventos traumáticos, que en Gran Bretaña entre 0.5 y 1% de la población se define como asexual, y que bastantes de ellos forman parejas porque mantienen intactos los sentimientos románticos. Se están realizando estudios que indican una predisposición biológica a la asexualidad, lo cual es consistente con que empiece desde la adolescencia y se mantenga durante largos periodos de la vida.

También se ha visto que los factores hormonales, o la capacidad eréctil en hombres o lubricación en mujeres, son iguales en las personas asexuales que en las sexuales.

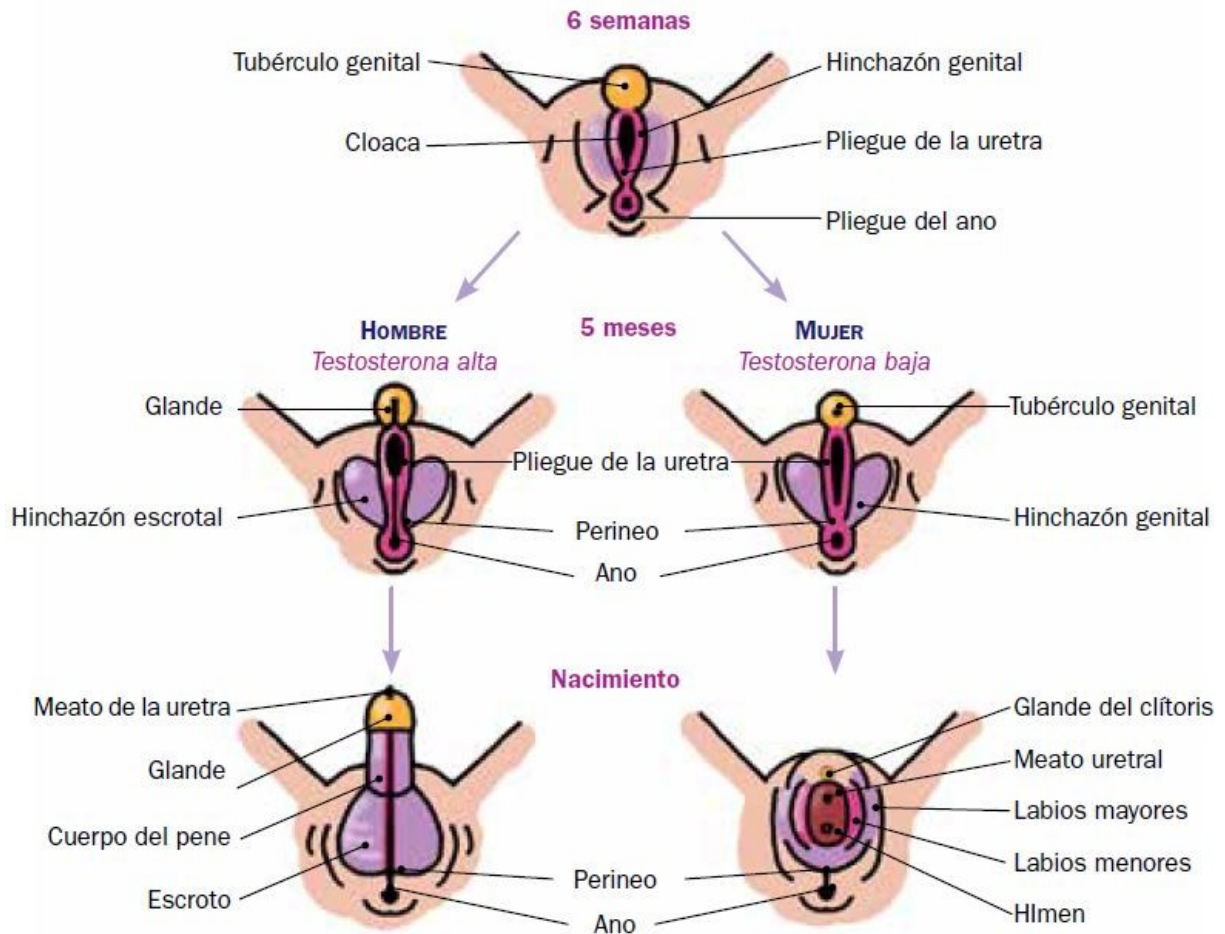
Me quedé estupefacto. Era lo más interesante que había escuchado en el congreso. Estuve varios minutos más charlando con Mayte no sólo de hormonas, sino también del origen de los fetichismos, los cambios sociológicos en la sexualidad debido a Internet, vestirse inconscientemente con ropa más sugerente durante la ovulación, aumentar la sensibilidad para incrementar el placer sexual y tener orgasmos más intensos... y preguntándome cómo podía ser que, con más de 10 años dedicado a la comunicación científica, nunca se me hubiera ocurrido escribir sobre la ciencia del sexo. “Si quieres saber más”, dijo Mayte, “deberías hablar con Jim Pfaus, mi jefe en la Universidad Concordia de Montreal, que es uno

de los principales expertos del mundo en el estudio científico de la sexualidad”. Tardé un poco, pero Vaya que lo hice.

### Pupilas dilatadas

Las pupilas se dilatan en el momento del orgasmo, como puede observar cualquier persona sexualmente activa (¡siempre y cuando su pareja no cierre los ojos en ese momento!). Luego de observarlo me quedé pensando posibles hipótesis del origen de este fenómeno y recordé a Mayte Parada y su propuesta de entrevistar a Jim Pfaus. Días después lo tenía al otro lado del teléfono diciéndome: “¡Claro que se dilatan las pupilas en el orgasmo! Es uno de los efectos del cambio del sistema nervioso autónomo parasimpático al simpático”.

Piensa cómo funciona internamente tu cuerpo. Por un lado, las células responden a unas señales químicas, y por otro hay un extenso conjunto de nervios que activan músculos y recogen información de sentidos y órganos para enviarla al cerebro. Una parte de este sistema nervioso es voluntaria (la que utilizas para mover los dedos y pasar las páginas de esta revista) y otra es autónoma. La parte autónoma dirige sin pedirte permiso los latidos de tu corazón o el movimiento de tus intestinos. Este sistema nervioso autónomo tiene a su vez dos estados posibles: parasimpático y simpático. Las fibras parasimpáticas son las que tienes activas cuando te sientes tranquilo y tu cuerpo está relajado. Pero nuestro organismo está preparado para reaccionar de inmediato si en plena sabana de repente nos ataca de león. Esto se consigue activando las fibras simpáticas, que provocan tensión muscular, aumentan el metabolismo de la glucosa, generan sudoración, segregan adrenalina, aumentan el ritmo cardíaco y la presión sanguínea para activar la respuesta y dilatan los bronquios y las pupilas para respirar y ver mejor. Por extraño que parezca, durante el orgasmo también se activa el sistema nervioso simpático, y “por eso las pupilas se dilatan en el



momento del orgasmo”, me dijo Jim Pfaus. “Es un dato curioso, pero tiene importantes implicaciones”, añadió. A muchos chicos les habrá ocurrido algo paradójico: estar con una chica que les gusta y mentalmente muy excitados, pero al mismo tiempo muy nerviosos e incapaces de tener una erección. En España a eso le llamamos “gatillazo”, y en realidad ocurre porque el estrés ha activado las fibras simpáticas antes de tiempo. Esta activación implica que se retire sangre de las funciones corporales no imprescindibles para enviarla a los músculos. Pues bien, si una situación de estrés activa el sistema simpático, por muy excitado que esté un hombre, su cuerpo retirará sangre del pene y la enviará a los músculos y no podrá tener una erección. En estas circunstancias el sistema

nervioso no es precisamente tan “simpático”. Pero también hay otra implicación: una vez empezada una relación sexual, para llegar al orgasmo se requiere la activación de esas fibras simpáticas. Es por esto que en algunas mujeres a las que les cuesta llegar al orgasmo, el estrés o la tensión puede facilitararlo. No obstante, hombres y mujeres no somos tan diferentes; eso fue lo que me dijo Jim en tono provocador, y añadió: “Sí lo somos en cuanto a educación y condicionantes sociales, y algo a nivel psicológico, pero neurofisiológicamente somos muy parecidos”. Eso que puede sorprenderte se ve claramente si miras la estructura de los genitales. Pene y clítoris parecen muy distintos, pero en realidad son muy semejantes: el clítoris es como un pene más pequeño pero cuyo cuerpo se ha quedado interno y al exterior sólo sale el glande. De hecho, en

estado embrionario los óvulos y los testículos. Vienen de las mismas estructuras, y el pene y el clítoris también. Los mismos nervios pudendo y pélvico llegan a los genitales masculinos y femeninos.

### VIDA SEXUAL SATISFACTORIA

Algunas recomendaciones de los sexólogos son:

1. Eliminar traumas y presiones: sean de origen religioso o por experiencias dolorosas en el pasado, muchas personas especialmente mujeres— sienten una resistencia interna al sexo. Un primer paso es trabajar con un sexólogo o terapeuta para eliminar estos frenos. Esto es válido tanto para individuos como para parejas.
2. Estar saludable: el sexo no sólo está en la cabeza, también en tu flujo sanguíneo, músculos y niveles hormonales. Hay trastornos físicos que afectan de manera específica la sexualidad y otras enfermedades como la diabetes que también la limitan. Pero más allá de ellas, estar y sentirte en buena forma es necesario si quieres alcanzar una sexualidad excepcional.
3. Conocerse a sí mismo: eso implica asimilar tus fantasías, deseos y preferencias, pero también conocer cómo funciona tu cuerpo por dentro. Conocer la estructura de tus genitales, el funcionamiento de tu sistema nervioso, y las características de tu organismo y tu mente es básico para aprender a sacarle todo su potencial. En el caso de las parejas, también deben esforzarse en conocerse a sí mismas, para lo cual la comunicación es imprescindible.
4. Abrir tu mente: el primer paso es quitar negatividades, y una vez que eso se consigue, hay que contemplar la sexualidad como algo bonito, positivo y que puede aportar mucho bienestar individual y a la pareja. Nadie obliga a nada, ni dice que se es más feliz con mucho sexo, porque no es cierto. Pero sí es bueno ser más flexibles con nuestros pensamientos, meditar, y no considerar como "extraños" algunos comportamientos diferentes a los nuestros.

## Multiorgasmia

Con Jim hablamos de muchas cosas, como la predisposición genética a la multiorgasmia, las personas asexuales—que nunca sienten deseo ni atracción hacia otras personas—, y la posibilidad de que evolutivamente estemos predispuestos a la infidelidad. Para entonces ya

estaba plenamente convencido de que quería escribir un libro sobre la ciencia del sexo. En las siguientes semanas empecé a leer muy diversos estudios científicos.

Sobre los orgasmos múltiples encontré estudios realizados con gemelos, que son una de las herramientas que tienen los investigadores para saber si un rasgo tiene mayor o menor componente genético. Si se compara la frecuencia del rasgo a estudiar (por ejemplo, hiperactividad, personalidad adictiva, o presión sanguínea alta) en gemelos idénticos, que tienen el 100% de genes en común, y en mellizos, con 50% de genes en común, y resulta que ese rasgo está mucho más correlacionado en los gemelos idénticos, esto indica que la influencia genética es mayor en ese rasgo.

Utilizando la base de gemelos TwinsUK, los investigadores Kate Dunn y Tim Spector, enviaron un cuestionario a 3 654 parejas de hermanas gemelas en el Reino Unido de entre 19 y 83 años. Les preguntaban cuántas veces alcanzaban el orgasmo sólo con penetración, cuántas en pareja, pero con otro tipo de estimulación física y cuántas mediante masturbación. Sus resultados, publicados en la revista *Biology Letters* en septiembre de 2005, mostraron que la capacidad de alcanzar el orgasmo tanto en el coito como mediante masturbación sí tenía un claro componente genético. En concreto, sugirieron que los genes podían explicar entre un 34 y 45% de las diferencias en la población. ¿En qué afectan estos genes? Todavía no se ha investigado con tanto detalle, pero parece que podría estar relacionado con la predisposición a la depresión o a la ansiedad, con diferencias anatómicas, o incluso con los niveles de prolactina (la hormona que influye en la saciedad sexual y es liberada tras el orgasmo).

En ciencia los estudios aislados siempre se toman con precaución, pero otra investigación realizada en Australia con 3 080 hermanas gemelas ofreció resultados muy parecidos: la

frecuencia de orgasmos estaba significativamente más correlacionada en gemelas idénticas que en mellizas, incluso controlando factores como número de parejas, divorcios y aspectos socioeconómicos y culturales. Khytam Dawood y sus colaboradores, autores del estudio, que se publicó en la revista *Twin Research and Human Genetics* en 2005, también especulaban que este carácter genético podría estar asociado con otros rasgos de carácter como extroversión o desinhibición. Hay investigaciones en marcha que analizan genes implicados en el metabolismo de la serotonina, la Vasopresina, los estrógenos y otras hormonas. Nadie está sugiriendo que la genética tenga un papel determinante, pero la conclusión es obvia: una mujer puede no alcanzar el orgasmo durante el coito por ansiedad, estrés, inhibición cultural o malestar con su pareja, pero también porque tenga una fisiología diferente a la de otra que sí tiene orgasmos con facilidad.



## Cuando la emoción gana

El trabajo para el libro era un no parar de anécdotas y hallazgos, y más cuando empecé a visitar centros de investigación como el Instituto Kinsey de la Universidad de Indiana, posiblemente el principal en materia de sexualidad. Allí por ejemplo investigan la parte más psicológica e irracional del sexo. Digo irracional en el sentido de que, cuando tomamos decisiones sobre sexualidad, nos solemos guiar más por la emoción que por la razón. Un ejemplo: participé en un estudio en el que me mostraron fotografías de rostros femeninos con un número que indicaba cuántas relaciones sin protección habían tenido esas chicas en los últimos dos meses. Yo tenía que decir qué tan probable sería, en una escala de 1 a 5, que tuviera relaciones sexuales con ellas. Antes de empezar el experimento, estaba convencido de que por guapa que fuera la chica no me acostaría con ella si había tenido muchas relaciones sin

protección. Pero una vez que vi sus rostros, cuando alguna me gustaba mucho ya estaba pensando en pretextos para dejar de lado ese convencimiento. Y es que el deseo sexual cambia toda nuestra toma de decisiones, y reconocerlo es básico para entender nuestras acciones. Este poder de las emociones es lo mismo que demuestran infinidad de experimentos en psicología social.

Pero no podía escribir un libro completo sobre la ciencia del sexo sin incluir el enfoque sociocultural. Entrevisté antropólogos que investigan relaciones poliamorosas y han concluido que no somos monógamos sexuales pero sí emocionales; a investigadores que estudian si la pornografía genera adicción o no y que han encontrado que en la inmensa mayoría de las personas no. También entrevisté a expertos que comparan los cánones de belleza facial y corporal de

diferentes culturas y entornos socioeconómicos; un resultado muy curioso es que cuando se tiene hambre nos atraen las personas un poco más rellenitas que si estamos saciados. Pero también quise conocer de primera mano qué pensaban actores y actrices porno, Ver con mis propios ojos qué ocurría en clubs de sadomasoquismo, conocer cómo es la sexualidad de personas con lesión medular, entrevistarme con asexuales, con personas que han sufrido mucho por el injustificado rechazo social debido a su homosexualidad, Visitar clubs de swingers sin avisar a nadie de que estaba tomando notas para un libro y talleres de sexo tántrico donde una mujer nos enseñaba a llegar al orgasmo con la respiración.

Esta aventura, que empezó de manera casual frente a un cartel científico en un congreso de neurociencia, me llevó a descubrir que la sexualidad humana es algo mucho más estimulante física e intelectualmente de lo que nunca había imaginado. Duró 18 meses lo que me tomó investigar para el libro y escribirlo. Se titula S = EX2. La ciencia del sexo. Si me quedo con una moraleja es que la ciencia nos permite Ver un mundo mucho más amplio del que nos muestran nuestros sentidos limitados. Gracias a ella Vemos mucho más que estrellas en el Universo, sabemos cómo se comunican nuestras células y empezamos a comprender cómo funciona nuestro cerebro. Es un Viaje fascinante, que te incito a no dejar escapar. Una Vida sin ciencia es como una Vida sin música: puede ser igual de maravillosa, pero nos perdemos una de sus mayores ofrendas.

---

Pere Estupinyà es periodista científico. Ha trabajado para los Institutos Nacionales de Salud, Estados Unidos, y el programa español de televisión *Redes*. Escribe para el diario *El País* y es autor del *Rastreador científico en español* del programa Knight del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT).

### Más información

- Estupinyà, Pere, S=EX2. La ciencia del sexo, Ed. Debate, México, 2013.
- Entrevista con Pere Estupinyà en: [www.youtube/watch?V=M\\_NN501VhV4](http://www.youtube/watch?V=M_NN501VhV4).
- Revista Ciencias: [www.reVistaciencia.amc.edu.mx/index.php?option=com\\_content&task=View&id=16](http://www.reVistaciencia.amc.edu.mx/index.php?option=com_content&task=View&id=16)







## ACTIVIDADES DE LAS LECTURAS

Actividades de la lectura "¡Corre homo, corre!":

- Por turnos los alumnos participan en la lectura: ¡Corre homo, corre!
- El docente y los alumnos realizan comentarios en plenaria sobre el artículo leído.
- Los alumnos realizan un reporte de lectura.

Actividades de la lectura "Edición genética en humanos. La gran controversia":

- Los alumnos realizaran una lectura rápida y en plenaria se comentan los conocimientos previos que tienen sobre la lectura.
- Los alumnos realizan una lectura atenta del artículo: Edición genética en humanos. La gran controversia
- Los alumnos realizan un resumen de la lectura: Edición genética en humanos. La gran controversia

Actividades de la lectura "¿Está temblando más que antes?":

- Se comenta con el maestro y los alumnos de que puede tratar la lectura después de leer el título.
- Los alumnos participan realizando una lectura en voz alta: ¿Está temblando más que antes?
- Los alumnos realizan una síntesis del artículo: ¿Está temblando más que antes?

Actividades de la lectura "Fracking. Beneficios fugaces... ¿daños permanentes?":

- Los alumnos realizan la predicción de lo que puede tratar el artículo, a partir de visualizar el título y la imagen del texto.
- Los alumnos participan realizando una lectura en voz alta: Fracking. Beneficios fugaces... ¿daños permanentes?
- Los alumnos realizan un reporte de lectura del artículo: Fracking. Beneficios fugaces... ¿daños permanentes?

Actividades de la lectura "La carne cultivada":

- Los alumnos después de ver el título y las imágenes del texto, en plenaria comentan a qué asocia la imagen, que les sugiere el título y de que consideran que puede tratar el artículo.
- Los alumnos realizan la lectura atenta del artículo: La carne cultivada.
- Los alumnos realizan un reporte de lectura del artículo: La carne cultivada.



Actividades de la lectura "La ciencia que precede a la tormenta":

- Los alumnos, después de ver el título y las imágenes del texto, en plenaria comentan a que asocia la imagen, que les sugiere el título y de que consideran que puede tratar el artículo.
- Los alumnos realizan una lectura atenta del artículo: La ciencia que precede a la tormenta.
- Los alumnos realizan un resumen del artículo: La ciencia que precede a la tormenta.

Actividades de la lectura "La inteligencia artificial no es como la pintan":

- Los alumnos después de ver el título y las imágenes del texto, en plenaria comentan a qué asocia la imagen, que les sugiere el título y de que consideran que puede tratar el artículo.
- Los alumnos realizan la lectura atenta del artículo: La inteligencia artificial no es como la pintan.
- Los alumnos realizan un reporte de lectura del artículo: La inteligencia artificial no es como la pintan.

Actividades de la lectura "No pegues tu chicle":

- Los alumnos realizan una lectura de rápida del artículo: No pegues tu chicle, posteriormente en plenaria se comentan los conocimientos que tienen sobre el tema.
- Los alumnos realizan una lectura atenta de la lectura.
- Los alumnos realizan un reporte de lectura del artículo: No pegues tu chicle.

Actividades de la lectura "Ondas gélidas":

- Los alumnos, a partir de visualizar el título y las imágenes del texto, en plenaria realizan inferencias de lo que puede tratar el artículo.
- Los alumnos realizan una lectura en voz alta del artículo: Ondas gélidas.
- Los alumnos realizan un resumen del artículo: Ondas gélidas.

Actividades de la lectura "¿Papel o plástico?":

- Los alumnos realizan una lectura rápida del artículo ¿Papel o plástico? y en plenaria comentan el tema.
- Los alumnos realizan una lectura atenta del texto y subrayan las ideas principales.
- Los alumnos realizan una síntesis del artículo: ¿Papel o plástico?

Actividades de la lectura "Trastornos de ansiedad: la marca del miedo":

- Los alumnos, después de leer el título, en plenaria comentan que les sugiere y a que asocia el título del artículo.
- Los alumnos realizan una lectura atenta del artículo: Trastornos de ansiedad: la marca del miedo.
- Los alumnos realizan un reporte de lectura del artículo: Trastornos de ansiedad: la marca del miedo.



Actividades de la lectura "Un laboratorio en tu bolsillo":

- Los alumnos realizan una lectura rápida del artículo: Un laboratorio en tu bolsillo y en plenaria realizan comentarios referentes a lo que infieren que trata el texto.
- Los alumnos realizan una lectura atenta, identificando las ideas principales.
- Los alumnos realizan una síntesis del artículo: Un laboratorio en tu bolsillo.

Actividades de la lectura "Una aventura de sexo y ciencia":

- Los alumnos después de leer el título, en plenaria comentan que les sugiere y a que asocia el título del artículo.
- Los alumnos realizan una lectura atenta del artículo: Una aventura de sexo y ciencia.
- Los alumnos realizan un reporte de lectura del artículo: Una aventura de sexo y ciencia.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- García, F. J., (2020, enero) Ondas gélidas. ¿Cómo ves? Revista de divulgación de la ciencia de la UNAM [en línea], No. 254. Disponible en <http://www.comoves.unam.mx/assets/revista/254/ondas-gelidas.pdf>
- Cueto, E. J., Nachón, G. G., (2019, noviembre) Un laboratorio en tu bolsillo. ¿Cómo ves? Revista de divulgación de la ciencia de la UNAM [en línea], No. 252. Disponible en <http://www.comoves.unam.mx/assets/revista/252/un-laboratorio-en-tu-bolsillo.pdf>
- Thomas, T. E., (2019, septiembre) Trastornos de ansiedad: la marca del miedo. ¿Cómo ves? Revista de divulgación de la ciencia de la UNAM [en línea], No. 250. Disponible en <http://www.comoves.unam.mx/assets/revista/250/trastornos-de-ansiedad-la-marca-del-miedo.pdf>
- López, M. A., (2019, agosto) La carne cultivada. ¿Cómo ves? Revista de divulgación de la ciencia de la UNAM [en línea], No. 249. Disponible en <http://www.comoves.unam.mx/assets/revista/249/la-carne-cultivada.pdf>
- Nuñez-Acosta, E., (2019, mayo) Edición genética en humanos, la gran controversia. ¿Cómo ves? Revista de divulgación de la ciencia de la UNAM [en línea], No. 246. Disponible en <http://www.comoves.unam.mx/assets/revista/246/edicion-genetica-en-humanos-la-gran-controversia.pdf>
- Huster, A., Santoyo, M. A., Pérez, C. X., (2018, septiembre) ¿Está temblando más que antes? ¿Cómo ves? Revista de divulgación de la ciencia de la UNAM [en línea], No. 238. Disponible en <http://www.comoves.unam.mx/assets/revista/238/esta-temblando-mas-que-antes.pdf>
- Hernández, G. C., (2016, octubre) La inteligencia artificial no es como la pintan. ¿Cómo ves? Revista de divulgación de la ciencia de la UNAM [en línea], No. 215. Disponible en <http://www.comoves.unam.mx/assets/revista/215/la-inteligencia-artificial-no-es-como-la-pintan.pdf>
- Guerrero, M. V., (2015, mayo) Fracking. Beneficios fugaces... ¿daños permanentes? ¿Cómo ves? Revista de divulgación de la ciencia de la UNAM [en línea], No. 198. Disponible en <http://www.comoves.unam.mx/assets/revista/198/fracking-beneficios-fugaces-danos-permanentes.pdf>
- Cárdenas, G. G., (2014, octubre) La ciencia que precede a la tormenta. ¿Cómo ves? Revista de divulgación de la ciencia de la UNAM [en línea], No. 191. Disponible en <http://www.comoves.unam.mx/assets/revista/191/la-ciencia-que-precede-a-la-tormenta.pdf>
- Estupinyá, P., (2013, noviembre) Una aventura de sexo y ciencia. ¿Cómo ves? Revista de divulgación de la ciencia de la UNAM [en línea], No. 180. Disponible en <http://www.comoves.unam.mx/assets/revista/180/una-aventura-de-sexo-y-ciencia.pdf>
- Ruíz, L. B., (2010, mayo) ¿Papel o plástico? ¿Cómo ves? Revista de divulgación de la ciencia de la UNAM [en línea], No. 138. Disponible en <http://www.comoves.unam.mx/assets/revista/138/papel-o-plastico.pdf>
- Uruchurtu, G., (2010, marzo) ¡Corre homo, corre! ¿Cómo ves? Revista de divulgación de la ciencia de la UNAM [en línea], No. 136. Disponible en <http://www.comoves.unam.mx/assets/revista/136/corre-homo-corre.pdf>
- López, M. A., (2005, agosto) No pegues tu chicle. ¿Cómo ves? Revista de divulgación de la ciencia de la UNAM [en línea], No. 81. Disponible en <http://www.comoves.unam.mx/assets/revista/81/no-pegues-tu-chicle.pdf>