



*con* CIENCIAS.digital

REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/24](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/24)

Nº 24 NOVIEMBRE 2019

# La CIENCIA es cosa de muchos



Nº 24 / NOVIEMBRE 2019

**REDACCIÓN**

Dirección:  
Ana Isabel Elduque Palomo

Subdirección:  
Ángel Francés Román

Diseño gráfico y maquetación:  
Víctor Sola Martínez ([www.vicsola.com](http://www.vicsola.com))

Comisión de publicación:  
Blanca Bauluz Lázaro  
Cristina García Yebra  
María Luisa Sarsa Sarsa  
María Antonia Zapata Abad

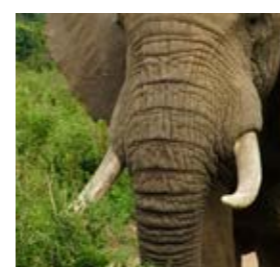
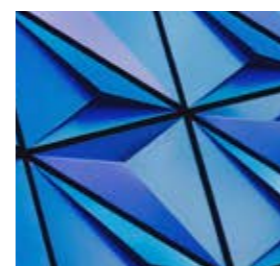
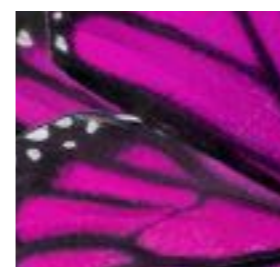
**EDITA**

Facultad de Ciencias,  
Universidad de Zaragoza.  
Plaza San Francisco, s/n  
50009 Zaragoza  
[web.ciencias@unizar.es](mailto:web.ciencias@unizar.es)

IMPRIME: Servicio de Publicaciones. Universidad de Zaragoza  
DEPÓSITO LEGAL: Z-1942-08  
ISSN: 1888-7848 (Ed. impresa)  
ISSN: 1989-0559 (Ed. digital)

Imágenes: fuentes citadas en pie de foto.  
Portada: Premio de Fotografía San Alberto Magno  
(Mención Especial, por Alberto Ángel Vela Rodrigo)

La revista no comparte necesariamente las opiniones  
de los artículos firmados y entrevistas.



<b>EDITORIAL</b> .....	<b>2</b>
<b>YO ESTUVE UNA VEZ EN ÁFRICA</b> .....	<b>4</b>
Carlos Gómez-Moreno	
<b>EL VALOR OCULTO DEL PATRIMONIO FRUTAL. DE LA BIODIVERSIDAD A LA GASTRONOMÍA</b> .....	<b>28</b>
Pilar Errea Abad y José González Bonillo	
<b>MITOLOGÍA, CULTURA Y ARTE EN LA TABLA PERIÓDICA DE LOS ELEMENTOS QUÍMICOS</b> .....	<b>38</b>
Pascual Román Polo	
<b>BIG DATA: LA FIEBRE DEL SIGLO XXI: REINVENTÁNDOSE LA ESTADÍSTICA PARA LOS NUEVOS DATOS</b> .....	<b>56</b>
Pilar Olave Rubio	
<b>LA QUÍMICA EN LA FRONTERA: MÁS ALLÁ DE BURETAS Y TUBOS DE ENSAYO</b> .....	<b>68</b>
Héctor Madrona Martínez	
<b>DEL QUINTO POSTULADO A LA FORMA DEL UNIVERSO</b> .....	<b>80</b>
Rubén Vígara Benito	
<b>NOTICIAS Y ACTIVIDADES</b> .....	<b>98</b>

**La CIENCIA es cosa de muchos**

Hola a todos. Nos encontramos nuevamente en conCIENCIAS. En breve, nuestro aniversario de plata. Pero para esto todavía nos faltan unos meses. Lo que sí tenemos ya es un nuevo número tan interesante como todos los que nos han precedido. Vamos a ver con qué nos sorprenden los escritores.

Esta vez sí que traemos variedad a nuestras páginas. Como seguimos en 2019, todavía tenemos que seguir celebrando el 150 aniversario de la formulación de la tabla periódica. Pascual Román nos cuenta, además de algo de su historia, una visión del origen etimológico del nombre de algunos elementos. Quién hubiera podido pensar tanta relación entre química y arte. No se lo pierdan.

La preocupación por el riesgo de perder mucha de la biodiversidad que ha caracterizado a nuestro planeta va en aumento. Cuando oímos hablar del tema, todos

pensamos en los grandes mamíferos africanos pero, a menudo, nos olvidamos de aquella más cercana a nosotros. Pilar Errea y José González Bonillo nos ofrecen un interesante artículo sobre cómo las prácticas agrícolas han provocado muchas veces una disminución de esta biodiversidad incluso en zonas de tan baja población como los Pirineos. Hay que cambiar nuestro pensamiento para que nuestras actividades sean realmente sostenibles.

Pilar Olave nos habla de *Big Data*. Las técnicas de *Big Data*, gracias al gran aumento de la capacidad computacional y a disponer de técnicas de generación de algoritmos cada vez más sofisticadas, se han convertido en temas de enorme interés. Pero, junto a ello, Pilar nos hace hincapié en los riesgos e inconvenientes de los procedimientos automatizados pues pueden convertirse en auténticos generadores de desigualdades. Como siempre, la ciencia y la tecnología no son ni buenas ni malas. Lo son los usos que hagamos de ellas.

## “Nos encontramos nuevamente en conCIENCIAS. En breve, nuestro aniversario de plata”.

**“Ilumina los pequeños detalles para descubrir el mundo”  
Por Ángel Sanz Felipe  
(Primer Premio de Fotografía San Alberto Magno 2018).**



Siguiendo con el tratamiento de grandes cantidades de información posibilitado por el gran poder de cálculo que ya se dispone, la Biomedicina y la Biotecnología han podido resolver problemas que antes parecían de casi imposible solución. Héctor Madrona nos ofrece un interesantísimo artículo sobre las nuevas fronteras computacionales de la Química y su aplicación en otras ramas científicas.

Que hemos intentado asignar siempre una forma al Universo es algo sabido. Que la Cosmología actual nos lo ha puesto muy difícil, también. Pero aquí llegan nuestros compañeros matemáticos a desarrollar la Geometría para que, al menos, podamos calcular todo aquello que la tradicional y plana Geometría euclidiana no podía hacerlo satisfactoriamente. Rubén Vígara nos relata que esto no es nuevo, pero que ni mucho menos se ha detenido la investigación en este campo. Léanlo, no dejará de sorprenderles.

Dentro del apartado que solemos dedicar siempre a las experiencias humanas, en este número Carlos Gómez-Moreno nos describe su experiencia africana. Aprovechó su viaje al Maasai-Mara para acompañar a su familia en una campaña de salud dental. Lo que iba a ser solo un viaje de recreo supuso una experiencia humana de lo más intensa. Desde la cuna de la humanidad pudo ver el terrible efecto de la desigualdad entre los hombres. Digno de reflexión.

Un gran número sin duda. Aunque nadie sabe qué nos deparará el futuro ni en qué lugar estaremos cada uno, querido lector, no dude de que seguiremos trabajando para que el número 25 llegue a tus manos. Solo queda desearles una feliz lectura. Nos encontramos en el próximo número.

Ana Isabel Elduque Palomo  
Directora de conCIENCIAS



“No creo ser muy original si declaro que ese viaje me marcó. Cualquiera lo diría. Muchos visitantes de África han dicho que una parte de ella se le queda a uno dentro para siempre cuando vuelven”.

# Yo estuve una vez en África



La familia de Dennis delante de su vivienda.  
Fotografía cedida por el autor.

Carlos Gómez-Moreno



Gracias en Swahili.  
Fotografía cedida por el autor.

**E**n este artículo muestro mis experiencias personales, siendo ya profesor jubilado, durante un viaje a la región de Maasai-Mara en Kenia a primeros de este año 2019 y mis reflexiones sobre:

- Los primeros pasos del hombre sobre la Tierra y su lucha por la supervivencia.
- El contacto de unos jóvenes europeos, acostumbrados a la comodidad de la sociedad occidental, con los niños nativos de una zona pobre de África y los valores muy positivos que pueden aportar por ambas partes.
- Por último, la valoración sobre la respuesta que una sociedad rica y acomodada desea dar a una población necesitada.

“Ana recibió un aviso anunciándole que había conseguido un pasaje para dos personas al Campamento Kichwa Tembo, en pleno territorio de la Reserva de Maasai Mara en Kenia”.

No creo ser muy original si declaro que ese viaje me marcó. Cualquiera lo diría. Muchos visitantes de África han dicho que una parte de ella se le queda a uno dentro para siempre cuando vuelven. La ocasión era muy especial porque se trataba de un viaje familiar a una de las zonas más interesantes de África y que todo el mundo conoce porque ha visto centenares de documentales sobre ella y cualquier habitante de la Tierra ha soñado alguna vez con poderla visitar. Es la llanura de Maasai Mara, un lugar habitado por los animales más fieros y salvajes que existen, viviendo en completa libertad y con la posibilidad de observarlos muy de cerca, en su hábitat más natural.

Observar la vida animal salvaje en directo resulta muy interesante; pero lo es más si va uno acompañado por personas muy queridas como son mis nietos Alejandro,

de 14 años, Mara de 12 y Daniela de 9. A esas edades, aún muy tempranas, pueden ya apreciar perfectamente los acontecimientos que iban a vivir. Pero existía otra razón adicional que abría una nueva posibilidad para que el viaje se convirtiera en una experiencia vital para los jóvenes de tal forma que les podría marcar su vida para siempre: estábamos a punto de iniciar una misión humanitaria de ayuda al poblado Maasai llevando a cabo una campaña de salud dental, especialmente dirigida a la población infantil nativa.

#### EL NACIMIENTO DE UNA IDEA

Esta aventura familiar comenzó dos años atrás cuando mi hija Ana compró un perfume llamado África, en cuyo envase anunciaba que el comprador podría conseguir un premio consistente en un safari completísimo en Kenia. Posiblemente no fue esa la razón por la que Ana eligió ese perfume, pero la realidad es que lo compró y mandó su nombre y dirección a la página del concurso. Nunca está uno seguro de que estos premios lleguen al final a repartirse porque no se ven anuncios de los resultados de los sorteos. Además, el concurso era a nivel mundial y eso hace que las esperanzas de conseguirlo sean aún menores. Pero, ocurrió. Le tocó el premio. Si eso no hubiera ocurrido de esa manera, esta historia no habría tenido lugar y en esta revista se habría publicado un sesudo artículo sobre los agujeros negros, o sobre cómo se puede corregir un defecto genético congénito introduciendo un fragmento de ADN en el cromosoma de un óvulo humano fecundado.

Pero el hecho es que Ana recibió un aviso anunciándole que había conseguido un pasaje para dos personas al Campamento Kichwa Tembo, en pleno territorio de la Reserva de Maasai Mara en Kenia, con estancia en una tienda/habitación doble con comidas incluidas y con salidas en safari diarias, así como un viaje en globo aerostático. Ana y su marido Gustavo, que es dentista, decidieron incluir en el viaje a sus hijos, desembolsando la diferencia en el precio.

Desde que llegaron, los mensajes fueron muy entusiastas. ¿Cómo no van a estar encantados de visitar un sitio como ese? Nada más salir con el Jeep del campamento ya están viendo leones, jirafas, cebras. Todos los animales de los documentales de la 2. Los atardeceres en la sabana con las acacias peladas por las jirafas recortadas en el paisaje de la sabana. Un rinoceronte negro que apenas se recorta en la lejanía del paisaje plano y despejado.



**Habitaciones del campamento (arriba) y elefante macho (abajo).**



▶  
**Mirada limpia.**

Pero, desde el principio, los comentarios que más me llamaron la atención, en los que ponía la familia más énfasis, eran sobre Dennis, el "ranger" (guía) que tenían asignado al grupo para todos los safaris. Un chico maasai de 26 años, de sonrisa fácil y mirada tierna que conectó enseguida con los niños y también con los padres. Su visión de la vida era muy sencilla. Se entendía muy bien con los niños en un inglés muy básico, aunque perfectamente correcto. Un día los llevó a ver un poblado maasai cerca del campamento. Los niños salían al encuentro del jeep buscando regalos. Pero pronto se les acabaron porque no habían preparado suficientes regalos para todos. Pensaron que tenían que haber traído más. Y, si vinieran otra vez... ¿Les podrían traer más cosas?

Este era el pensamiento que les quedó cuando terminó la semana que tenían programada. Pero, al volver a Zaragoza, Ana decía que parecía como si le hubiera picado un mosquito pequeño que le había dejado algo dentro, ni un virus ni una bacteria porque no tenía fie-

bre, pero que no dejaba de darle vueltas en la cabeza una idea. Que deberían hacer más para ayudar a esos pequeños que se habían encontrado en los poblados maasai que habían visitado. Prestarles atención dental a los trabajadores del campamento como Dennis, el ranger, Yegon, el jefe del comedor, Andrew, el cocinero principal, a Martha, la otra guía con cara de niña que tan cariñosa se había mostrado con las niñas, Mara y Daniela. Todos ellos, además del hueco de un incisivo inferior que los maasais se quitan para mostrar que han llegado a su estado adulto, llevaban los dientes con unas manchas rojas producidas, posiblemente, por algún colorante que añaden a sus comidas. Cualquier cosa que ellos hicieran por esa población de gente sencilla, sana de espíritu, agradecida, necesitada de ayuda y de impulso, para que pudieran vivir mejor, más sanos, con mejor higiene dental, sería muy valioso.

Ana lo habló con Gustavo, su marido el dentista, que es colombiano. También lo comentó con los chicos, Alejandro, que ya casi es un hombrecito, serio, recto

y formal y muy bien intencionado, Mara, la chica despierta, tierna y sensible, que ha heredado de su madre la capacidad de conectar con los sentimientos de las personas que le rodean y apoyarles para luchar por conseguirlo. También habló con la pequeña Daniela, que es pura ingenuidad, alegría y cariño. A todos les pareció que podían/debían hacer algo por ayudarles. Y así se gestó el proyecto al que titularon:

#### 'UNA SONRISA EN KENIA'

Durante el año siguiente aprovecharon una finca de la familia que tiene por nombre "Cortijo de Santa María", en honor de la madre de Ana ya desaparecida, andaluza con salero y ojos profundamente negros de nombre María Angustias. Allí se celebraron, durante ese año, algunos eventos, mercadillos, comidas de familia, rifas, etc. El público eran los muchos amigos que esta familia andaluza/colombiana se han granjeado en Zaragoza a lo largo de los años: familias del colegio del Pilar de Teresianas, el grupo de teatro del colegio, el equipo de fútbol del Stadium Casablanca, antiguas amigas de Jesuitas, amigos y pacientes relacionados

con las clínicas dentales, otros profesionales amigos. Todos se volcaron con ellos para ayudar en esa misión tan noble, desinteresada y humanitaria. Estaban entusiasmados de colaborar y asistir a las fiestas anunciadas. Así reunieron unos pocos miles de euros con los que se propusieron comprar un equipo portátil de clínica dental: sillón para examen, tornos con su compresor y extractor de agua, lámpara para exploración, pequeño material para la clínica, anestésicos, esmaltes, etc. También se compraron varios centenares de cuadernos, lápices, gomas de borrar, etc., material de colegio para las visitas previstas.

A finales del año 2018 pensaron que podría ser un buen momento para hacer un viaje al Campamento de Kichwa Tempo y empezaron a hacer los contactos oportunos. Primero con el campamento, para comprobar que podían contar con su colaboración para la estancia de la familia, así como utilizar la pequeña clínica para primeras ayudas existente en el campamento. La respuesta siempre fue positiva, ofreciendo precios especiales teniendo en cuenta el objetivo y que era temporada baja, siempre que hubiera pasado el Año Nuevo.

También contactaron con el abuelo Carlos. Su hija se imaginaba la ilusión que le haría visitar la zona del Maasai-Mara, el Río Mara del que no se había perdido ni un documental desde que los ponen en la 2. El abuelo, encantado, se haría cargo de las pequeñas mientras los padres y el chico mayor trabajaban en la clínica. De esa manera se quedaría en la piscina del campamento hablando con el personal de servicio, bastante desocupado y con ganas de hablar por haber pocos huéspedes. También, si podía, hablaría con los huéspedes que se acercaran a la piscina o cualquier otro animal del interior del campamento que se acercara. Al abuelo lo que le gusta es hablar, en inglés, español, italiano o swahili. Él mismo se cubriría los gastos de viaje y estancia. Se contactó con otras instituciones que podrían facilitar y darle más contenido al viaje, como iremos relatando más adelante.

Todo parecía estar saliendo bien y que podríamos llevar a cabo la misión soñada. Nos pusimos las vacunas de la fiebre amarilla, después de convencer a los médicos encargados de que el abuelo no se había ido de la cabeza, que se creía capaz de ponerse la vacuna, viajar

hasta Kenia y mantener su tratamiento de 24 pastillas diarias para tratar de frenar los ictus, que ya le han dado, y convencerlos de que no se caería en plena sabana junto a los leones subiendo y bajando de los Jeeps con sus problemas de equilibrio.

#### EL VIAJE A MAASAI-MARA

Llegado el día 4 de enero hicimos el vuelo Barcelona-Dubai, posteriormente el Dubai-Nairobi. Allí nos alojamos en un hotel que resultó estar en la misma zona en la que, algunas semanas más tarde, hubo un terrible atentado terrorista donde se produjeron 21 muertos al atacar un edificio de oficinas y un hotel de turistas. Por fortuna, nosotros nos escapamos esta vez.

Al día siguiente, los viajeros volamos en una pequeña avioneta de hélice mientras el equipaje, que consistía en 6 maletas de 30 kg cada una y otras 6 de mano, lo hacía por carretera, para lo que necesitó unas 7 horas para llegar, haciendo un recorrido de unos 40 km.

Recepción en la pista de tierra donde aterrizamos. Allí estaba Dennis esperándonos con un refresco para darnos la bienvenida, con la correspondiente alegría de los que llegaban, y de los que esperaban en la pista, como corresponde a amigos que vuelven a verse. En resumen, el viaje resultó fenomenal llegando nosotros y la carga sin problemas, incluyendo el paso por la aduana. Aleluya.

En un momento estamos en el campamento donde nos recibe el personal cantando la célebre canción maasai de bienvenida, que las niñas se aprendieron y la hemos cantado todos los días en nuestras salidas de Safari. Dice así:

*Jambo, jambo bwana  
Habari gani, Mzuri sana  
Wageni, mwakaribishwa  
Kenya yetu  
Hakuma matata*

#### UNA EXPLOSIÓN DE VIDA Y MUERTE

La habitación del campamento consistía en una tienda de campaña decorada con austeridad, al más puro estilo colonial inglés, que contaba con los mejores materiales y detalles prácticos que hacen la vida agradable y segura en plena Naturaleza. Se podían oír, especialmente por la noche, a los monos babuinos chillando al perseguirse entre ellos.



La clínica funciona.

Fotografía cedida por el autor.

**“Ana recibió un aviso anunciándole que había conseguido un pasaje para dos personas al Campamento Kichwa Tempo, en pleno territorio de la Reserva de Maasai Mara en Kenia”.**

Por la mañana los veríamos desde la cama saltar de una rama a la otra. El rugido de un león que ha cazado una presa, a unos 50 o 60 metros de la tienda, y está luchando para que no se la quiten. La pared de la ducha es un mosquitero que sitúa al cliente en medio del bosquecillo en que se ha instalado el campamento. La concesión para la explotación turística de este campamento se hace con las correspondientes contraprestaciones de ayudas a los poblados de la región en términos de contratación de personal, asistencia sanitaria, etc.

Una vez alojados en nuestras 2 tiendas, nos acercamos a la zona de la piscina y empieza el espectáculo: la sabana inmensa está delante de nosotros, algunas acacias con sus altas copas es nuestro paisaje. Nos avisan que esas manchas que se ven a lo lejos son búfalos, jirafas; más lejos cebras y que, si nos fijamos, posiblemente podríamos ver leones que andaban por esa zona. Al poco rato dice Alejandro que se ve un león. Es cierto, se le ve con la cabeza levantada y parece que espera que se acerque una presa para saltar sobre ella. De pronto, los empleados del campamento que nos acompañan y que ya les conocían del viaje anterior, distinguen un facoquero, allí llamado "pumba" (jabalí africano), que es la comida predilecta de los leones, que va hacia el león que habíamos visto antes. Expectación, suspense, cogemos los prismáticos. Parece que se va a cruzar con el león que está muy cerca. En un momento determinado el león se levanta y empieza a correr hacia el jabalí grande. Pero falla y no lo coge. Parece que el león ha fallado la captura y la acción se acaba. Decepción porque todos sabemos que el león es el que manda en la selva pero parece que, en este caso, tenía un problema de visión, o no era muy espabilado, y se le ha escapado la comida.

Estábamos impresionados. Nada más llegar y ya hemos presenciado un momento trepidante. Por la tarde, tenemos salida de safari en el Jeep por los alrededores del campamento. Nos acompaña Dennis que tiene vista de lince para detectar leones. Además de que está todos los días por esa zona y se conoce sus costumbres. Todos los leones que vemos están tumbados y nos dice que con la tripa vacía; que llevan varios días sin comer, que así no podrán correr mucho para cazar. Pues, vaya, nos vamos a tener que preocupar de los pobres reyes de la sabana porque no comen. ¿Y qué hay de las cebras y gacelas? ¿También habrá que preocuparse de ellas? ¿Y de los discretos pumbas que, cuando salen a darse una vuelta a buscar unas raíces para comer, aparece un león y ya se ha acabado todo? ¿También tenemos que estar preocupados

► **Pumbas, la comida de los leones.**



Fotografía cedida por el autor.

por ellos? Hemos salido de nuestro país abrumados por los sorprendentes acontecimientos que allí están sucediendo todos los días y que, a veces, percibimos como grandes amenazas: cambio climático, sequías permanentes, cambios políticos a los que no estamos acostumbrados y, al llegar a Kenia, nos dicen que los leones no cazan y van a desaparecer. Y los jabalíes, que nos enteramos que los persiguen continuamente y no sabemos cómo pueden llegar a adultos. De hecho, ayer vimos a una madre con sus 4 crías, que se había colado en el campamento, y hoy solo vemos 3. Pero llegan a adultos y a tener crías a los 6 meses. Llevan así miles de años. Y si ellos desaparecieran otros animales les sustituirán. No para uno de llevarse sustos. Luego caigo en la cuenta de que esto es la lucha por la vida. Que siempre buscar comida, sobrevivir y reproducirse ha sido difícil. Hace unos 10.000 años los humanos también estábamos en esa tesitura: comer o ser comidos. Trabajar duro para alimentar a nuestras

crías. Y no teníamos grandes garras, ni cuernos para atacar, ni gran velocidad ni fuerza comparados con nuestros adversarios. Pero teníamos un poquito más cerebro que los animales que nos rodeaban y, además, podíamos hablar y, de esa manera, organizarnos, preparar estrategias, convencer al grupo y hacer que nuestras salidas de caza tuvieran más éxito. Interesante lección que entra por los ojos de manera directa.

El día siguiente sigue la aventura servida delante de nuestros ojos. Hemos encontrado un grupo de leones adultos muy ocupados mordiendo los restos de una presa: un pumba grande ha caído hoy. No todo estaba perdido. Cada león tiene un trozo grande de carne y huesos y lo defiende de verdad. No lo suelta porque se lo quitan. A veces hay dos agarrados al mismo trozo y ninguno lo suelta. Deben llevar ya un rato porque se les nota cansados, pero si uno protesta, si abre la boca, adiós trozo. Hasta mañana sin comer.

**“Caigo en la cuenta de que esto es la lucha por la vida. Que siempre buscar comida, sobrevivir y reproducirse ha sido difícil”.**



E insisto, estoy hablando de la dura vida del león, el rey. Después están las hienas que andan alrededor del grupo amenazando de tal manera que, al menor descuido, se lanzan hacia un trozo de carne que quede de lado. Y luego están los chacales, más pequeños y rápidos y también con hambre. Cuando se fueran los chacales es cuando vendrían los buitres. En cantidades abundantes y muy agresivos queriendo carne. Y, finalmente, están las moscas, que también quieren comer. Me pregunto: ¿Qué hace el Sindicato de las moscas por asegurarles una comida diaria sin que los leones, hienas, chacales, buitres se la lleven antes? ¿Cuándo vamos a conseguir un puesto mejor para comer?

Más adelante la sabana nos cuenta otra historia interesante. Hay una leona subida en un montículo oteando con mucha atención el horizonte. Los leones tienen buena vista para observar cualquier movimiento que denote una presa a la vista. No muy lejos de allí hay otra leona grande inquieta. Está próxima la puesta de sol y es un buen momento para sacar de la madriguera a las crías que tiene a su cargo. Están jugando fuera pero ella está muy atenta. Entre otras cosas porque los rangers se han avisado unos a otros y ya hay 5 co-

**“Había grupos de animales dispersos. En un lugar encontramos un grupo de cebras y, de repente, un elefante macho solo en una charca.”.**

ches alrededor de la madriguera. Incluso un Jeep de National Geographic que ayer vimos por la zona está atento a la jugada. En estas condiciones, la madre no se podrá mover y de cazar, nada. A ver si la otra puede sola, o los demás componentes del grupo, que andarán también al acecho, consiguen algo. Nos vamos porque la cosa sigue igual, pero nos vuelve a quedar la preocupación por la supervivencia en el planeta.

Y nos hacemos la pregunta: ¿Qué tiene esta parte del mundo para que se haya producido esta explosión de vida?

Una enorme llanura de buena tierra, clima suave, húmedo, donde crece buena y abundante hierba. Todo el año. Lejos de los hombres desarrollados, los que tienen rifles. Los dejamos allí un millón de años y crecen los herbívoros; los carnívoros se los comen cuando están bien gordos. Un pájaro crece y crece y se hace tan pesado que no puede volar y le crecen las patas y el cuello para que pueda escapar corriendo si ve al enemigo venir.

Cuando los hombres listos, que hablan otras lenguas diferentes a los de la zona, están a punto de acabar con los animales, los de allí, que están aprendiendo,

deciden crear un parque y que paren las muertes. A ver cómo paramos a los turistas mañana. Pero yo ya me he colado y os lo puedo contar.

Al siguiente día entramos en la Reserva de Mara hasta la frontera con Tanzania y el Serengeti. Una llanura inmensa (recorrimos unos 30 km). Había grupos de animales dispersos. En un lugar encontramos un grupo de cebras y, de repente, un elefante macho solo en una charca. Estamos haciendo fotos y Alejandro da la voz de que hay un viejo león macho tumbado casi debajo del Jeep. Ahí está, un león con una cabellera y cabeza enormes. Parece que tiene un tumor y la mandíbula rota. También tenía varias heridas procedentes de peleas anteriores. Su estómago parecía a punto de explotar. Probablemente se había comido él solito una cebra entera.

Pero, sobre todo, me impresionó la cara de dolor y agotamiento del león. Respiraba a 100/min. ¿Que quería demostrar o conseguir el león viejo y herido comiéndose él solo un animal tan grande? Es muy difícil para un león solo coger una cebra. La única manera, para mí, es que se haya puesto junto al agua y haya esperado días a que





pase el animal a pocos metros hasta que salte al cuello y lo agarre. Pero yo creo que el león está herido en la boca, y en su honor, y quiere demostrar que sigue siendo el rey. Una reacción muy humana también y no de hace 30.000 años, sino de ahora. La vida animal nos sigue enseñando comportamientos humanos.

Definitivamente no se puede dormir en Kenia. Después de vivir tantas emociones no se puede uno relajar tanto como para dormir 8 horas. Como el horario aquí es distinto, a las 8 de la noche hemos acabado de cenar. Después de mandar mensajes a tus seguidores/amigos se me mete más adrenalina en vena al repasar el día. Entonces a las 3 de la mañana se te planta la imagen del león herido y con la mirada perdida en el infinito ho-

“Ayer no vimos tantos animales sino personas de Kenia, maasais, para más señas”.

rizonte del Serengeti. A ese león, después de estas experiencias, le queda poco que hacer. En la próxima riada o sequía se queda tumbado y aparecerán las hienas a dar vueltas alrededor cada vez más cerca hasta que una más descarada le lanza un mordisco al que no puede responder al momento y entonces se tiran todas a por él. Dice Dennis, el maasai, que no le gustan las hienas porque se comen a sus víctimas todavía vivas.

Pero entonces me digo: tranquilo, que entre los sapiens la cosa es más suave. Te encuentras más protegido. Tienes muchas barreras frente a las hienas. La primera barrera es la de los que te quieren, que te van alimentar y seguir tratando como a su rey. La sociedad también nos da temas para que ahora no cacemos ni mantengamos al grupo/ tribu/ harén solo sobre nuestra responsabilidad. El inserto, el bingo, las obras en las calles; los periódicos, el dominó y el guiñote después de comer. Bueno, menos mal que en Kenia he visto claro que ya no estamos en la selva, y puedo vivir más tranquilo. Pero por las noches nos pasan todas estas imágenes y, al rumiarlas, vuelves a pasarlas por tu vida y te sientes vivo, excitado y con la batería cargada para el nuevo día. Pero antes hay que dar otra cabezada.

Ayer no vimos tantos animales sino personas de Kenia, maasais, para más señas. Tuvimos que recorrer unos 25-30 km en el jeep del campamento por carreteras que en buena parte se han hecho pasando los coches por medio del campo. Hay piedras, hondonadas provocadas por las lluvias. En esos sitios se da un rodeo por medio del campo y se sigue. En otros sitios el estado de Kenia ha levantado un poco la carretera, ha cavado una zanja a cada lado para que el agua corra por los lados. Tardamos unas 2,5 horas en llegar. Nos cruzamos con muchas motos que llevan un hombre y dos niños; un hombre, un niño y una cabra; un hombre, una señora y un niño. Unos con casco y otros sin él. Es gracioso ver al conductor de la moto con un casco amarillo muy ajustado y poco espacio de visera. Ves un casco grande con una cara negrita que no cabe en el casco montado en una moto. Cara de preocupación porque el de la moto tiene que cruzarse con el coche al tiempo que evita las piedras y los hoyos del camino. En el camino pasamos por lo que Dennis llama un “Centro Comercial”. Literalmente.



**Transporte familiar (arriba) y centro comercial (abajo).**

Por fin llegamos al pueblo de Dennis. Primero vamos a un mercado de vacas porque Gustavo quiere hacer una pequeña inversión ganadera en Kenia con Dennis. Mientras ellos examinan las vacas y hablan con posibles



Fotografías cedidas por el autor.

vendedores, Ana contacta con una niña de ojos enormes y cara sonriente. Se llama Miriam y hay otro niño, muy tímido, a los que les regala un cuaderno y lápices de colores. Debajo del mismo árbol que nos da cobijo hay un grupo de gente local. Nos observan con curiosidad. Sobre todos los niños porque, posiblemente, son los primeros niños blancos que ven. Por lo menos de cerca. Los mayores nos ven con confianza y no les preocupa que se acerquen a nosotros. Los hombres están sentados en unos tabloncitos a los que les han puesto un clavo para sujetar lo que pretende ser una pata del banco. De pronto el banco se descuajeringa (los hombres kenianos son delgados pero también pesan). Se van los hombres tranquilamente y vienen las mujeres a arreglar el banco. Miran la puntilla medio doblada para ver cómo la pueden volver a clavar en la pata. Y, al final, dándole con una piedra, la cosa vuelve a estar como al principio. Y es cuando vuelven los hombres y ellas siguen sacando tazas con una leche muy espesa y unos panes

chapatis, y lo reparten a los hombres. Lo operación ganadera termina bien y ahora Gustavo tiene dos vacas en Kenia que Dennis le cuidará hasta que se vendan dentro de unos meses más grandes y gordas. Con lo ganado podrán comprar 4 y luego 16 y después 100. Y después Gustavo, que se habrá convertido en un ricachón, se presentará a gobernador de los maasais. Después de comprar las dos vacas, nos fuimos a ver una escuela que lleva una fundación española de mujeres con la que había contactado Ana. Tras hablar con el responsable de la escuela, fuimos, clase por clase, hablando con las profesoras y viendo a los niños que iban desde dos o tres años hasta los 10. Las profesoras contaron lo que hacían y luego repartieron cepillos de dientes y pasta, cuadernos, lápices y bolígrafos, gomas. En las fotos se puede observar las caras de los niños y los vestidos, todos ellos muy limpios, aunque se nota que no los pueden reponer fácilmente y algunos tienen unos agujeros bastante amplios. Pero, afortunadamente no hace frío.



Escuela maasai y sus principios.

Pero quizá el momento más emotivo de esta visita lo pusieron las chicas más pequeñas Mara y Daniela, a las que les apasiona bailar y las coreografías y que, una vez que habíamos terminado la visita, se les ocurrió utilizar los teléfonos móviles para poner música latina, conectándolo a un altavoz portátil y sacar a los chicos y chicas a bailar. Todos sabían lo que era eso y se las manejan bien intentando llevar el ritmo. Algunos, especialmente chicos, eran tímidos y se les veía con ganas, pero no se atrevían a salir. A uno lo sacó Daniela y bailó un rato, pero se volvió a sentar. Al rato se le seguía viendo la carita de ganas de salir. Lo sacó de nuevo y ahora se explayó. Estaban felices. Gustavo propuso hacer un concurso y darle un premio de balón de fútbol al mejor chico y una caja grande de colores a la chica que baila mejor. Recordarán ese día mucho tiempo.

Por la tarde completamos el recorrido propuesto que consistía en visitar un poblado maasai, concretamente, en el que vive Dennis con su familia, compuesta por su mujer y tres hijos, su madre, hermana y hermano y otros familiares.

La casa consiste en una construcción relativamente reciente, comparada con el resto. Es una habitación pequeña con la puerta, solo una ventana pequeñísima de 25x25 cm y dos habitaciones a los lados, como

dormitorios. Nos ofrecen una taza de té con leche que tomamos con la familia. Luego repartimos regalos de material escolar y ropa, que habíamos traído de España, entre el gran número de personas de todas las edades que se han congregado fuera de la casa. Gran excitación, ojos como platos en los niños cuando ven los regalos. Caras bonitas de las mujeres jóvenes con sus niños colgados en su cadera.

Luego nos confesaría Dennis que su familia se había sentido como si estuvieran tocando el cielo. Una experiencia para vivirla.



Mercado de las vacas.

Fotografías cedidas por el autor.



**PROGRAMA DE AYUDA DENTAL  
"UNA SONRISA EN KENIA"**

Pero tenemos que hablar de la misión humanitaria que hemos venido a hacer en Kenia. Desde el primer día, en cuanto llegó el equipaje con el material, Ana, Gustavo y Alejandro se pusieron a organizar lo que sería la Clínica dental de Kichwa Tempo. Un barracón en la parte de atrás del campamento donde, en unos 10 m<sup>2</sup>, está amontonado el poco material disponible. Hacen lo que pueden y colocan el material. Casi no tienen tiempo de probarlo, pero parece que funciona.

A las 7:30 de la mañana del día siguiente Ana, Gustavo y Alejandro se dirigen a la clínica para tratar a los trabajadores del campamento que tengan problemas dentales. Ya están esperando los primeros pacientes. Es necesario ajustarse a las dificultades del poco espacio y al equipo improvisado de que disponen, pero las condiciones de trabajo son las que son. Yo visité la clínica en esta primera fase para ver cómo se estaba desarrollando todo, y tengo que decir que me quedé bastante deprimido pensando: ¿Cómo pretenden llevar a cabo una labor de higiene dental en estas condiciones? ¿Cómo es posible que no reconozcan, con toda

la frustración posible, que se han equivocado, que era una locura, que no pueden hacer la labor que pretendían llevar a cabo en estas precarias condiciones? Pero no. Gustavo va sorteando los obstáculos con una tranquilidad increíble. Nadie se pone nervioso ni comienza a dar voces. Los pacientes abren la boca, nadie se queja y salen con cara feliz. Es extraordinario ver cómo se miran en el espejo sorprendidos cuando Gustavo, de la nada, se fabrica un diente y reconstruye lo imposible. Yo creo que el impulso que los mueve, la única razón por la que son capaces de seguir adelante, es que son jóvenes y soñadores. Que han puesto mucha ilusión en el proyecto y no se van a rendir. Alejandro está aprendiendo de sus padres y nos sorprende nuevamente a todos con su buena disposición. Este chico está hecho de buena pasta. Han formado un equipo. Gustavo, Alejandro y Ana con los pacientes. Mara enseña español, Daniela reparte los cepillos y pastas dentales y hasta el abuelo no ha querido perderse nada y observa orgulloso desde su silla pensando cómo es posible que tenga la tremenda fortuna de vivir esta extraordinaria experiencia: vivir el ejemplo que le están enseñando estos padres a sus hijos y cómo les puede influir en sus vidas. Si hoy día nos quejamos de que los jóvenes lo tienen todo fácil y han perdido el significado de esfuerzo, estos chicos lo están viviendo y comprueban, en las sonrisas de estas personas sencillas, el resultado de ese esfuerzo.



**“Gran excitación, ojos como platos en los niños cuando ven los regalos”.**

Cada día empiezan a las 7:30 de la mañana y van resolviendo los problemas que van apareciendo. Los primeros días no ocurre nada digno de mencionarse. Pero, al tercero surge una complicación que nos avisa de los problemas que nos amenazan. Es Simon, una persona importante de aquí, ya que es el coordinador de Africa Foundation con quien hemos colaborado en este proyecto y del que más adelante os contaré algo más. El problema es una muela del juicio que le provoca mucho dolor. Se comienza la extracción y empiezan las complicaciones. Lo que en una clínica tendría una solución larga y penosa, en Kenia, con unos equipos muy inferiores a los habituales en las clínicas dentales, con instrumental reducido, con más de diez personas esperando en la puerta, la cirugía de una muela del juicio complicada puede hacer perder los nervios. Pero el "Daktari" (doctor en swahili) Gustavo vuelve a sorprendernos con su increíble habilidad para darle solución a todo lo que se lo ponga por delante. Simon se va exhausto pero con su problema solucionado. Aunque ha sido una victoria, nos deja el ánimo tocado ya que, por primera vez, somos conscientes de que una complicación mal resuelta puede tener consecuencias serias.



**La escuela (arriba)  
y bellezas Maasais  
(abajo).**

Fotografías cedidas por el autor.

Pero esta no es la única complicación. Cuando llevan cinco horas de trabajo, en una mañana llena de dificultades, el motor de la aspiración se invierte y en vez de succionar comienza a expulsar el agua. ¿Qué se puede hacer? Hay que seguir, no podemos quedarnos parados. Mientras buscan al "ingeniero", así lo llaman pero nadie sabe quién es, se seleccionan los casos que no necesitan mucha aspiración y se sigue. Como escupidera, un vaso de plástico. Se atienden varios pacientes más en esas condiciones. Es tiempo de trabajar en otro sentido, el humano. Es tiempo de compartir con la gente, conversar, reír, aprender.

Dejaré que sea Ana la que os cuente cómo transcurrió el último día en la clínica. Transmite la experiencia en directo en su página de facebook.

Comenzamos temprano. Es nuestro último día para poder atender a la gente aquí y nos avisan de que la comunidad Maasai se está desplazando para vernos porque les han informado de nuestra labor. La mañana transcurre a buen ritmo. La odontología que estamos realizando aquí

consiste principalmente en intentar salvar dientes con caries, extracciones y problemas del esmalte con manchas de color marrón en prácticamente la totalidad del diente. Aunque ellos por naturaleza tienen buena dentadura, la escasez de medios hace que veamos casos realmente complicados en los que ya llegamos demasiado tarde para salvar lo que debió de ser una preciosa sonrisa. Debemos tener extremo cuidado con agujas y contacto con sangre para evitar infecciones.

Los habitantes de los pueblos de alrededor llegan caminando y van tomando asiento en nuestra sala de espera mientras suena Pablo Alborán en el altavoz. La escena me resulta curiosa y se me ocurre que, al volver, podría mandar el vídeo de esta sala de espera estilo maasai a Pablo para que vea hasta dónde llega su música. Quién sabe... Y si le parece curiosa la escena, se interesa por el proyecto, le gusta, nos ayuda y le da difusión, mucha gente nos ayuda... "pásame un algodón". Me había ido un momento al país de los sueños, donde se fabrican historias como la nuestra que comienzan con un ¿Y si...? En Colombia dirían ¿Qué tal que...?



La sala de espera.

Fotografías cedidas por el autor.

#### ▲ Sonrisas después del tratamiento.

sonal del campamento que me saludan sonrientes. No consigo recordar a cuáles hemos atendido, han sido tantas caras... Pero cuando paso por un grupo de hombres y saludo, uno de ellos dice ¡Jambo! (hola en suajili) de una manera tan efusiva que me giro a saludarle y él, extra sonriente, se señala su dentadura con los dedos como diciendo "¡eh, soy yo! ¡El de las palas partidas que ahora tengo completas!" Bueno, eso no lo dice pero su gesto sí. Y la felicidad del hombre dice todo lo demás. ¡Jambo! Contesto yo y me da una risa interna, externa, intramuscular e intravenosa.

La maratón transcurre con normalidad: se va la luz varias veces, la aspiración se atasca, el motor se recalienta... una jornada tranquila. Y es tranquila porque nuestra sensación es de estar haciéndolo bien y estar haciendo un bien. Y me refiero a haciéndolo bien a que a cada persona se le soluciona el o los principales problemas dentales de una manera efectiva sin detenernos en "pequeñas cositas" porque el tiempo es muy escaso. En un receso, mientras esperamos a que vuelva la luz, voy al baño. En el camino me voy cruzando con mucho per-

Llega al último tercio de la carrera y varias mujeres maasai han llegado por fin, tras el largo camino, con sus hijos para vernos. La clínica se llena de colorido por las ropas de las mujeres. Los niños tienen el miedo en la mirada y polvo en la ropa. Somos blancos, con trajes maasais blancos, cosas verdes tapándose las bocas y con instrumentos raros alrededor de una cama más rara. Lo entiendo. Yo estaría temblando. Pero ellos están hechos de otro material. Tengo que decir que ningún niño ha llorado en nuestro sillón, ninguno. A la mayoría hemos tenido que hacerles extracciones y aunque les temblaba el cuerpo no hemos oído ni una sola queja de dolor, incomodidad,

*molestia... nada. Sus ojos miran diferente, como de una manera más limpia aunque están amarillos. El doctor dice que es por el polvo. Una niña de unos 8 años que ha venido sin sus papás, lleva un vestido que hace tiempo debió ser elegante, como un traje de domingo, pero ahora es un vestido de lunes, martes, miércoles, jueves... Tumbada en la camilla, con la cara más linda y más triste que he visto en este viaje, me busca todo el tiempo con la mirada durante la extracción de su diente, como sintiendo ese consuelo que nuestros hijos encuentran en las mamás y solamente en las mamás. Yo le doy la mano, le acaricio, le hablo y ella me sigue mirando con esos ojitos tristes. Por esto tenemos que volver. No hay más.*

*Llevamos nueve horas atendiendo y Gustavo está exhausto. No hemos comido desde el desayuno y no podemos más. Yegon nos ha ido trayendo bebidas pero no podemos parar a comer. El último sprint y ya vemos la meta. Hasta Dennis nos ayuda a limpiar el material para esterilizar. Terminamos con una mujer maasai y todo el equipo nos abrazamos. We did it!*

*Han pasado muchas más cosas bonitas hoy pero quiero dejarlo aquí porque siento que era día de resaltar el trabajo dental realizado. Mañana tendré que contaros cómo Yegon y Dennis nos han llevado en jeep, en plena noche por la sabana. Cómo llevándonos hacia unos árboles nos han pedido silencio porque en esa zona vive una pitón y quieren que la veamos. Lo único que alcanzamos a ver es lo que iluminan los faros del jeep. También tendré que contaros cómo, aguantando la respiración, nos adentramos con el coche entre los arbustos casi arañándonos los brazos cuando sentimos que no estamos solos. Pero eso tendrá que ser mañana porque hoy hablábamos de otra cosa.*

Para el último día de nuestra estancia en el campamento, Simon nos ha preparado una visita al que será el futuro centro médico de Emurototo, en una colina a unos pocos kilómetros del campamento de Kichwa Tempo. Allí nos encontramos los inicios de unas muy modestas construcciones que, nos dice Simon, el Gobierno de Kenia puso en marcha unos meses antes. El presupuesto era escaso limitándose a la preparación de un pequeño solar, de unos 50 m<sup>2</sup>, alrededor del cual habían colocado unas piedras, talladas a modo de sillares que serían los futuros muros de la construcción. Pero el dinero se acabó pronto y se paró la construcción hasta nuevo aviso. Mientras tanto, la Africa Foundation, de la que Simon es su representante regional, junto con la empresa &Beyond y el Gobierno de Kenia, apostaron por continuar la construcción de la clínica. En este caso el solar era bastante mayor (unos 300 m<sup>2</sup>) y ya se podía

ver el espacio que estaba destinado a la clínica dental. Nos aseguró Simon que, en tres meses, la construcción se habría acabado y ya se podrían montar los equipos para utilizarla. Creo que poder realizar esta visita fue una magnífica oportunidad porque, de esta manera, la Fundación tendría ocasión de conocer en persona a los promotores del proyecto "Una sonrisa en Kenia" y oírles de ellos su disposición a llevar adelante esa iniciativa de dotar esas clínicas de equipos, para la atención sanitaria dental de la población nativa de ese territorio. Por otra parte, Ana y Gustavo han visto cómo está la situación: van a disponer, en unos pocos meses, de un espacio destinado a clínica dental quedando a la espera de que ellos proporcionaran el equipo y material para su puesta en marcha. Incluso Ana y Gustavo se comprometieron, también, a dotar la clínica de una ambulancia que pudiera acercar a los pacientes que se encontraran

**“Para el último día de nuestra estancia en el campamento, Simon nos ha preparado una visita al que será el futuro centro médico de Saimoto”.**



►  
**Simon y los cimientos de la futura clínica.**



“Llenamos las maletas con muchas menos cosas de las que trajimos, pero nos llevamos muchas más en nuestros corazones y nuestras mentes”.

lejos de esas instalaciones. Tuvieron, también, ocasión de conocer el compromiso que el gobierno ha asumido de contratar a un profesional dentista para tener esa clínica abierta todo el año y, de esa manera a la población maasai luciendo, de manera permanente, una brillante sonrisa.

Al día siguiente llenamos las maletas con muchas menos cosas de las que trajimos, pero nos llevamos muchas más en nuestros corazones y nuestras mentes. La Naturaleza nos ha dado en estos pocos días una lección de supervivencia, al mismo tiempo que nos ha presentado delante mismo de nuestros ojos la alegría de estos niños de ojos enormes, y llenos de moscas, que les brillan cuando ven que alguien les ofrece un regalo que parece venir de otro mundo. Les hace la misma ilusión recibir un cuaderno que a nuestros hijos o nietos, los muchos regalos estupendos que les llega en sus cumpleaños. Se puede uno hacer la pregunta: ¿Se puede ser feliz en estas condiciones? Al fin y al cabo la felicidad, que tanto nos preocupa a los que vivimos en una sociedad acomodada, y tan poco a estas personas, con necesidades perentorias cada día, es una sensación placentera y pasajera

que se siente cuando uno cree que va a conseguir algo que desea. Ese deseo puede ser el de un maasai, que ha comprado una buena vaca en el mercado del pueblo creyendo que va a ganar un buen dinero cuando la venda y, además, tendrá leche durante ese tiempo. Pero también puede ser el deseo de un profesional con éxito en nuestra ciudad, que se compra un magnífico Lexus automático con todos los extras. O un vecino del maasai que, por fin, ha podido construirse una casa de adobe con techo de chapa, comparado con nuestro amigo del colegio, al que le va muy bien su negocio y se ha mandado construir un chalet con 500 m<sup>2</sup> de jardín y una piscina. Estoy seguro que esas dos personas son igualmente felices y que, además, esa sensación les durará a ambos un tiempo parecido. Lo que sí es importante es que las circunstancias en las que viven los dos sean adecuadas para que ambas puedan pensar, crean que, esforzándose, lo podrán conseguir. Nosotros debemos trabajar para ayudarles a que se den esas circunstancias. Por eso, cuando contamos esta historia a nuestros familiares o amigos, se entusiasman porque ven que ayudar a personas necesitadas es posible. Que si hacen una aportación va a llegar a esa gente de su parte y habrán realizado una buena acción.

Como nota final podría incluir el mensaje que Carolina Herrera le mandó a Ana en respuesta al que le envió ella, contándole lo que había ocurrido después de que se otorgara el premio del perfume África:

*Querida Ana!*

*Vuestra historia me llena de emoción, ilusión y esperanza, a parte de sentir que, si hay la posibilidad de que pase algo así con la venta de un perfume, ya con esa sola venta 20 años de trabajo valen la pena. Qué bonita historia y qué maravilla de familia.*

*Yo te entiendo. África es un lugar que se te mete adentro del cuerpo. Me pasó a mi la primera vez que fui, en 1997. Voy a compartir vuestra historia, meterme en la web de 'Una Sonrisa en Kenia' y cuando vuelva a Kenia te avisaré para ir a visitar el hospital con mis niños.*

*Enhorabuena por tener un corazón tan generoso y lograr un proyecto tan bonito.*

*Un abrazo, Carolina*

Y por último, a la vuelta del viaje, escribo estas líneas para compartir con los lectores esta magnífica aventura, y decirles que nuestro paso por la vida debe dejar un reguero que pueda servir de guía y estímulo a los que vienen detrás. Entonces creo que nos quedará la satisfacción de haber podido vivir acordes a nuestras creencias (para más información acerca del proyecto, visitar [www.unasonrisaenkenia.es](http://www.unasonrisaenkenia.es)).

Carlos Gómez-Moreno  
Dpto. de Bioquímica y Biología Molecular y Celular  
Facultad de Ciencias  
Universidad de Zaragoza

# El valor oculto del patrimonio frutal. De la biodiversidad a la gastronomía

Algunos frutales locales se localizan en zonas adversas donde algunas de las variedades que actualmente se cultivan no podrían desarrollarse. En la montaña, el hombre tenía que aprovechar íntegramente todos los recursos disponibles para satisfacer las necesidades de las grandes densidades demográficas, haciendo que las tierras de cultivo se encontraran ocupando todo tipo de terrenos para el cultivo de una agricultura completa.

Pilar Errea Abad y José González Bonillo





Los huertos abandonados están sufriendo un proceso de recolonización por vegetación natural y el material frutícola allí existente se encuentra en fase de desaparición rápida por el abandono y falta de cuidados, así como por la finalización de su vida. Entre los árboles que subsisten en estado crítico se pueden encontrar: ciruelos, nogales, manzanos, cerezos, almendros, perales, avellanos, higueras en condiciones extremas.

Fotografía cedida por el autor.

**H**ubo un tiempo en que en las zonas rurales, y especialmente en la montaña, la necesidad de abastecer a una importante densidad de población hacía necesario el aprovechamiento de todos los recursos disponibles. Había que obtener la mayor parte de los alimentos en la propia montaña y sus valles y esta necesidad, de más alimentos para hacer frente al incremento demográfico, solo podía resolverse mediante la ampliación del espacio agrícola y su utilización, lo que hace que la huella del hombre, a lo largo de la historia, se encuentre en una gran diversidad de territorios.

La vinculación entre la productividad del espacio agrícola y la necesidad de abastecer a la población se refleja de un modo singular en las zonas de montaña, muchas de ellas ahora abandonadas. Se trataba de una agricultura no rica pero sí completa, donde podrían encontrarse diferentes tipos de cereales, frutas, hortalizas, viñedo

y cultivos forrajeros con los que se intentaba cubrir todas las épocas del año. Había que intentar conseguir el autoabastecimiento y reducir al máximo la importación de productos, además de la necesidad de utilizar el suelo de acuerdo con su potencial edáfico e hídrico y con una utilización diversificada del espacio apropiado a cada caso.

Fruto de esta gestión es lo que ahora nos encontramos en numerosos pequeños núcleos de población de las montañas de Aragón, donde los huertos constituían una base importante de su subsistencia. Especies y variedades tradicionales establecidas en sistemas primitivos de agricultura, bien adaptados a su medio ambiente, y a las condiciones culturales y económicas de la época, y en equilibrio con su medio. La selección efectuada por los agricultores en sus huertos familiares durante generaciones ha dado lugar a una gran diversidad de material vegetal de calidad, que constituye un gran pa-

trimonio genético. Si nos centramos en los frutales, su disposición en el paisaje reflejaba un uso minucioso del suelo y raramente ocupaban parcelas completas. Casi siempre aparecían y aparecen diseminados por los márgenes de los campos de regadío, con el fin de aprovechar los posibles riegos de los cultivos en el campo, de no dificultar el laboreo en el suelo y de no retrasar con su sombra el crecimiento de dichos cultivos.

#### DESPOBLACIÓN Y CAMBIOS EN LA AGRICULTURA

Pero a mediados del siglo pasado, un importante proceso migratorio tuvo lugar en todas las zonas montañosas de la mitad norte peninsular, con pérdidas demográficas que en ocasiones representaron más del 75% de la población de principios de siglo, con un importante movimiento de su población hacia las zonas urbanas, y el consiguiente abandono del espacio agrícola. La provincia de Huesca fue una de las que mayores abandonos

de sus pueblos sufrió de toda España, lo que supuso para las montañas del Pirineo aragonés un intenso proceso de contracción del espacio agrícola y una pérdida de la superficie cultivada del 70 %. Esto hizo que el patrimonio vegetal, y en concreto el frutal, se dejara en estado de abandono, a pesar de albergar importantes ejemplares que tuvieron un señalado significado agrícola no hace tantos años.

Paralelamente a la despoblación surgida en estas zonas, el mundo de la agricultura también sufrió importantes cambios, y las zonas de montaña debían adaptarse. Los habitantes que permanecen en ellas se encuentran desfavorecidos con respecto a los del llano, y esto produce sus consecuencias; por un lado hay que compensar la disminución de la presión demográfica sin bajar la producción, lo cual pasa por la utilización de siste-

mas extensivos que reduzcan la inversión de trabajo y aumenten los rendimientos. Por otro lado, hay que aprovechar aquellos espacios fértiles que admiten la mecanización y, en consecuencia, se deben abandonar los campos que no son adecuados. Se estimula la especialización de la producción, se introducen variedades genéticamente mejoradas en origen, todo ello para producir un incremento de la productividad. Esto condiciona la agricultura con profundos cambios, entre ellos la sustitución de cultivos tradicionales por otros mejorados de orígenes diversos que rentabilicen las producciones, haciendo que algunos cultivos tradicionales de la montaña, que cumplían un papel fundamental en un sistema de casi autoabastecimiento, no tengan ahora sentido pues son poco competitivos en un mercado abierto. Su productividad, y a veces su calidad, es más baja que la obtenida en espacios más favorables, más alejados del

límite ecológico. Esto ha hecho peligrar la conservación de muchas variedades, en especial las autóctonas, ante la implantación de variedades procedentes de programas de mejora extranjeros. Este fenómeno, común en casi todos los países europeos, ha provocado la preocupación ante la posibilidad de la desaparición de muchas variedades tradicionales, ya que éstas representan un patrimonio genético de gran valor.

Sin embargo, en la actualidad, las tendencias de la fruticultura apuestan por objetivos que difieren mucho de los que nos encontrábamos hace unas décadas. Los excedentes de producción en muchos casos, la búsqueda de sistemas sostenibles que garanticen la calidad de los alimentos, la adaptación de cultivares a determinadas zonas, hace que se vuelva la mirada hacia aquellos materiales que pueden ser una fuente de materia prima para estas nuevas estrategias. También referido a la salud, la creciente demanda de los consumidores, por alimentos más saludables, está provocando el interés por la presencia en los alimentos de compuestos bioactivos y, entre la diversidad genética de estas variedades tradicionales, es posible encontrar diferencias en el contenido en compuestos fisicoquímicos, con respecto a las variedades comerciales.

#### BIODIVERSIDAD PARA UNA NUEVA GASTRONOMÍA

Esta adaptación de las variedades locales a diferentes condiciones agroclimáticas de cultivo, a veces condiciones extremas, ha sido posible gracias a la diversidad genética existente dentro de ellas. La combinación de la acción del hombre por las distintas prácticas agrícolas utilizadas, y de la selección natural ante condiciones diversas de clima, suelo, vegetación y otros factores ambientales, ha dado como resultado la existencia de una diversidad vegetal constituida por un enorme número de variedades y genotipos locales, caracterizados por su adaptación a las necesidades humanas y al medio ambiente. En estas variedades locales se encuentran valiosas combinaciones de genes que han sido seleccionados por los agricultores después de un largo proceso de cultivo, y por la naturaleza, por su adaptación, productividad o resistencia a diferentes estreses.

En términos generales, la pérdida de variabilidad genética supone una limitación de la capacidad de responder a nuevas necesidades y un incremento de la vulnerabilidad de nuestros cultivos frente a cambios ambientales o aparición de nuevas plagas o enfermedades. Como dato, en la actualidad solo 150 cultivos alimentan a la

mayor parte de la población mundial, y únicamente 12 de ellos proporcionan el 80 por ciento de los alimentos procedentes de las plantas. Las variedades tradicionales, con las valiosas combinaciones de genes que contienen, así como de poblaciones silvestres de plantas, son sin duda fuentes potenciales de genes de interés, y su pérdida produce un empobrecimiento irrecuperable del patrimonio genético que es necesario preservar.

Es de reseñar que estamos viviendo una suerte de paradoja, como señala Carlo Petrini en su obra "Bueno, Limpio y Justo", y que esta podría ser una respuesta al paso de los tiempos, dado que está por ver el desenlace del actual sistema económico imperante. Este interés por la recuperación de la diversidad genética, y su inclusión en economías locales, no es precisamente algo novedoso y no en todos los lugares se ha seguido un desarrollo



◀ **Conjunto frutales locales que muestra la diversidad existente.**

Fotografía cedida por el autor.

**“La pérdida de variabilidad genética supone una limitación de la capacidad de responder a nuevas necesidades y un incremento de la vulnerabilidad de nuestros cultivos frente a cambios ambientales”.**



Diversidad varietal en extractos de manzana.

como el que vivimos en nuestro entorno. Hay lugares donde la persistencia de la economía agrícola, y una civilización rural, ha podido trasladar la imagen de visión poco moderna o de escasa riqueza. Y, sin embargo, en estos lugares se ha desarrollado una serie de procesos a tener en cuenta, como la conservación de las raíces locales, su cultura, la conservación de su biodiversidad, y donde se siguen manteniendo producciones sostenibles, a la vez que se conservan el entorno y los paisajes, y todo ello con un resultado interesante. La sostenibilidad y la práctica de una agricultura ecológica son términos que van implícitamente ligados a las variedades locales. Estas prácticas agrícolas, que implican la baja o nula aplicación de insumos, tendrán mejor resultado si los cultivos están adaptados a ciertas condiciones de

cultivo y presentan una respuesta favorable a esta falta de fitoquímicos. La diversidad existente en muchas de estas variedades y su natural adaptación son reconocidas en estas prácticas agrícolas.

La conformación de las denominadas comunidades del alimento, en el que este es el centro de las economías familiares como actividad productora, empresarial, y en consonancia con la cultura, la historia y la naturaleza, ha generado un producto que ha suscitado el interés de la población. Recuperando con ello límites que nunca debieron de abandonarse, referidos a la alimentación y su necesaria centralidad con la naturaleza en la vida del hombre, en contraposición a lo que cada vez más soportamos a través de los mercados macroeconómi-



Fotografías cedidas por el autor.

▲  
**No solo el producto fresco, también la transformación de estos productos diferenciados tienen su nicho en los mercados de proximidad.**

cos como única referencia. Abordar el producto con su singularidad, conociendo la demanda en una sociedad cada vez más inclinada a valorar la calidad y la salud en lo agroalimentario, a la vez que se fija población en el entorno en el que se producen, son tendencias (ejemplos) cada más numerosas y gratificantes social y económicamente hablando.

Hoy aceptamos que la gastronomía es el conocimiento razonado de todo aquello que se refiere al hombre referido a su alimentación. Pero el sistema agroalimentario no solo va referido a la propia materia prima, al producto, sino que engloba aspectos tan directamente vinculados a la economía y al entorno social como es lo referido a los canales de distribución, la transformación del producto e incluso el propio acceso a ellos. Los mercados locales de proximidad suponen el cierre del círculo económico en el valor de estos recursos agroalimentarios. Bajo el paraguas de la diversidad y la descentralización, viene a ser el lugar de encuentro, de

**“En la actualidad, las tendencias de la fruticultura apuestan por objetivos que difieren mucho de los que nos encontrábamos hace unas décadas”.**

intercambio, de abastecimiento para el consumidor, el lugar donde informarse con los productores, y estos de los consumidores. El lugar donde aprendemos de los ciclos de la vida, de la tierra, los productos de temporada. Donde aprendemos y colaboramos con hacer un mundo más respetuoso con el medio ambiente desde la sostenibilidad, dado que consumimos productos cercanos, contribuyentes a aumentar la eficiencia de los recursos y la energía. Realmente para nosotros el aspecto fundamental es que todo ello nos lleva a incrementar las economías locales. No podemos dejar que el libre mercado excluya a los más débiles de la cadena. Fórmulas como las economías de consumo comienzan a adquirir un papel significativo. Debemos recuperar la lógica de la economía social.

Un ejemplo representativo de la viabilidad de estas prácticas agrícolas y su salida a través de los mercados locales es el caso de los "Farmer's markets" del Reino Unido. Estudios llevados a cabo en 18 mercados del sureste de Inglaterra concluyen que estos mejoran los ingresos de los productores, apoyan a la agricultura familiar, mantienen empleos y población en el entorno rural, abren nuevas oportunidades empresariales. Además, favorecen la producción de alimentos, en armonía con el medio ambiente, y favorecen el contacto directo de los agricultores con el consumidor, que valora una información alternativa sobre los alimentos que va a consumir.

En nuestro país, la experiencia de Sareko es también un ejemplo de red de productores ecológicos locales. Aquí, los productores ecológicos de Donostialdea, ofrecen y distribuyen sus productos de forma colectiva a restaurantes. Antes de que esta iniciativa se pusiera en marcha, se realizó para un diagnóstico del sector agroecológico, en el que también se abordaran estrategias para impulsar circuitos cortos de comercialización a través de la restauración colectiva. Así se creó una red que vinculaba el sector agroecológico rural con un conjunto de restaurantes interesados en incorporar productos agrarios locales y ecológicos. A partir de este paso en tres fases se creó Sareko: Primero la conformación de un grupo de productores, una segunda fase, en la que se contactó con el sector hostelero, y por último la creación de herramientas de comunicación, fomentando relaciones de confianza entre productores, restaurantes y consumidores.

En fruta autóctona, experiencias que ya se desarrollan en La sierra de Guara, Valle de Belsué, en Valle de Tena, provincia de Teruel... apostando por la producción de frutales con proyectos de investigación aplicada, o en la Comarca del Sobrarbe, proyecto avanzado donde en colaboración con la Comarca y el IAF, productores locales ya producen fruta que, a través de circuito de proximidad, llega a los consumidores locales, restaurantes, repostería... un ejemplo de marca, singularidad y vinculación con el territorio.



Foto cedida por Ismael Ferrer

▲  
**Riqueza de variabilidad de legumbres en nuestro territorio. Fuente excelente de proteína vegetal.**

heladas o, cuando menos, les ha hecho merecedores de sobrevivir después de muchos años; adaptación a unas condiciones particulares en muchos casos extremas de frío, falta de cuidados, falta de riego... Todo ello hace que merezca la pena evaluar estos ejemplares y valorar todo el potencial agronómico para su aprovechamiento en los actuales sistemas productivos.

En definitiva, se trata del peso en la economía que la gastronomía y la diversidad representan. Nuestro país es un ejemplo, pero el inicio de este recorrido con éxito ha sido gracias al respeto a formas de vida que han sabido mantener toda esta biodiversidad, guardada preciosamente en muchas de nuestras frutas recuperadas, en forma de sabores, aromas, texturas... para dar valor, a través de nuestros sentidos, a nuevas gastronomías en las que la fusión de Ciencia y Producto desarrollan el mejor saber de cada una de ellas. Un ejemplo a seguir de Ciencia Aplicada.

Necesitamos practicar una nueva forma de mirar nuestra realidad alimentaria, en lo que a producción y consumo se refiere, sin dejar de lado nuestra cultura alrededor del alimento, evaluar e interpretar los recursos existentes gracias a una generosa biodiversidad dada y con la obligación ética de mantenerla.

**CONCLUSIONES**

Nos hemos centrado en el significado de recuperar una parte de la diversidad agroalimentaria, centrada en aquellos materiales frutales que, teniendo un valor singular por sus condiciones de cultivo, puedan representar un valor genético aprovechable en los sistemas agrícolas actuales. La mayoría de ellos se han conservado ahí por alguna característica que les hizo posible su cultivo; épocas de maduración diferentes, capacidad de conservación, resistencia a enfermedades, resistencia a

En un planeta, en el que es posible alcanzar los rincones más remotos en avión, y donde las comunicaciones acortan las distancias entre las personas, los seres humanos, nosotros, estamos olvidando o perdiendo, al igual que le pasa al planeta con la biodiversidad, algunas escenas placenteras tan sencillas como preparar la cena para la familia, tomar un vaso de vino en casa, producido por nuestro vecino, recoger fruta y verdura en el huerto.

Pilar Errea Abad<sup>1</sup> y José González Bonillo<sup>2</sup>  
Unidad Hortofruticultura. CITA-IA2 (1)  
Fundación Grande Covian (2)



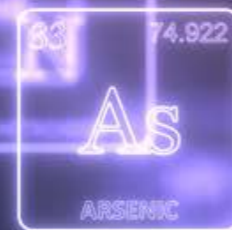
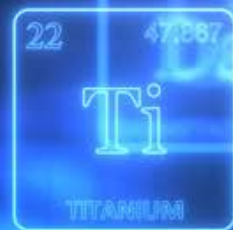
◀  
**Productos transformados en mercado de proximidad.**

Fotografía cedida por el autor.

# Mitología, cultura y arte en la tabla periódica de los elementos químicos

“La tabla periódica es un hallazgo múltiple, colectivo y, en ocasiones, simultáneo. Ha habido un gran número de científicos que han colaborado a esta magna obra”.

Pascual Román Polo





◀ Sello emitido por Correos de España para homenajear a los científicos que descubrieron los elementos vanadio, wolframio y platino.

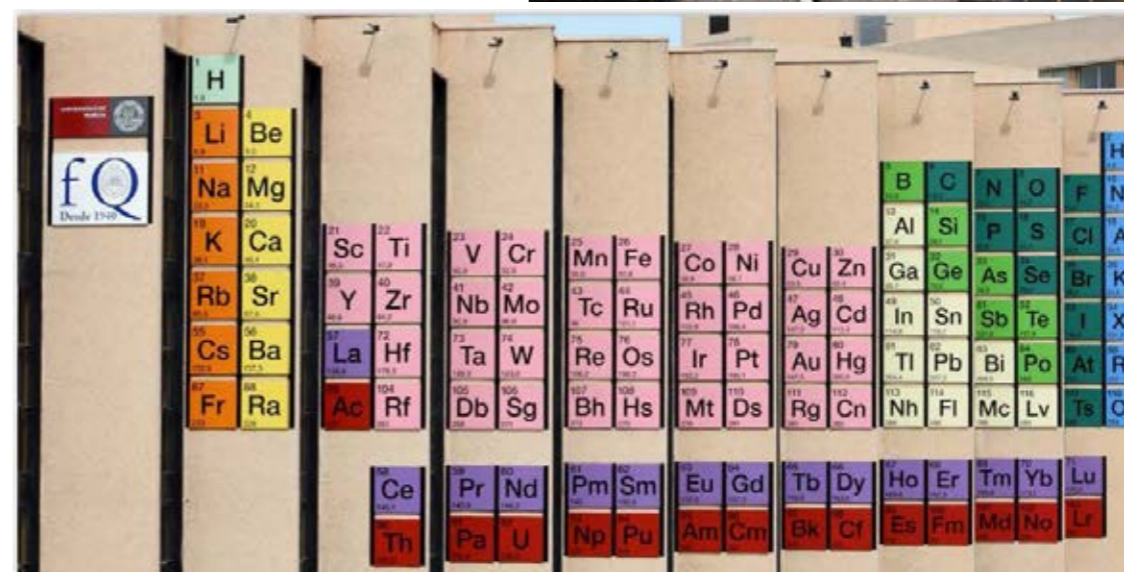
científicos españoles al enriquecimiento de la tabla periódica con tres elementos: platino (Pt, Z = 78; 1748, Antonio de Ulloa y de la Torre Giral, Río Chocó, Colombia), wolframio (W, Z = 74; 1783, Juan José y Fausto Delhuyar Lubice, Bergara, España) y vanadio (V, Z = 23; 1801, Andrés Manuel del Río Fernández, Real Seminario de la Minería de México, México) por medio de un sello en el que resaltan sobre una tabla periódica estos tres elementos, representados por tres sellos con sus principales datos y valores. Hay que destacar que el platino y el vanadio fueron descubiertos en las posesiones españolas de ultramar, mientras que el wolframio fue aislado en el *Laboratorium Chemicum* que la Real Sociedad Bascongada de los Amigos del País tenía en la villa de Bergara (Guipúzcoa). En la segunda parte, se presentó el programa de las actividades que iban a desarrollarse en España a lo largo de 2019 la Real Sociedad Española de Química (RSEQ), la Sociedad Europea de

\* Este artículo está basado en la conferencia impartida por el autor, en la tarde del día 13 de junio de 2019, durante el Ciclo Encuentros con la Ciencia en el Ámbito Cultural de El Corte Inglés, organizado por la Facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza y otras entidades dentro de las actividades del Año Internacional de la Tabla Periódica de los Elementos Químicos.

La Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), celebrada el 20 de diciembre de 2017, declaró 2019 el Año Internacional de la Tabla Periódica de los Elementos Químicos (IYPT2019, en sus siglas inglesas). Este año se conmemora en todo el mundo el sesquicentenario (150 aniversario) de la publicación de la primera versión de la tabla periódica de los elementos químicos por el ruso Dimitri Ivánovich Mendeléiev (1834-1907) y el centenario de la fundación de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada, (IUPAC, en sus siglas inglesas). Esta organización promueve desde 1919 la cooperación entre los químicos de la industria y la academia de sus países miembros siendo su lema: "Fomentando el papel de la Química en todo el mundo".\*

Para conmemorar el IYPT2019, los químicos españoles comenzaron sus actividades con una doble sesión el 9 de enero de 2019 en la Residencia de Estudiantes de Madrid. En la primera parte, se presentó el sello conmemorativo de Correos de España para celebrar esta efeméride en la que se destacó la contribución de los

▶ Tabla periódica más grande del mundo desde febrero de 2019 (600 m<sup>2</sup>) en la Facultad de Química de la UNAM, México



◀ Tabla periódica más grande del mundo hasta febrero de 2019 (150 m<sup>2</sup>) en la Facultad de Química de la Universidad de Murcia.

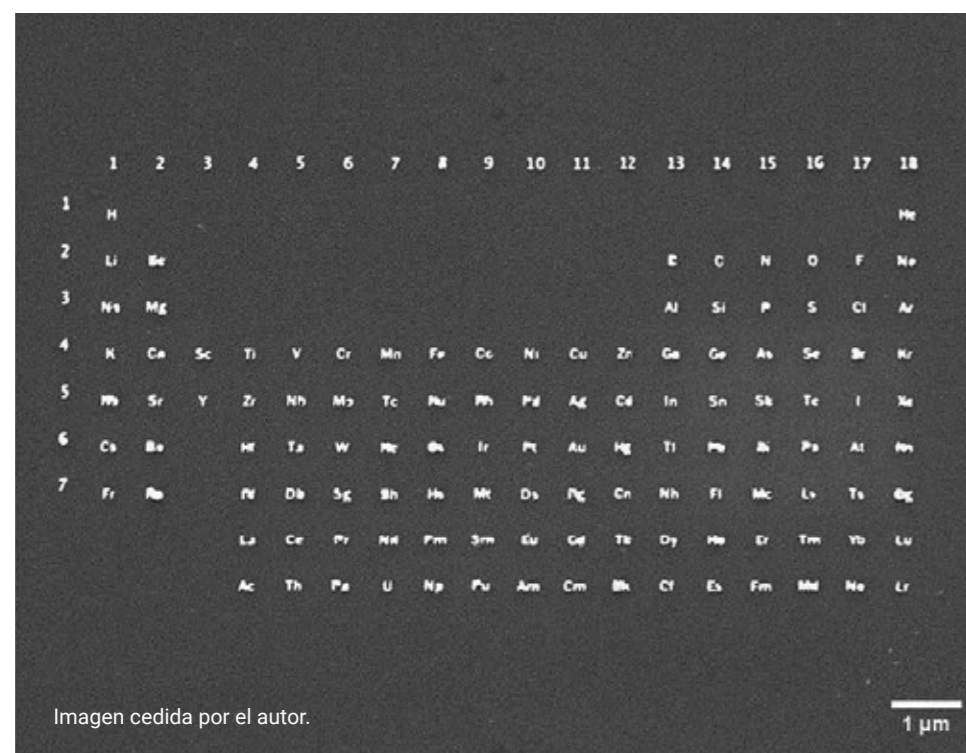
Química (EuChemS, en sus siglas inglesas), el Comité Español de la IUPAC y la Residencia de Estudiantes. La ceremonia oficial de apertura del IYPT2019 tuvo lugar en París en la sede de la UNESCO el día 19 de enero.

Tras esta breve presentación del IYPT2019, se desarrolló la conferencia "Mitología, cultura y arte en la tabla periódica de los elementos químicos". En primer lugar, se abordó la definición de la tabla periódica de los elementos químicos, que según Niels Bohr (1885-1962), premio Nobel de Física de 1922, "es la estrella orientadora para

la exploración en los campos de la Química, la Física, la Mineralogía y la Técnica". Actualmente, la tabla periódica es una organización de los elementos químicos ordenados por su número atómico creciente en columnas (grupos) y filas (períodos) presentados de modo que se resalten sus propiedades físicas y químicas periódicas. Hasta mediados de febrero de 2019, la tabla periódica más grande del mundo era la que se encuentra en la fachada de la Facultad de Química de la Universidad de Murcia, que ocupa una superficie de 150 m<sup>2</sup>. Desde febrero de este año, el récord lo ostenta la tabla periódica de la fachada de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en México con una extensión de 600 m<sup>2</sup>. Por otro lado, la tabla periódica de los elementos químicos más pequeña del mundo la han desarrollado científicos de la Universidad de Nottingham en el Reino Unido de 14 µm de largo por 7 µm de alto, siendo su superficie inferior a los 100 µm<sup>2</sup>.

En la actualidad, la tabla periódica consta de 118 elementos químicos con la incorporación de los cuatro últimos de números atómicos 113 (nihonio, Nh), 115 (moscovio, Mc), 117 (teneso, Ts) y 118 (oganesón, Og).

**“La tabla periódica es un icono de la ciencia y la cultura fácilmente reconocible donde se recoge una gran cantidad de información”.**



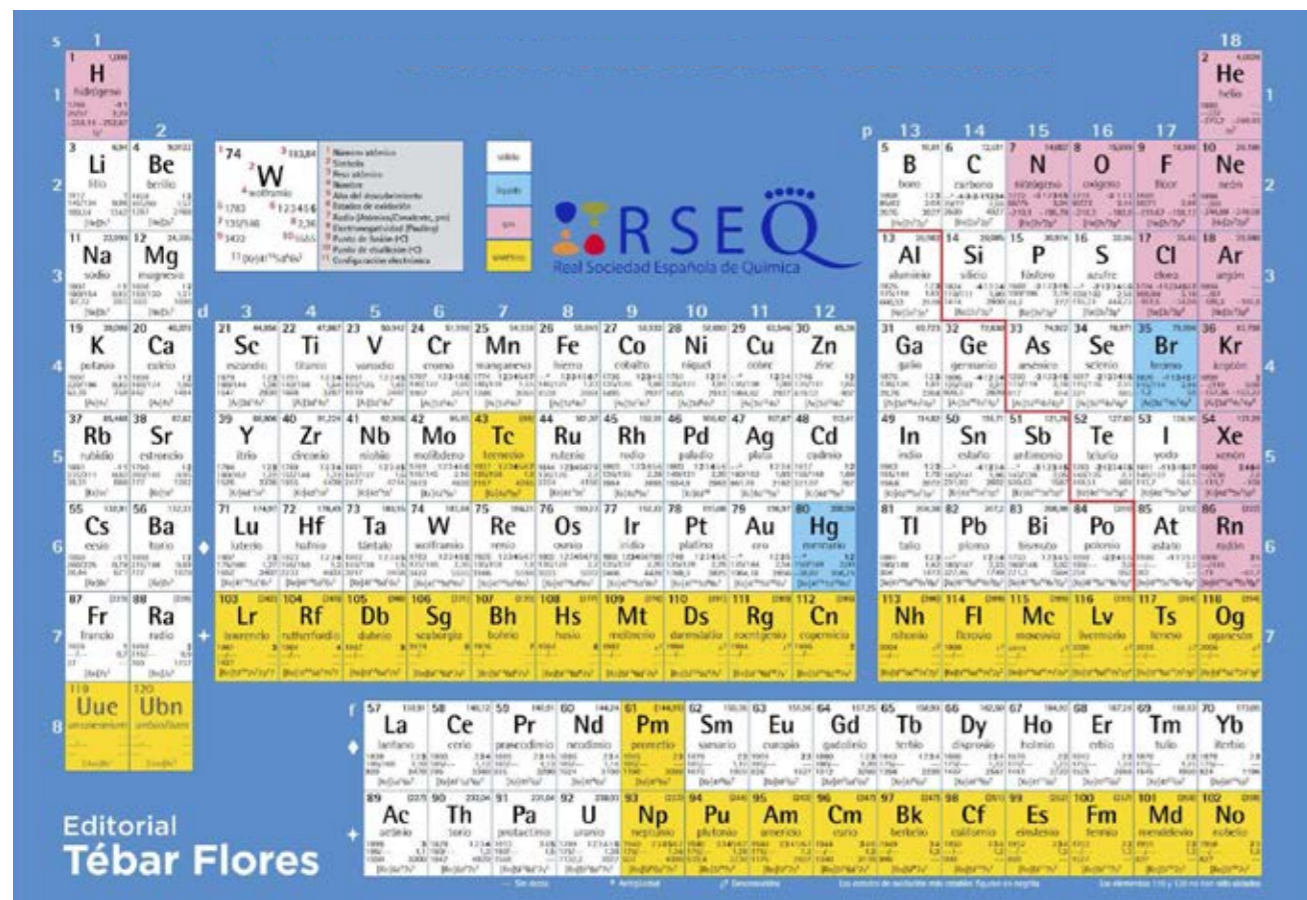
◀ **La tabla periódica más pequeña de mundo (98 µm<sup>2</sup>) en la Universidad de Nottingham.**

CLASIFICACIÓN DE LOS NOMBRES DE LOS ELEMENTOS QUÍMICOS
Centros de investigación (Bk, 1949; Db, 1967; Ds, 1994)
Científicos ilustres (Gd, 1880; Cm, 1944; Mt, 1982; Rg, 1994; Cn, 1996)
Cuerpos celestes (Ce, 1803; Pu, 1940)
Geográficos (Cu, Antigüedad; Hs, 1984)
Ciudades (Lu, 1907; Hf, 1923; Ds, 1994)
Continentes (Eu, 1901; Am, 1944)
Países (Ru, 1844; Fr, 1939)
Regiones (Cf, 1950; Hs, 1984)
Ríos (Re, 1925)
Minerales, menas o metales (Zr, 1789; Sm, 1879; Rn, 1900)
Mitológicos (Au, Antigüedad; Pm, 1945)
Propiedades físicas o químicas (Sn, Antigüedad; At, 1940)
Color (Cl, 1774; In, 1863)
Densidad (Mo, 1781; Ba, 1808)
Generación de compuestos (H, 1766; N, 1772; O, 1774)
Reactividad (Ar, 1894)
Sistemáticos (IUPAC) (Uut = Nh, 2004; Uuo = Og, 2006)
Superstición (As, 1250?; W, 1783)
Otros (Ne, 1898; Kr, 1898; Xe, 1898)

Los nombres y símbolos de estos cuatro elementos fueron aprobados por la IUPAC el 28 de noviembre de 2016, tras someterlos a la opinión pública durante un periodo de cinco meses. En la figura de la página 44 se muestra la tabla periódica de los elementos químicos, publicada por la RSEQ, donde se recogen los nombres de los elementos en letra minúscula por tratarse de nombres comunes. Se han tenido en cuenta las aportaciones de la RAE (Real Academia Española de la Lengua), la RAC (Real Academia de Ciencias Exactas Físicas y Naturales), la RSEQ y Fundéu BBVA para su unificación. Si se realiza un análisis de los nombres de los elementos químicos, se puede obtener su clasificación en diversos tipos que se muestran en la tabla anexa junto con algunos ejemplos.

La tabla periódica es un icono de la ciencia y la cultura fácilmente reconocible donde se recoge una gran cantidad de información. Así, se puede utilizar para conocer el número de elementos químicos distintos que hay en un teléfono móvil. Esta es una cuestión que tiene diferentes respuestas en función de la fuente consultada. La solución puede ser 29 si tenemos en cuenta la figura publicada por *Compound Interest* 2015 o 31 si

**“Una pregunta que suelen hacerse frecuentemente las personas es ¿cuántos elementos químicos tenemos en el cuerpo humano y en qué cantidad?”.**



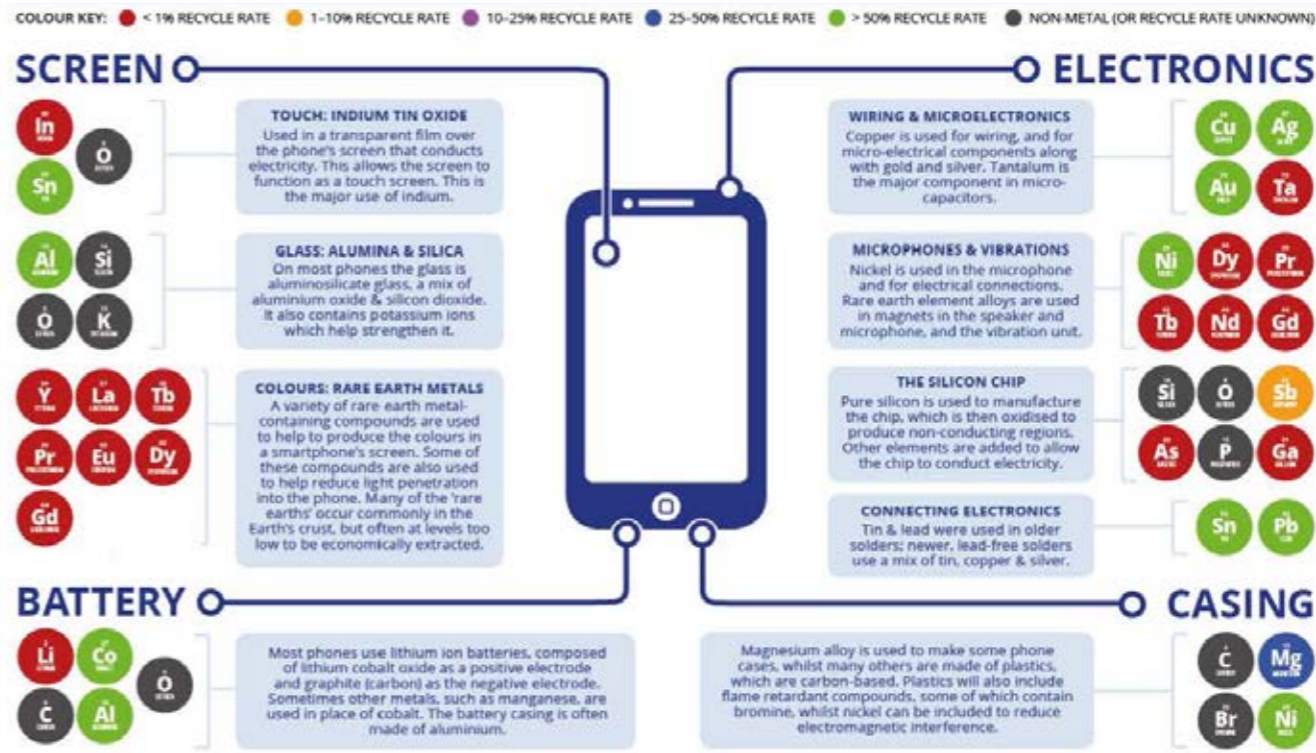
La tabla periódica de los elementos químicos publicada por la RSEQ en 2017.

consideramos la tabla periódica de EuChemS. En ambas figuras, los colores y las leyendas que los acompañan, tienen gran importancia porque informan de la tasa de reciclado de los elementos químicos o de su disponibilidad, escasez y riesgos de reserva por su uso actual y en los años venideros. En la tabla periódica de EuChemS aparece el símbolo de un teléfono móvil en los elementos químicos que lo componen, lo que facilita su conteo.

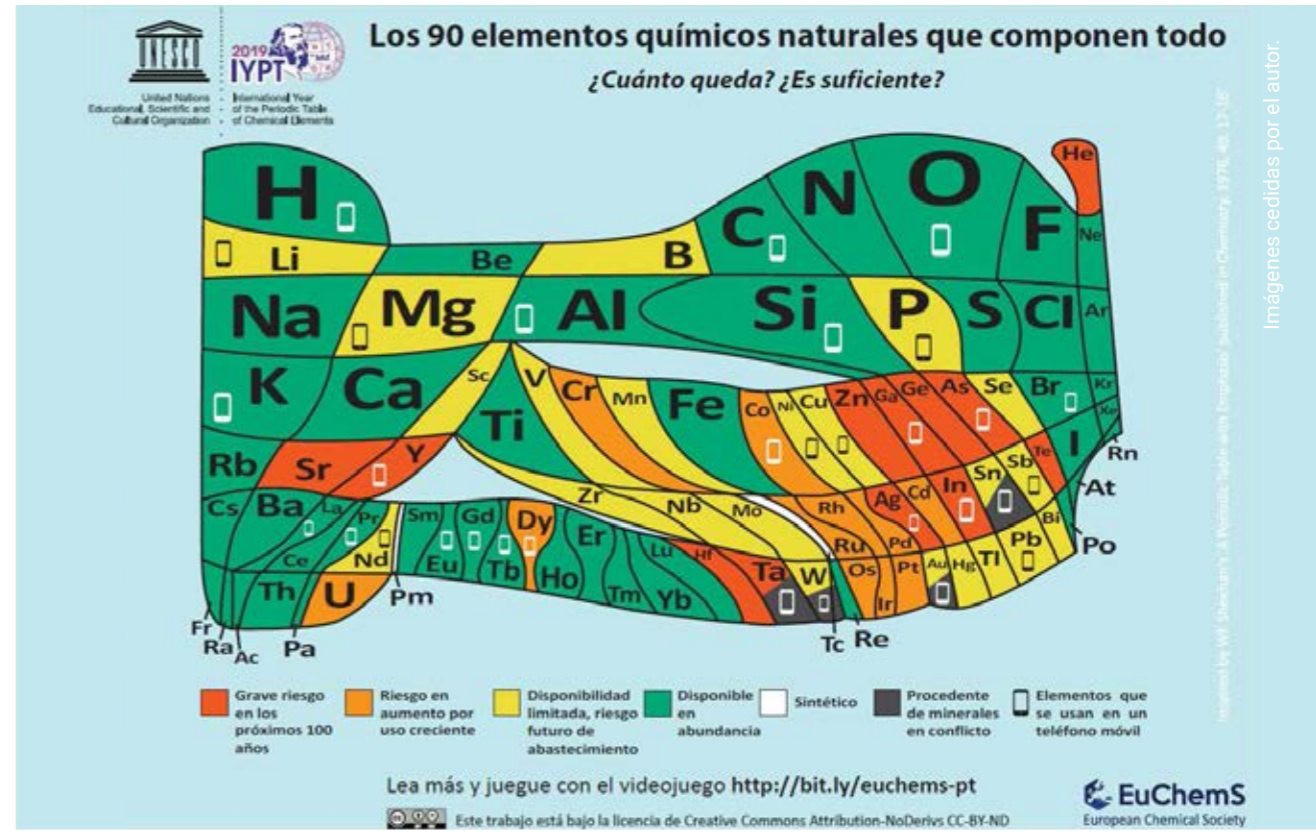
Una pregunta que suelen hacerse frecuentemente las personas es ¿cuántos elementos químicos tenemos en el cuerpo humano y en qué cantidad? Para responder con precisión a esta cuestión es conveniente dirigirse a las fuentes bibliográficas más fiables. Ed Uthman recopiló estos datos de la obra de John Emley, *The Elements*, publicada por Oxford University Press en 1998 (ver tabla pág. 46). Los doce elementos más abundantes en el cuerpo humano son: oxígeno, carbono, hidrógeno, nitrógeno, calcio, fósforo, potasio, azufre, sodio, cloro, magnesio y hierro. Los cinco elementos menos abundantes son: torio, uranio, samario, berilio y wolframio. El total de elementos químicos presentes en el cuerpo humano son cincuenta y nueve, es decir, la mitad de los actualmente conocidos. Estos elementos forman los compuestos esenciales para la vida: agua (62%), proteínas (16%), grasas (16%), minerales (6%) e hidratos de carbono (1%).

El oxígeno es el elemento más abundante en la corteza terrestre y en el cuerpo humano. Los 43 kilogramos de oxígeno del cuerpo se encuentran principalmente

# RECYCLING RATES OF SMARTPHONE METALS



© COMPOUND INTEREST 2015 - WWW.COMPOUNDCHEM.COM | Twitter: @compoundchem | Facebook: www.facebook.com/compoundchem  
This graphic is shared under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives licence.



Los 29 elementos químicos distintos que se usan en un teléfono móvil y sus tasas de reciclado (arriba) y tabla periódica de la disponibilidad de los elementos químicos naturales de EuChemS y los 31 elementos que se emplean en un teléfono móvil (abajo).



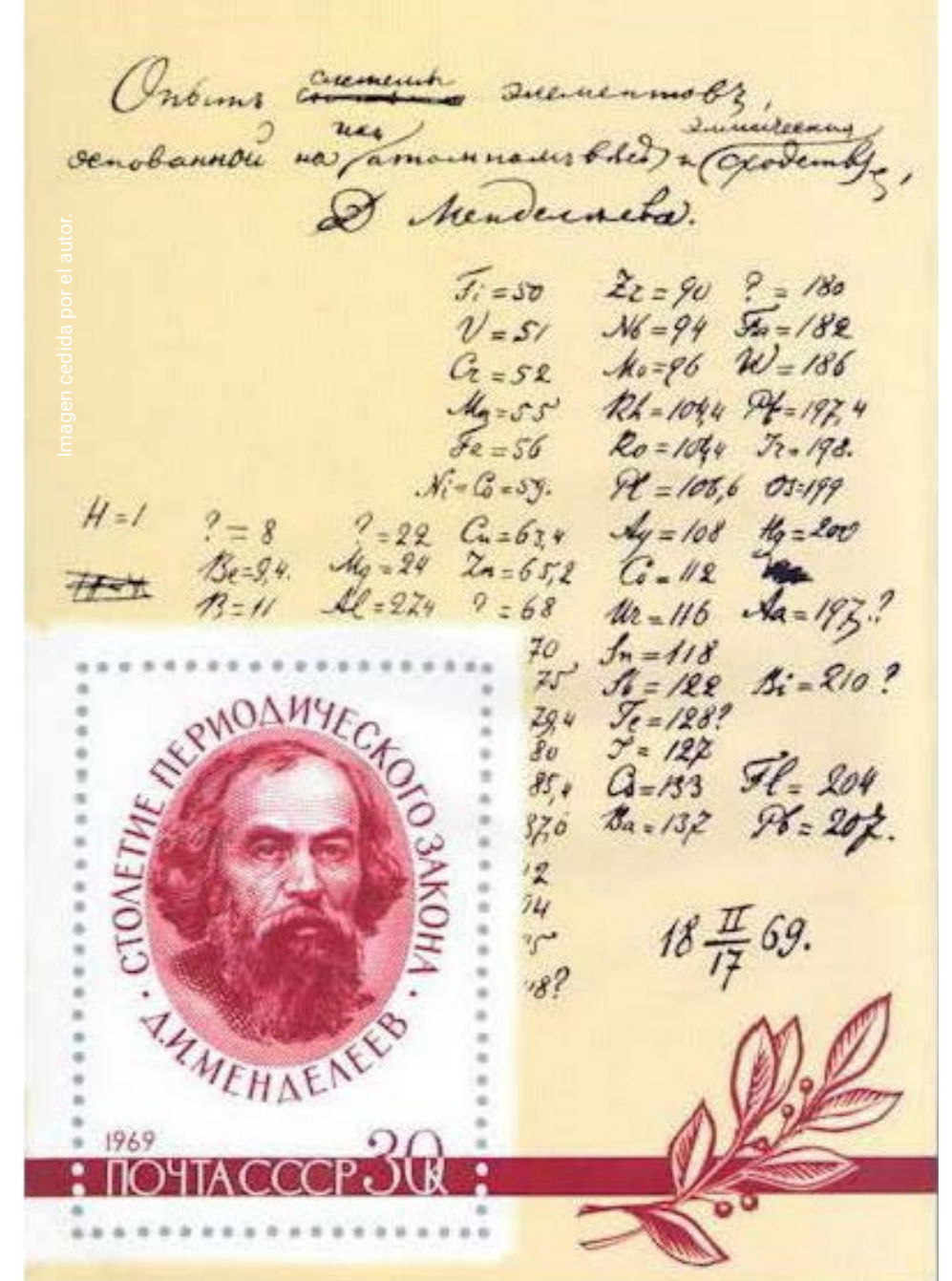
ELEMENTO	MASA DEL ELEMENTO EN UNA PERSONA DE 70 KG	MASA DEL ELEMENTO EN UNA PERSONA DE 70 KG (%)	ELEMENTO	MASA DEL ELEMENTO EN UNA PERSONA DE 70 KG	MASA DEL ELEMENTO EN UNA PERSONA DE 70 KG (%)
oxígeno	43 kg	61,43	chromo	14 mg	0,00002
carbono	16 kg	22,86	manganeso	12 mg	0,00002
hidrógeno	7 kg	10,00	arsénico	7 mg	0,00001
nitrógeno	1,8 kg	2,57	litio	7 mg	0,00001
calcio	1,0 kg	1,43	cesio	6 mg	0,000009
fósforo	780 g	1,11	mercurio	6 mg	0,000009
potasio	140 g	0,20	germanio	5 mg	0,000007
azufre	140 g	0,20	molibdeno	5 mg	0,000007
sodio	100 g	0,14	cobalto	3 mg	0,000004
cloro	95 g	0,14	antimonio	2 mg	0,000003
magnesio	19 g	0,03	plata	2 mg	0,000003
hierro	4,2 g	0,006	niobio	1,5 mg	0,000002
flúor	2,6 g	0,004	circonio	1 mg	0,000001
zinc	2,3 g	0,003	lantano	0,8 mg	0,000001
silicio	1,0 g	0,001	gallium	0,7 mg	0,000001
rubidio	0,68 g	0,001	telurio	0,7 mg	0,000001
estroncio	0,32 g	0,0005	itrio	0,6 mg	
bromo	0,26 g	0,0004	bismuto	0,5 mg	
plomo	0,12 g	0,0002	talio	0,5 mg	
cobre	72 mg	0,0001	indio	0,4 mg	
aluminio	60 mg	0,00009	oro	0,2 mg	
cadmio	50 mg	0,00007	escandio	0,2 mg	
cerio	40 mg	0,00006	tántalo	0,2 mg	
bario	22 mg	0,00003	vanadio	0,1 mg	
yodo	20 mg	0,00003	torio	0,1 mg	
estaño	20 mg	0,00003	uranio	0,1 mg	
titanio	20 mg	0,00003	samario	50 µg	
boro	18 mg	0,00003	berilio	36 µg	
níquel	15 mg	0,00002	wolframio	20 µg	
selenio	15 mg	0,00002			

“El último de los elementos del cuerpo humano que se aisló fue el flúor, por Henri Moissan (1852-1907) en 1886”.

Los 59 elementos químicos que entran en la composición del cuerpo humano.

Fuente: Ed Uthman

Hoja bloque emitida por la URSS en 1969 para conmemorar el centenario de la publicación de la primera versión de la tabla periódica de Mendeléiev.



como un componente del agua, que constituye el 70% del peso corporal total, aunque varía con la edad. El oxígeno también es un componente integral de todas las proteínas, ácidos nucleicos (ADN y ARN), carbohidratos y grasas. El vanadio es el elemento menos abundante del cuerpo (0,11 mg) que tiene un papel biológico conocido, seguido del cobalto (3 mg), este último es un componente de la vitamina B<sub>12</sub>. El último de los elementos del cuerpo humano que se aisló fue el flúor, por Henri Moissan (1852-1907) en 1886.

¿En qué día, mes y año publicó Mendeléiev la primera versión de la tabla periódica moderna? Esta cuestión

se puede contestar si se tiene en cuenta la hoja bloque que publicó la extinta URSS (Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas) en 1969 con ocasión del centenario de su primera aparición. En la figura, se observa el retrato de Mendeléiev en la esquina inferior izquierda y el texto manuscrito de la primera versión de su tabla periódica en el resto de la hoja bloque. En ella se muestra la fecha del 17 de febrero de 1869 según el calendario juliano, que se corresponde con el 1 de marzo de 1869 del calendario gregoriano.

La evolución del descubrimiento de los elementos químicos con el tiempo se puede representar de distintas

PERIODO	N <sup>a</sup> ELEMENTOS	ΣEQ	ELEMENTO (AÑO)
< 1750	16	16	<b>C<sup>a</sup>, S<sup>a</sup>, Cu<sup>b</sup>, Au<sup>c</sup>, Sn<sup>d</sup>, Fe<sup>d</sup>, Ag<sup>d</sup>, Pb<sup>d</sup>, Hg<sup>e</sup></b> , As (1250?), Bi (1450?), Sb (1492?), P(1669), Co(1735), Zn (1746), Pt (1748)
1751–1775	6	22	Ni (1751), H (1766), N (1772), Cl (1774), Mn (1774), O (1774)
1776–1800	8	30	Mo (1781), Te (1782), W (1783), U (1789), Zr (1789), Ti (1791), Cr (1797), Be (1798)
1801–1825	20	50	Nb (1801), V (1801), Ta (1802), Ce (1803), Ir (1803), Os (1803), Pd (1803), Rh (1803), K (1807), Na (1807), Ba (1808), B (1808), Ca (1808), Mg (1808), Sr (1808), I (1811), Cd (1817), Li (1817), Se (1817), Si (1824)
1826–1850	8	58	Br (1826), Al (1827), Th (1828), La (1839), Er (1842), Y (1843), Tb (1843), Ru (1844)
1851–1875	6	64	Cs (1860), Rb (1861), Tl (1861), In (1863), He (1868), Ga (1875)
1876–1900	19	83	Sc (1876), Ho (1878), Yb (1878), Sm (1879), Tm (1879), Gd (1880), Nd (1885), Pr (1885), Dy (1886), F (1886), Ge (1886), Ar (1894), Kr (1898), Ne (1898), Po (1898), Ra (1898), Xe (1898), Ac (1899), Rn (1900)
1901–1925	5	88	Eu (1901), Lu (1907), Pa (1913), Hf (1923), Re (1925)
1926–1950	10	98	Tc (1937), Fr (1939), At (1940), Np (1940), Pu (1940), Pm (1941), Am (1944), Cm (1944), Bk (1949), Cf (1950)
1951–1975	8	106	Es (1952), Fm (1952), Md (1955), No (1958), Lr (1961), Rf (1964), Db (1967), Sg (1974)
2001–2010	8	114	Bh (1981), Mt (1982), Hs (1984), Ds (1994), Rg(1994), Cn (1996), Fl (1999), Lv (2000)
2001–2010	4	118	Nh (2004), Og (2006), Mc (2010), Ts (2010)
<b>TOTAL</b>		<b>118</b>	

<sup>a</sup> Prehistoria. <sup>b</sup> 9000 a C. <sup>c</sup> 5000 a C. <sup>d</sup> 3000 a C. <sup>e</sup> 2000 a C

**evolución del descubrimiento de los elementos químicos con el tiempo.**

maneras. En la tabla (arriba) se muestra el descubrimiento de los elementos químicos por periodos de veinticinco años. Antes del año 1750, se conocían 16 elementos (este número varía con los diferentes autores). En este grupo se hallan los nueve elementos

químicos más antiguos, que se resaltan en letra negra. Entre ellos se encuentran los siete metales de la antigüedad: oro, cobre, estaño, hierro, plata, plomo y mercurio, cuyos autores son desconocidos. Detrás del símbolo de cada elemento aparece el año de su descubrimiento. Desde 1751 se observan algunos periodos muy productivos como 1801-1825 y 1876-1900 donde se descubrieron 20 y 19 elementos, respectivamente, hasta llegar a los 118 que se conocen en la actualidad.

La evolución de la tabla periódica está ligada al descubrimiento de los elementos químicos y a la aparición de nuevos conceptos, leyes y teorías, a la utilización de nuevas técnicas, al uso de la nomenclatura y la formulación, y a los congresos que resolvieron cuestiones

“Las divinidades estaban relacionadas con los siete metales de la Antigüedad”.

**Divinidades griegas y romanas, los siete metales de la Antigüedad, símbolos y significado.**

fundamentales para su desarrollo como el Congreso de Karlsruhe celebrado del 3 al 5 de septiembre de 1860, donde el químico italiano Stanislao Cannizzaro (1826-1910) estableció con total claridad el concepto de peso atómico. Esta idea fue la clave para que tres jóvenes y entusiastas químicos: el inglés William Odling (1829-1921), el alemán Julius Lothar Meyer (1830-1895) y el ruso Dimitri Ivánovich Mendeléiev, que tenían, 31, 30 y 26 años, respectivamente, presentes en el Congreso, dieran un gran impulso a la tabla periódica empleando los pesos atómicos propuestos por Cannizzaro.

En la tabla (abajo) se muestran las divinidades de las mitologías griega y romana, los siete metales de la antigüedad, los símbolos de los alquimistas y los ac-

DIVINIDAD		SÍMBOLO	METAL	SÍMBOLO	SIGNIFICADO
GRIEGA	ROMANA	ALQUIMISTAS		IUPAC	TODOS PROCEDEN DEL LATÍN
Febo	Helios		oro	Au	<i>Aurum</i> : oro. Aurora era la diosa del alba. Hari (sanskrito) = amarillo.
Artemisa	Diana		plata	Ag	<i>Argentum</i> : plata. Argunas (sanskrito) = brillar.
Ares	Marte		hierro	Fe	<i>Ferrum</i> : hierro. Metal sagrado.
Hermes	Mercurio		mercurio	Hg	<i>Hydrargyrum</i> : hydor-argyros (griego) = agua-plateada. Plata líquida. Mercurio. Hidrargirio. Azogue.
Zeus	Júpiter		estaño	Sn	<i>Stannum</i> : Stagnum y stag (indo-europeo) = gotear.
Afrodita	Venus		cobre	Cu	<i>Cuprum</i> : Nombre romano de Chipre. El mineral aes cyprium (metal de Chipre) fue encontrado en Chipre. La isla de Chipre estaba consagrada a Venus.
Crono	Saturno		plomo	Pb	<i>Plumbum</i> : Los romanos llamaban al plomo, plumbum nigrum, para distinguirlo del estaño, plumbum candidum.

tuales de la IUPAC y su significado. Las divinidades estaban relacionadas con los siete metales de la Antigüedad. Además, en la tabla se indican los nombres en latín de los elementos de los que derivan sus símbolos actuales. Estos nombres y sus símbolos fueron propuestos en 1813-1814 por el químico sueco Jöns Jacob Berzelius (1779-1848).

En la tabla (abajo) se muestran las divinidades de las mitologías griega y romana, los símbolos de los alquimistas, los siete metales de la Antigüedad, los astros y los días de la semana en español e inglés. Cada día de la semana estaba relacionado con una divinidad y esta con un metal y un astro. En español existen dos días, domingo y sábado, que no se corresponden con

**Divinidades griegas y romanas, los siete metales de la antigüedad, símbolos de los alquimistas, astros y días de la semana.**

DIVINIDAD		SÍMBOLO	METAL	ASTRO	DÍAS DE LA SEMANA	
GRIEGA	ROMANA	ALQUIMISTAS		IUPAC	ESPAÑOL	INGLÉS
Febo	Helios	☉	oro	Sol	domingo	Sunday
Artemisa	Diana	☾	plata	Luna	lunes	Monday
Ares	Marte	♂	hierro	Marte	martes	Tuesday
Hermes	Mercurio	☿	mercurio	Mercurio	miércoles	Wednesday
Zeus	Júpiter	♃	estaño	Júpiter	jueves	Thursday
Afrodita	Venus	♀	cobre	Venus	viernes	Friday
Crono	Saturno	♄	plomo	Saturno	sábado	Saturday

las deidades griegas o romanas y los astros, debido a nuestra cultura judeocristiana. El domingo procede del latín *dominicus dies*, el día del Señor, y el sábado tiene su origen en el *šabbāt*, el día sagrado de los hebreos, que significa descanso. Los demás días del lunes al viernes tienen su correspondencia en los dos idiomas. El símbolo de los alquimistas ♂ simboliza al macho, la virilidad, la fuerza, la guerra, y al dios Marte (Ares, en la mitología griega). Suele representarse por un joven guerrero de la Grecia clásica (ca 500 años a C) con sus atributos de un escudo y una lanza que asoma ladeada por encima del escudo con los que se caracteriza su fuerza y virilidad. El elemento químico que lo personifica es el hierro, el metal más duro y resistente de aquella época. El símbolo ♀ representa

a la hembra, la femineidad, la delicadeza, la belleza, el amor y a la diosa Venus (Afrodita, en la mitología griega). Viene encarnada por una joven y hermosa doncella de la época de la Grecia clásica y sus atributos son un espejo y su asa donde se ve reflejada su belleza. El elemento químico que la representa es el cobre. Los grandes artistas de todos los tiempos han immortalizado el 'romance' de Marte y Venus a través de sus obras. Además de estos dos dioses también aparecen en ellas el dios Vulcano (Hefesto, en la mitología griega) y otros dioses mitológicos.

En las figuras se muestra a la diosa Venus en sendos cuadros de Botticelli y Velázquez, y al dios Marte en un fresco de Pompeya y en un cuadro de Velázquez.



Imágenes cedidas por el autor.



▲  
**El nacimiento de Venus de Sandro Botticelli (S. XV) y la Venus del espejo de Diego Velázquez (S. XVII).**

◀  
**Fresco de una estatua de Marte en la Casa de Venus y Marte (S. I d.C.) y Marte de Diego Velázquez (S. XVII).**



▲  
**Fresco de Venus y Marte en la Casa de Venus y Marte (siglo I d. C).**



▲  
**Ares y Afrodita de Sandro Botticelli (h. 1485) y La fragua de Vulcano de Diego Velázquez (1630).**

También se exponen los dos dioses en actitud cariñosa (fresco de Pompeya) y en la última figura después de haber hecho el amor en un cuadro de Botticelli.

*La fragua de Vulcano* de Velázquez representa al dios Apolo en su visita a la fragua del dios Vulcano, que se halla trabajando las armas de Júpiter con sus ayudantes. Aparece un sexto personaje, que está cerca de la puerta apoyado en la fragua. Se dice que es el propio Velázquez que no quiere perderse la gran noticia. En la escena el dios Apolo está comunicando al dios Vulcano que su esposa, la diosa Venus, le está siendo infiel con el dios Marte. Todos los personajes quedan paralizados por la noticia, que es el momento que capta el artista. Este tipo de episodios burlescos



“Este tipo de episodios burlescos eran típicos de los pintores españoles del Siglo de Oro”.

eran típicos de los pintores españoles del Siglo de Oro. Vulcano, el dios herrero, era un gran artista trabajando los metales.

En la figura (abajo) se muestra a los dioses Venus, Marte y Vulcano en una obra burlesca del marido engañado, en ella *Tintoretto* trata de descubrir a los amantes. Para ello ha tejido una finísima malla de oro que ha dispuesto sobre el lecho con el fin de atraparlos. Se ve a Vulcano descubriendo a su esposa Venus mostrándola casi desnuda y buscando a su amante, Marte, que aparece oculto bajo un mueble del que asoma su cabeza con su yelmo. En una cuna, detrás, el dios Cupido parece dormido. Este era el hijo de la relación amorosa de Marte y Venus.



**Venus, Vulcano y Marte de Jacopo Comin (a) Tintoretto (h. 1555).**

## REFERENCIAS

- William H. Brock, *Historia de la química*, Alianza Editorial, Madrid (1998).
- Compound Interest 2015, *Recycling Rates of Smartphone Metals*, bit.ly/2pDCAUj, visitada el 26/6/2019.
- Elements Scarcity - EuChemS Periodic Table, bit.ly/2Dpwa55, visitada el 26/6/2019.
- José Elguero Bertolini, Pilar Goya Laza y Pascual Román Polo, *La tabla periódica de los elementos químicos*, CSIC, Madrid (2019).
- John Emsley, *The elements*, 3rd edition, Oxford University Press, London (1998).
- Pilar Goya Laza, *La tabla periódica de EuChemS, An. Quím.*, (2019), 115 (2), 60-61, bit.ly/2ZMwjpp, visitada el 26/6/2019.
- Anne M. Helmenstine, *The Human Body. Elemental Composition*, bit.ly/2wINpHW, visitada el 26/6/2019.
- Charles Janet, *Essais de classification hélicoïdale des éléments chimiques*, Imprimerie Départementale de l'Oise, Beauvais (1928).
- Edward G. Mazurs, *Types of Graphic Representation of the Periodic System of Chemical Elements*, The Author, LaGrange, Illinois (1957).
- Edward G. Mazurs, *Graphic Representations of the Periodic System during One Hundred Years*, The University of Alabama Press, Tuscaloosa, Alabama (1974).
- Henry G. J. Moseley, *The High Frequency Spectra of the Elements*, Phil. Mag. (1913), 26, 1024-1034.
- Henry G. J. Moseley, *The High Frequency Spectra of the Elements. Part II*, Phil. Mag. (1914), 27, 703- 713.



Imágenes cedidas por el autor.

Composición de Mondrian (izquierda), logotipo de Webelements (centro) y sello de correos emitido por Correos de España en 2007 para honrar a Mendeléiev (derecha).

dieciséis predicciones, acertó en ocho de ellas y falló en otras tantas. El sello emitido por Correos de España en 2007 ha tenido una gran repercusión mundial habiendo aparecido publicado en revistas filatélicas especializadas como *Philatelia Chimica et Physica* (verano de 2007), libros de texto, revistas científicas y ha servido de modelo para las tablas periódicas confeccionadas con sellos de correos, como la recientemente publicada por Larry G. French y editada por Daniel Rabinovich.

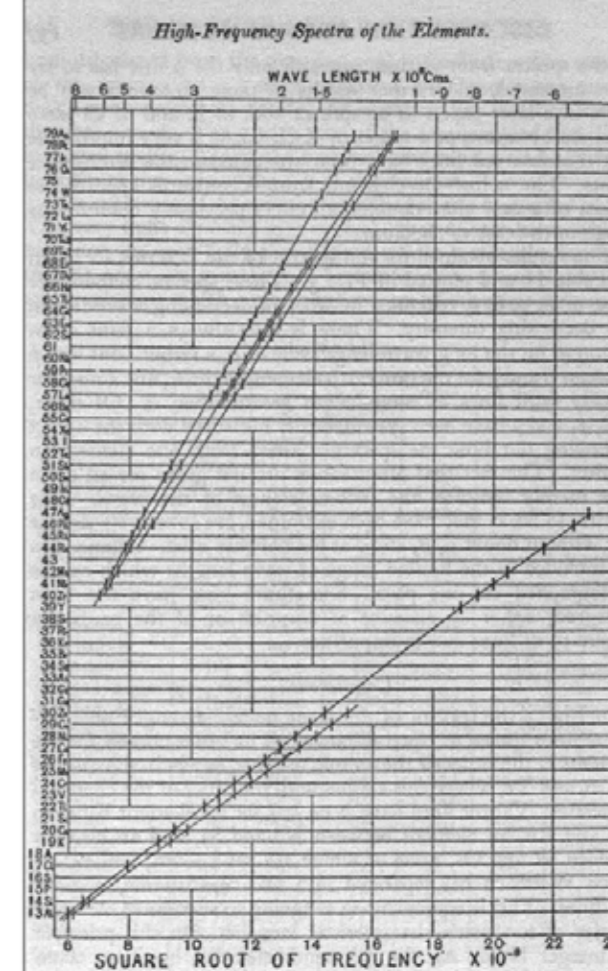
La tabla periódica es un hallazgo múltiple, colectivo y, en ocasiones, simultáneo. Ha habido un gran número de científicos que han colaborado a esta magna obra. Hoy en día se conocen más de un millar de formatos de la tabla periódica, siendo la media larga la más utilizada. De entre todos los científicos que han contribuido a ordenar los elementos químicos en listas, tablas, sistemas, formas mono-, bi- y tridimensionales destacan con luz propia el químico ruso Dimitri Ivánovich Mendeléiev y el joven físico británico Henry Gwyn Jeffreys Moseley (1887-1915). El primero estableció su ley periódica basada en el peso atómico de los elementos químicos y creyó que había conseguido una ley universal. Esta ley conoció grandes éxitos iniciales por su carácter predictivo de nuevos elementos químicos que no habían sido descubiertos. A finales de siglo XIX se le acumularon los problemas, que no pudo resolver, como la aparición de nuevos elementos que no se podían encajar en la tabla periódica, el descubrimiento del electrón, los rayos X, la radiactividad artificial y la irrupción de nuevas teorías que cuestionaban la universalidad de la ley periódica. El segundo, Moseley, ordenó los elementos químicos en función de su número atómico gracias a la ley que lleva su nombre (o de los números atómicos),

en la que relacionaba la raíz cuadrada de la frecuencia de las líneas espectrales de rayos X de los elementos químicos con el número atómico  $\nu = A(N - b)^2$ , donde  $\nu$  es la frecuencia de las líneas espectrales de los rayos X, N es el número atómico (actualmente se representa por Z y es igual al número de protones del núcleo), y A y b son dos constantes de las líneas espectrales. Aunque su estudio, que publicó en 1914, abarcó los elementos metálicos del aluminio al oro, su ley permite predecir la existencia de nuevos elementos con gran exactitud, por los huecos que se generan en su gráfica en la que representa los elementos químicos por su número atómico frente a la raíz cuadrada de la frecuencia de sus líneas espectrales de rayos X. Desgraciadamente, Moseley murió en 1915, a la edad de veintisiete años, en la batalla de Galípoli de la Primera Guerra Mundial. Tras su muerte, otros científicos emplearon su ley para la búsqueda de los nuevos elementos que había predicho y se hallaban comprendidos entre el aluminio (Z = 13) y el uranio (Z = 92). Así, entre 1914 y 1945, se encontraron los elementos químicos de números atómicos 43, 61, 72, 75, 85, 87 y 91. La ley de Moseley ha resistido el paso del tiempo, sin que haya que recurrir a modificación alguna como la inversión del orden de ciertos valores del número atómico, como ocurre cuando se ordenan los elementos químicos por el peso atómico.

Hace unos años compuse la letra de una jota aragonesa en forma de cuarteta para resaltar la contribución del ruso Mendeléiev al desarrollo de la tabla periódica. Más tarde, me percaté de que el inglés Moseley había sido quien resolvió con sus experimentos de difracción de rayos X los problemas que Mendeléiev con su ley periódica no fue capaz de lograr, por lo que tuve que añadir dos versos más a la cuarteta para formar una sexteta o estrofa de seis versos. Esta queda así:

*La tabla periódica es un icono de la ciencia que la ideó el genial ruso Dimitri Mendeléiev, pero quien le dio sentido fue el inglés Moseley*

Pascual Román Polo  
Dpto. de Química Inorgánica  
Universidad del País Vasco  
UPV/EHU



Gráfica de Moseley (1914) donde representa la ley que lleva su nombre.

- Pascual Román, *Henry Moseley: rayos X, tabla periódica y guerra*, conCiencias.digital (2019), 23, 18-35, bit.ly/2KC7sBi, visitada el 26/6/2019.
- Pascual Román Polo, *Mendeléiev: El profeta del orden químico*, 2ª edición, Nivola Libros y Ediciones, S. L., Tres Cantos (Madrid), (2008).
- Eric R. Scerri, *The periodic table. Its story and its significance*, Oxford University Press, New York (2006).
- Eric R. Scerri, *Selected papers on the periodic table*, Imperial College Press, London (2009).
- Eric R. Scerri, *The periodic table. A very short introduction*. Oxford University Press, New York (2011).
- Eric R. Scerri, *La tabla periódica. Una breve introducción*, Alianza Editorial, S. A., Madrid (2013).
- Eric R. Scerri, *A tale of 7 elements*, Oxford University Press, New York (2013).
- Ed Uthman, *Elemental Composition of the Human Body*, bit.ly/2MRuUub, visitada el 26/6/2019.
- Johannes W. van Spronsen, *The periodic system of chemical elements. A history of the first hundred years*, Elsevier, Amsterdam (1969).
- Mark Winter, *The periodic table on the WWW*, The University of Sheffield, (2019), [www.webelements.com](http://www.webelements.com), visitada el 26/6/2019.



# Big data: la fiebre del siglo XXI

Reinventándose la  
estadística para los  
nuevos datos

“Las Matemáticas y la Informática se han impuesto en asuntos humanos de vital importancia; solo hay que saber los sesgos que el procedimiento puede conllevar. Ése es nuestro reto”.

Pilar Olave Rubio



www.scitecheuropa.eu

Cuando las personas realizamos actividades diarias a través de internet, como navegar por la web o compartir contenido en redes sociales, dejamos un rastro de datos y, en los últimos años, en cualquier entorno se han generado tales cantidades de datos que cualquier proceso puede ser estudiado y optimizado con algoritmos analíticos. Algunas preguntas, que es interesante responder en este contexto, serían: ¿son eficientes los algoritmos para todos los tipos de datos y grupos sociales?, ¿cómo se codifican “situaciones”, “sentimientos”? y ¿cómo afectan a los algoritmos?, ¿sabemos generar *valor* en dichos datos?, pero *valor* para todos esos grupos, no solo para los que gestionan y generan los algoritmos. Hay que tener presente que la automatización de los procesos impacta en cantidad de procedimientos (selección de personal, casa, seguros, evaluaciones en el trabajo,...) y ello puede aumentar las

“No es la especie más fuerte la que sobrevive, ni la más inteligente, sino la que mejor responde al cambio.”

Charles Darwin

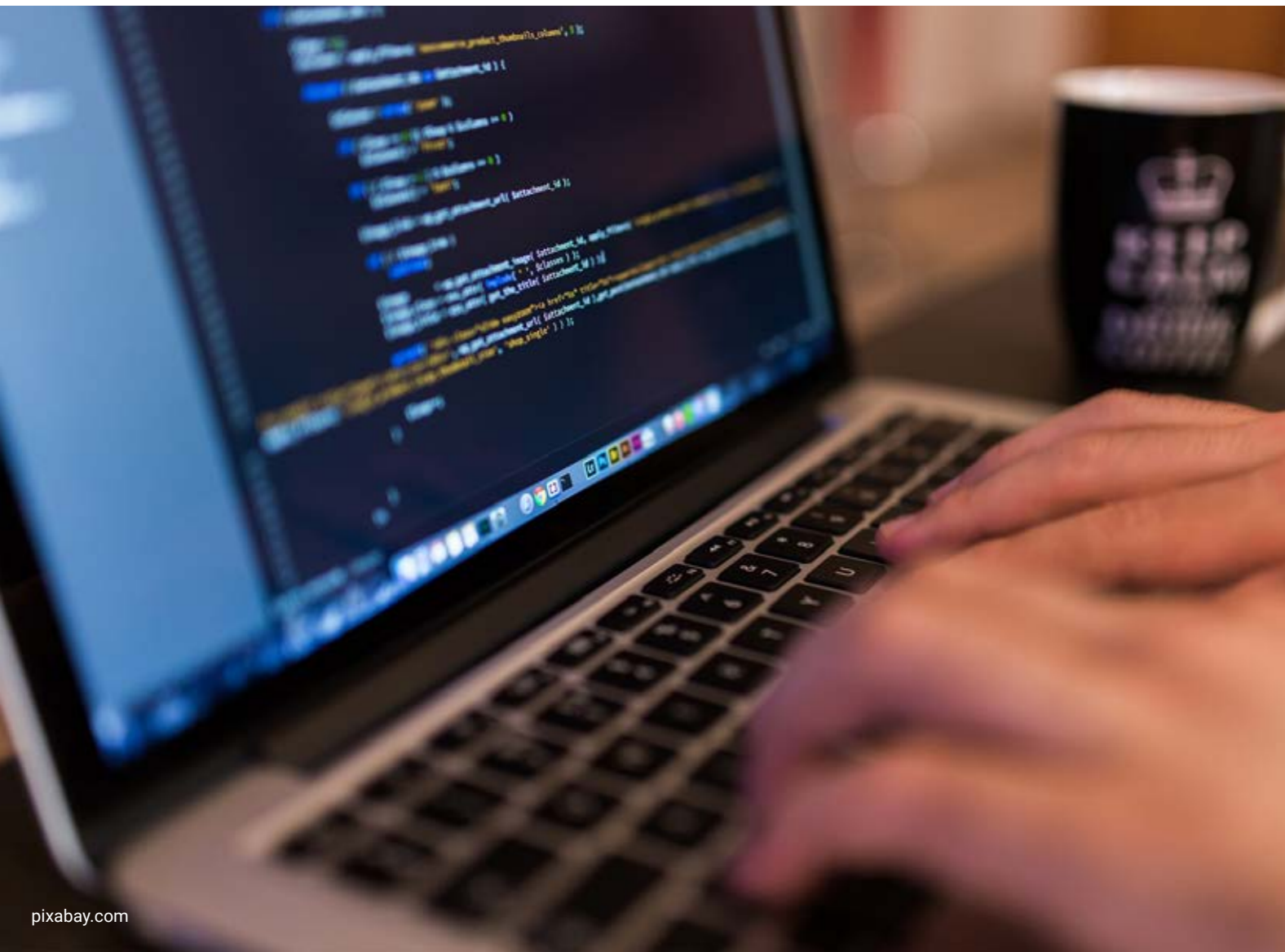
desigualdades sociales aún más si cabe. La cuestión previa que debemos tener presente es que los datos son ahora de tamaño muestral ingente, muy complejos, grabados en diferentes soportes y de alta dimensión; es lo que se conoce habitualmente como Big Data y los tratamientos estadísticos deben adecuarse a esta nueva estructura de datos. Y, lo que es también esencial, decidir cuáles son los datos que utilizaremos y cuáles no, atendiendo no solo a principios estadísticos, sino morales. En la era del Big Data, un programa de ordenador es capaz de procesar miles de currículos, préstamos,...y clasificarlos. Las Matemáticas y la Informática se han impuesto en asuntos humanos de vital importancia; solo hay que saber los sesgos que el procedimiento puede conllevar. Ése es nuestro reto. En este artículo reflexionaré sobre algunos de estos puntos, y trataré de plantear los cambios que se avecinan en los procedimientos estadísticos más usuales.

Las grandes compañías tales como Facebook, Netflix, Amazon,... combinan análisis de datos masivos con aprendizaje automático para ofrecer experiencias personalizadas, gracias a un profundo conocimiento del *dato disponible*. Todos hemos visto aparecer en nuestras pantallas la serie o película que Netflix, HBO,... nos sugiere según el rastro de nuestras anteriores visitas. Pero, como no se puede gestionar lo que no se mide, será de obligado cumplimiento para esas empresas saber lo que se busca en web, quien lo observa, lo que influyen promociones de ventas, los diseños de páginas web, etc. Gracias a los teléfonos móviles, redes, ubicaciones, fotos, se producen torrentes de datos difíciles de manejar (con mucho ruido pero también con determinadas señales que generan *valor*) y, ya que la mayoría de datos disponibles son desestructurados (no están organizados en una sola base de datos), nos obliga a *desarrollar métodos y algoritmos para realizar proyecciones futuras*. En Internet se generan enormes cantidades de datos en términos de búsqueda de entradas, foros de Internet, registros de chat y mensajes de microblogs. Esos datos están estrechamente relacionados con la vida diaria de las personas y tienen características similares; pueden carecer de valor individualmente pero, a través de la explotación acumulada de Big Data, se puede identificar información útil como hábitos y aficiones de los usuarios, e incluso es posible pronosticar las conductas y los estados de ánimo de ellos. Se estima que el volumen de datos comerciales de todas las empresas del mundo puede duplicarse cada año. Uno de los valores más importantes de una empresa es su llamado capital intelectual. Este se define como el conjunto de aportaciones no materiales, que en la era de la información se entienden como el principal activo de las empresas del tercer milenio. Una forma de explotar el capital intelectual que está teniendo más auge en los últimos años es el análisis de contenidos, herramienta de investigación utilizada para determinar la presencia de palabras clave o conceptos dentro de un texto o grupo de textos y las empresas cada día lo explotan más para saber qué palabras /conceptos / ubicaciones en red les interesa más.

Por citar un ejemplo muy sencillo, a los solicitantes de un préstamo y/o trabajo se les puede pedir que describan motivos de dicha petición, pues no solo son predictores de la probabilidad de pago/cumplimiento en el trabajo las variables usuales (CV, situación económica,...), sino que el lenguaje presencial o en redes sociales es una variable de interés en un análisis financiero, laboral, etc... Así pues, en un futuro muy próximo, un usuario

que busca un préstamo y/o trabajo debería preocuparse no solo por su historial académico y/o financiero sino además por su actividad on line. No obstante, hay que tener en cuenta que las variables utilizadas por los algoritmos son valores sustitutos o proxies y muchas veces injustos. Los demandantes de empleo/préstamo deben organizar sus cv pensando en los lectores automáticos y salpicar sus currículos de palabras relacionadas con el objetivo de su demanda (para más detalles, consultar la página: [mashable.com/2012/05/27/12-ways-to-optimize-your-resume-for-applicant-tracking-systems](http://mashable.com/2012/05/27/12-ways-to-optimize-your-resume-for-applicant-tracking-systems)). Peter Norvig, director de investigación de Google en 2009, lo expresa insistentemente: “No tenemos mejores algoritmos. Solo tenemos más datos”. Gary King, director del Instituto de Ciencias Sociales y Cuantitativas de Harvard, ha declarado recientemente que la toma de decisiones basada en enormes fuentes de datos se extenderá a todos los ámbitos: académico, negocios, medicina, administraciones, etc...

Los **nuevos datos** son ahora el oro del siglo XXI. Pero realmente, ¿mejoran los negocios, nuestra vida...? Veámoslo en un sencillo ejemplo: Una importante aerolínea americana supo que aproximadamente el 10% de los vuelos a un importante aeropuerto tenía, al menos, una brecha de 10 minutos entre *tiempo estimado* de llegada y *tiempo real* de llegada del vuelo, y un 30% de vuelos, al menos un brecha de 5 minutos. Para buscar soluciones, la compañía recurrió en 2001 a PASSUR Aerospace, expertos en tecnologías de Big Data en aviación, y recalculó los tiempos estimados combinando los datos disponibles de aviación con otros de meteorología, es decir con otros factores que afectan a las estimaciones, siendo sus fuentes una extensa red de estaciones de radar pasiva, instaladas cerca de los aeropuertos de interés. Esto produjo una **entrada masiva de datos** en la red, y lo que lo convierte en un problema Big Data es que cuenta con esa información multidimensional a lo largo del tiempo. En 2012, PASSUR tenía



más de 155 instalaciones por lo que produce una inundación de datos digitales en tiempo y espacio. A partir de la información obtenida se crearon *patrones de aterrizaje* en función de las condiciones meteorológicas, y así se redujeron las brechas entre tiempos estimados y reales. Para más detalles, McAfee A. and Brynjolfs-son E. (2012) “*Big Data: The management revolution*”.

Otro ejemplo que subraya el interés de resolver un problema a través de técnicas de Big Data es el que tuvo lugar durante la pandemia de gripe de 2009. Google obtuvo información valiosa de fácil acceso y de mayor trascendencia que la proporcionada por los pacientes, ya que se descubrió que, durante la propagación del virus, *las entradas buscadas por muchos enfermos* eran diferentes a las habituales, y las frecuencias de uso de dichas entradas se correlacionaron con la propagación del virus N1H1. En un principio esta estrategia falló pues la psicosis suele provocar que todo el mundo consulte en red y no se sepa realmente donde están las consultas de focos reales. Posteriormente el sistema se sofisticó y la plataforma de gestión de datos masivos InfluenzaNet resultó segura, flexible y rápida. Así se encontraron grupos que *eran muy relevantes para detectar cómo se propagaba el brote de N1H1*, tanto en tiempo como en ubicación, a través de implementar modelos matemáticos. No tenemos algoritmos perfectos,

“Los nuevos datos son ahora el oro del siglo XXI. Pero realmente, ¿mejoran los negocios, nuestra vida...?”





mostrar algunos inconvenientes de los procedimientos automatizados y las posibles desigualdades que en determinados entornos puede conllevar, ya que el *conocimiento generado* se utilizará de forma estratégica para formar juicios, valores y tomar decisiones que afectarán de forma desigual a diferentes grupos, y eso puede generar **sesgos** que, si no se detectan convenientemente, pueden depreciar el valor de dichas técnicas, entendido el término *valor* como principio moral. Por citar un ejemplo cercano, el escándalo de Cambridge Analytica (CA) dejó claro que la publicidad y comentarios en determinados medios de comunicación, así como presiones sociales en la época previa al referéndum del Brexit, fueron muy diferentes para los perfiles creados por la consultora CA. Es decir, gracias a la utilización de técnicas estadísticas para datos masivos digitalizando previamente comentarios, fotos y “me gusta” de los usuarios de Facebook (en distintas áreas de Reino Unido), se crearon los perfiles citados. Posteriormente, los impulsores de “la salida” plantearon estrategias de

marketing y publicidad muy diferentes para los grupos establecidos. El escándalo sobre esa utilización de datos personales, así como las grandes sumas que se invirtieron, es por todos conocido. De la misma forma, en las primarias republicanas de 2016, los analistas de sondeos concluyeron que Trump no tenía ninguna posibilidad de ganar. Pero, los indicios de que podía ganar estaban en internet, Google tenía mucha más información que la proporcionada por ningún sondeo, a nadie se le hubiera ocurrido pensar años antes en Donald Trump como un candidato presidencial, pero en las búsquedas en red se pudo ver cómo sus ataques a la inmigración fue una de sus principales bazas. Las búsquedas en Google demostraron que el racismo persiste en gran parte de americanos y se pudo establecer un mapa de su ubicación que sería vital para explicar el éxito de Trump. Así pues, nos podemos preguntar: las búsquedas en Google, ¿son óptimos predictores? Bueno, aún queda mucho trabajo estadístico por delante, pero desde luego tiene un potencial, yo diría, diferente que

▲  
**Cambridge Analytica usó datos de Facebook para influir a los votantes a favor del Brexit.**

pero la próxima vez que ocurra una nueva pandemia, el mundo tendrá una mejor herramienta a su disposición para predecir y por lo tanto prevenir su diseminación.

En los albores del siglo XXI se acuña el término Big Data, que hace referencia al estudio de enormes volúmenes de datos complejos/desestructurados con múltiples fuentes autónomas y en diferentes soportes. Es decir, no estamos hablando solo de flujos de datos sino de **nuevos datos** que no pueden ser almacenados y/o procesados con un ordenador de capacidad tradicional. En este contexto el planteamiento analítico difiere al de la *inferencia estadística tradicional*, pues los datos ahora no provienen de una muestra convenientemente seleccionada para el objetivo de nuestra investigación, sino que los datos se autoseleccionan, por lo que nos podemos encontrar con graves problemas de sesgos ocultos. Y, aunque el objetivo final sea el mismo que hace 30 años, es decir, *obtener características y/o patrones para las poblaciones de interés, la metodología debe adaptarse a esta nueva situación de información masiva.*

Este artículo *pretende destacar el interés de las técnicas de Big Data*, es decir, de aprendizaje automático a través de los datos, usando metodología estadística, así como

“Google tenía mucha más información que la proporcionada por ningún sondeo, a nadie se le hubiera ocurrido pensar años antes en Donald Trump como un candidato presidencial.”



el de los sondeos clásicos. El aprendizaje automático de los datos será óptimo para la sociedad civil en su conjunto cuando los sesgos en los datos sean fáciles de detectar o de incorporar a los modelos. Desde mi punto de vista, este es uno de nuestros retos.

Ahora vamos a explicar algunos cambios cualitativos producidos en los métodos de *análisis de datos*: **nuevos métodos para nuevos datos**.

La gran pregunta es: ¿qué hay que transformar en el binomio Estadística / Datos? Vamos a explicarlo brevemente y lo haremos en tres escenarios: **Acceso a los datos, conocimiento de su dominio y realización del método y algoritmo adecuado**. El desafío en el **acceso a la información** es desarrollar los procedimientos informáticos para obtener datos de diferentes ubicaciones, ya que ahora muchos de los datos son generados de forma automática y pueden ser: textos, imágenes, videos, audios, con diferente frecuencia y periodicidad. Una representación inadecuada de los datos reducirá el valor de los datos originales e incluso puede obstruir el análisis efectivo de los datos. Una representación de datos eficiente debe reflejar la estructura, clase y tipo de datos, así como las tecnologías integradas, para permitir operaciones eficientes en conjuntos de datos de diferentes fuentes. Hay unos avances relativamente lentos en los sistemas de almacenamiento, que no pueden soportar datos tan masivos. Por lo tanto, hay que *decidir qué datos se almacenarán y cuáles se descartarán*. Además no hay que olvidar que los nuevos conjuntos de datos nos ofrecen un número de variables mayor que los datos tradicionales y eso aún complica más la selección de datos.

Posteriormente, se desarrolla el software necesario para intercambios de información entre productores de datos, así como resolver los **problemas** de privacidad y/o semántica **de muchos dominios**, ya que son las personas que han planteado la investigación las que conocen profundamente ese dominio (el área funcional de la empresa que lo va a adoptar, sector de actividad económica, etc.), y no solo eso sino que los usuarios, al no poseer en muchas ocasiones los datos, tienen que contratar a auditores de datos para, a través de mecanismos de cifrado, protegerlos. La mayoría de los proveedores de servicios de Big Data en la actualidad no podrían mantener y analizar de forma efectiva los conjuntos de datos tan grandes debido a su capacidad limitada, por ello deben confiar en profesionales para analizarlos, lo que aumenta los riesgos potenciales de seguridad. Así, se debe es-

**“Nuevas técnicas estadísticas para datos masivos pues hay que tener presente que datos masivos no implica muchas veces más información.”**

tablecer una estructura interna para ayudar a los expertos en diversos campos (métodos cuantitativos y computación) a utilizar plenamente su experiencia, a fin de cooperar para completar los objetivos analíticos.

**Finalmente, se desarrollaran las técnicas estadísticas adaptadas con fiabilidad a ese contexto** y es aquí donde el aprendizaje automático de los datos buscando los modelos y / o algoritmos, lo que en estos últimos años se ha convertido en un objetivo de los **nuevos métodos estadísticos**. El análisis de Big Data involucra principalmente métodos analíticos para datos tradicionales y arquitectura analítica para Big Data y software utilizado para minería y análisis de Big Data. *Estamos hablando de hacer la ciencia estadística más convergente con las ciencias de la computación*. Para más detalles, Galeano P. and Peña D. (2019) "Data science, Big Data and Statistics".

Muchos métodos de análisis de datos tradicionales todavía pueden ser utilizados para el análisis de grandes masas de datos. Podemos destacar, entre otros: Las técnicas de *análisis exploratorio de datos* que han tomado ahora una presencia importante en la metodología estadística frente a la inferencia de datos. Pero, al explorar los datos masivos nos encontramos con mucha frecuencia que una representación gráfica muy útil, como es el diagrama de dispersión, se convierte en una búsqueda compleja al no



www.iebschool.com

poder distinguir patrones subyacentes. En otro contexto, en el área biomédica un individuo se puede representar utilizando información demográfica simple: sexo, edad, historia familiar,...o añadir información visual tales como imágenes y secuencias de expresiones de microarrays. Estas son algunas de las características nuevas a las que los analistas nos enfrentamos. *Análisis de correlación*: es un método analítico para determinar las relaciones entre los fenómenos observados y, en consecuencia, la realización de pronósticos y controles, pero al explorar sin modelo subyacente, las relaciones no son causales y de difícil interpretación. *Análisis clúster*: método estadístico para agrupar y clasificar objetos de acuerdo con algunas características, buscando una alta homogeneidad dentro de cada grupo, pero en el contexto de datos masivos el análisis de conglomerados clásico tiene muchas limitaciones pues la creación de grupos con objetos similares en él y heterogéneos respecto a los demás es ahora muy complejo, ya que la aparición de elementos atípicos se convierte en algo habitual. Hay que tener presente que la homogeneidad no se mantiene en el tiempo y los datos masivos se obtienen longitudinalmente. *Tiene más sentido buscar direcciones de proyección que muestren de forma clara la heterogeneidad de la muestra y posteriormente buscaremos los grupos o clúster sobre las proyecciones*. *Análisis factorial*, procedimiento de reducción de dimensión clásico que ahora se convierte en impres-

cindible. La maldición de la dimensionalidad es ahora un elemento omnipresente en este tipo de datos. *Algoritmos de minería de datos*, proceso para extraer información y conocimiento ocultos, desconocidos, pero potencialmente útiles, de datos masivos, incompletos, ruidosos, difusos y aleatorios, son ahora de vital importancia.

Uno de los problemas que se pueden manifestar con frecuencia en datos masivos son las conclusiones extraídas en **poblaciones heterogéneas**, pues en Big Data este no es un caso particular de los datos sino que es una cuestión estándar. Es decir, nos encontraremos con la famosa **paradoja de Simpson**, en que las variables escondidas nos llevaran a inferencias incorrectas y, si en muestras pequeñas su efecto es importante, en muestras grandes dicho efecto se manifiesta de forma **casi automática**. Por citar un ejemplo elemental (Peña D. "Big Data y Estadística" Workshop on Big Data and Statistics, Universidad Carlos III, 2015), si de 4000 solicitudes (2000 hombres y 2000 mujeres) para ingresar en una universidad, los admitidos han sido 1140 (57%) en hombres y 960 (48%) en mujeres, concluiremos que hay sesgos de admisión por sexo.

Pero si desglosamos por solicitudes en las correspondientes Facultades (Humanidades, Ingeniería y Economía), es fácil encontrar **preferencias por sexo** en cada

Universidad	Admitidos	No admitidos	Admisión
Hombres	1140	960	57%
Mujeres	960	1140	48%

Humanidad	Admitidos	No admitidos	Admisión
Hombres	225	75	75%
Mujeres	560	240	70%

Ingenierías	Admitidos	No admitidos	Admisión
Hombres	140	560	20%
Mujeres	36	164	18%

Economía	Admitidos	No admitidos	Admisión
Hombres	590	410	59%
Mujeres	540	460	54%

capacidad predictiva de los modelos estadísticos, ¿es adecuado utilizar análisis de contenidos para evaluar a un candidato para un determinado puesto según cuándo y dónde ha buscado determinados hechos, cosas, chistes, vocablos,...? Estamos ante una gran revolución basada en datos, pero eso no quiere decir que cualquier pregunta se puede contestar siendo el input *exclusivamente datos*. En primer lugar porque el científico de datos ha tenido previamente que codificar la información y además esos modelos no eliminan la necesidad de utilizar las demás formas de entender el mundo que hemos desarrollado a lo largo de milenios. Estos modelos no deben construirse solo con datos (incluso pensando en una óptima codificación de las acciones humanas) sino, como he sugerido en el principio de estas reflexiones, desde un vasto conocimiento estadístico, sabiendo qué datos son los más adecuados en cada contexto.

A mis alumnos de Marketing e Investigación de Mercados.

Pilar Olave Rubio  
 Métodos Cuantitativos para Economía y Empresa  
 Facultad de Economía y Empresa  
 Universidad de Zaragoza

REFERENCIAS

- P. Galeano and D. Peña (2019) "Data Science, Big Data and Statistics" TEST, 28: 289-329.
- A. Halevy, P. Norvig and F. Pereira (2009) "The Unreasonable Effectiveness of Data" IEEE Intelligent Systems 24 (2): 8-12
- (2012/05/27). "12 ways to optimize your resume for applicant tracking systems". <https://mashable.com>
- A. McAfee and E. Brynjolfsson (2012) "Big Data: The management revolution" Harvard Business Review
- C. O'Neil (2018) "Armas de destrucción matemática". Capitán Swing
- D. Peña (2015) "Big Data y Estadística" Workshop on Big Data and Statistics, Universidad Carlos III
- S. Stephens-Davidowitz (2019) "Todo el mundo miente. Lo que Internet y el Big Data pueden decirnos sobre nosotros mismos". Capitán Swing

especialidad y no hay ningún sesgo en la admisión. Este ejemplo refleja que las variables escondidas nos las vamos a encontrar en datos masivos en donde la distribución de la población o poblaciones subyacentes no se conoce y es muy fácil caer en este tipo de errores.

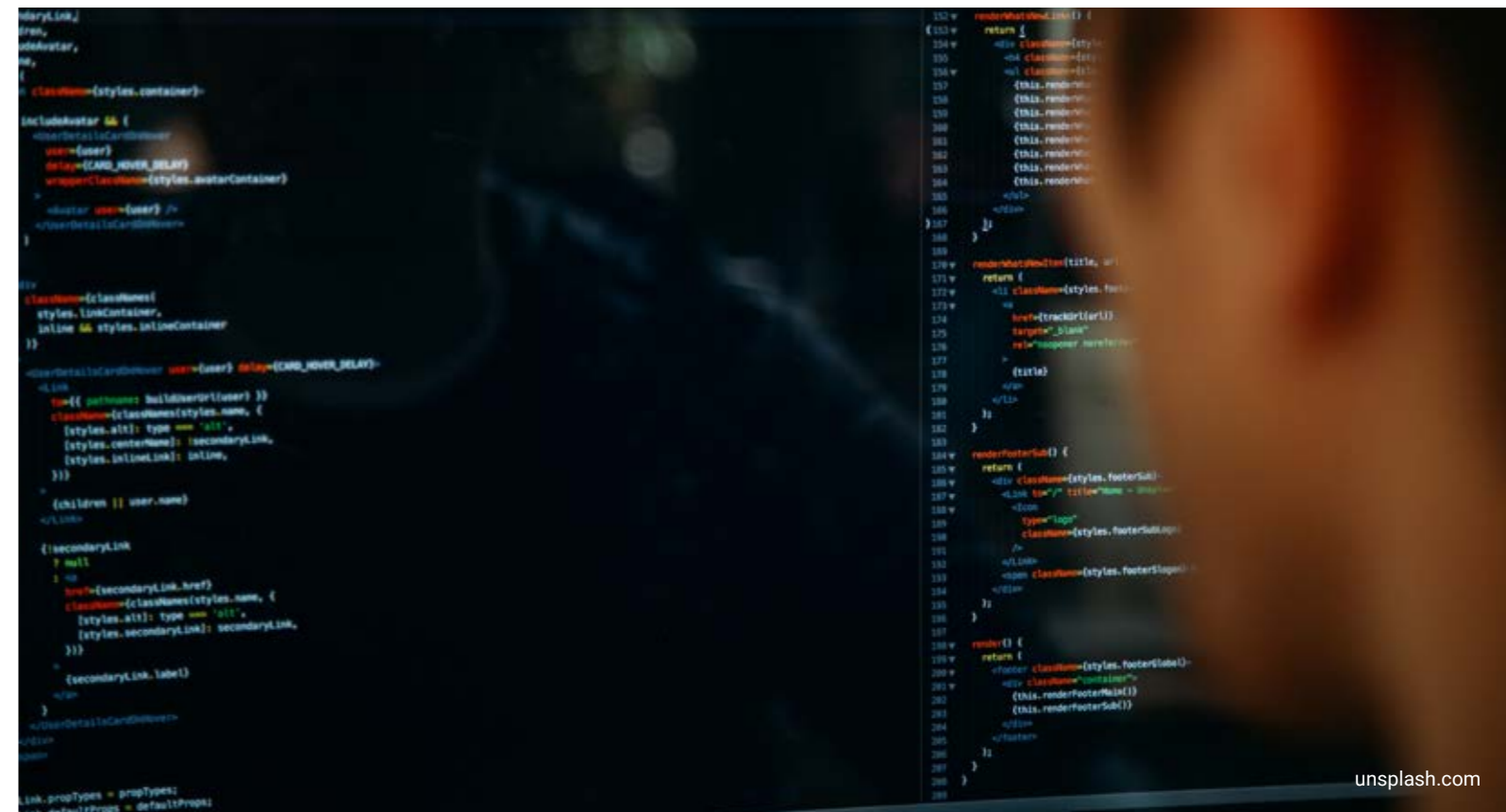
En datos masivos hay que ser muy cuidadosos por desconocimiento del investigador de las distribuciones condicionadas, según variables.

Estamos pues, ante lo que ya he citado: **nuevas técnicas estadísticas para datos masivos** pues hay que tener presente que datos masivos no implica muchas veces más información.

Otro problema clave, en el universo de datos y en redes sociales, es detectar elementos virales así como **elementos atípicos** pues en datos masivos esos elementos son referentes de posibles existencias de otros modelos. El sesgo en los datos se presenta como un problema considerable y es frecuente en un contexto de Big Data. Los *datos se autoseleccionan, por lo que no existe un procedimiento de muestreo con-*

*trolado por el investigador*, que permita garantizar la representatividad de ese gran volumen. En este caso se puede fragmentar el problema, es decir, convertir un análisis Big Data en muchos análisis de muchas muestras más pequeñas. Precisamente los métodos de submuestreo se presentan como una herramienta de visualización y análisis en los casos en que el tamaño muestral haga impracticable gráficos sencillos, cuestión que ya he mencionado anteriormente.

Así pues, a las personas que nos dedicamos al apasionante mundo de la Ciencia Estadística se nos plantean cambios de paradigma en lo que respecta a afrontar nuevos métodos/retos de la mano de la computación con nuevas bases de datos y técnicas computacionales de altas prestaciones. Debemos tener claro nuestro papel en esta Ciencia de los Datos y es lo que quiero plantear para finalizar estos breves trazos. El objetivo del Big Data es encontrar patrones invisibles a primera vista. Este es el reto de los científicos de datos, sugerir candidatos óptimos para un trabajo, un préstamo, riesgos de sufrir una enfermedad, etc. Pero se nos avicina un grave problema ético, por muy alta que sea la



“Las herramientas computacionales permiten resolver problemas químicos mediante la simulación por ordenador de la materia, tanto a escala atómica como molecular”.

# La Química en la frontera: más allá de buretas y tubos de ensayo

Héctor Madrona Martínez



Como no podría ser de otra forma, las disciplinas más tradicionales, como la Química, también se hacen eco de esta visión interdisciplinar de las últimas décadas. Así pues, las herramientas computacionales permiten resolver problemas químicos mediante la simulación por ordenador de la materia, tanto a escala atómica como molecular. Es decir, no solo es posible trabajar en un laboratorio con matraces y reactivos, sino que ahora también es posible generar a través de una pantalla, por ejemplo, los reactivos de una reacción química para obtener los posibles productos que encontraríamos en el laboratorio. Estas simulaciones también pueden realizarse para sistemas de mayor tamaño, como proteínas, polímeros e incluso sólidos.

(es decir, relacionadas con la velocidad de la reacción) para estudiar los procesos químicos. Si bien es cierto que estas magnitudes pueden obtenerse de forma experimental, su cálculo computacional presenta grandes ventajas, ya que permite ahorrar tiempo y/o dinero, pudiendo prever los resultados y facilitando el proceso de elaboración y optimización de los protocolos de acción.

Una de las grandes ventajas que tiene el estudio de las reacciones químicas se encuentra en lo que hay "den-

El estudio de las reacciones es, a la vez que muy útil, complejo. Se entiende que una reacción química es el proceso por el que unos reactivos se transforman en unos productos; es decir, es el proceso en el que ocurre una transformación química. Más allá del terreno experimental, donde se puede comprobar que ha tenido lugar una reacción debido a que se ha generado un sólido o un gas, un cambio de color, o ha tenido lugar el desprendimiento o absorción de calor; es posible hacer uso de magnitudes termodinámicas (a grandes rasgos, los valores relativos a los cambios de energía) y cinéticas

**La paradoja del gato de Schrödinger es uno de los experimentos imaginarios más conocidos en física. Según la mecánica cuántica, el sistema se encuentra en una superposición de estados posibles (el gato está vivo y muerto, simultáneamente) hasta que un observador interviene.**

**E**l físico español Jorge Wagensberg (1948 - 2018) defiende en su ensayo *El pensador intruso* (2014) la Ciencia en la frontera. Lejos de entenderla como compartimentos estancos, donde los científicos e ingenieros hacen su ciencia encerrados en sus laboratorios, el autor busca un cambio de método a través del trabajo situado en los límites entre disciplinas. Es en esta perspectiva donde están aflorando nuevos campos, como la biotecnología o la neurociencia, difuminando, en cierta medida, la visión tradicional que teníamos sobre la ciencia. Tampoco podemos dejar de lado el auge que están teniendo las nuevas tecnologías durante las últimas décadas. Desde el desarrollo del *hardware* a la creación de nuevos lenguajes de programación como Java, Python, PHP, C++ o Fortran, las nuevas ciencias de la computación están revolucionando el panorama científico y tecnológico actual, abriendo así nuevos horizontes en la investigación científica actual.

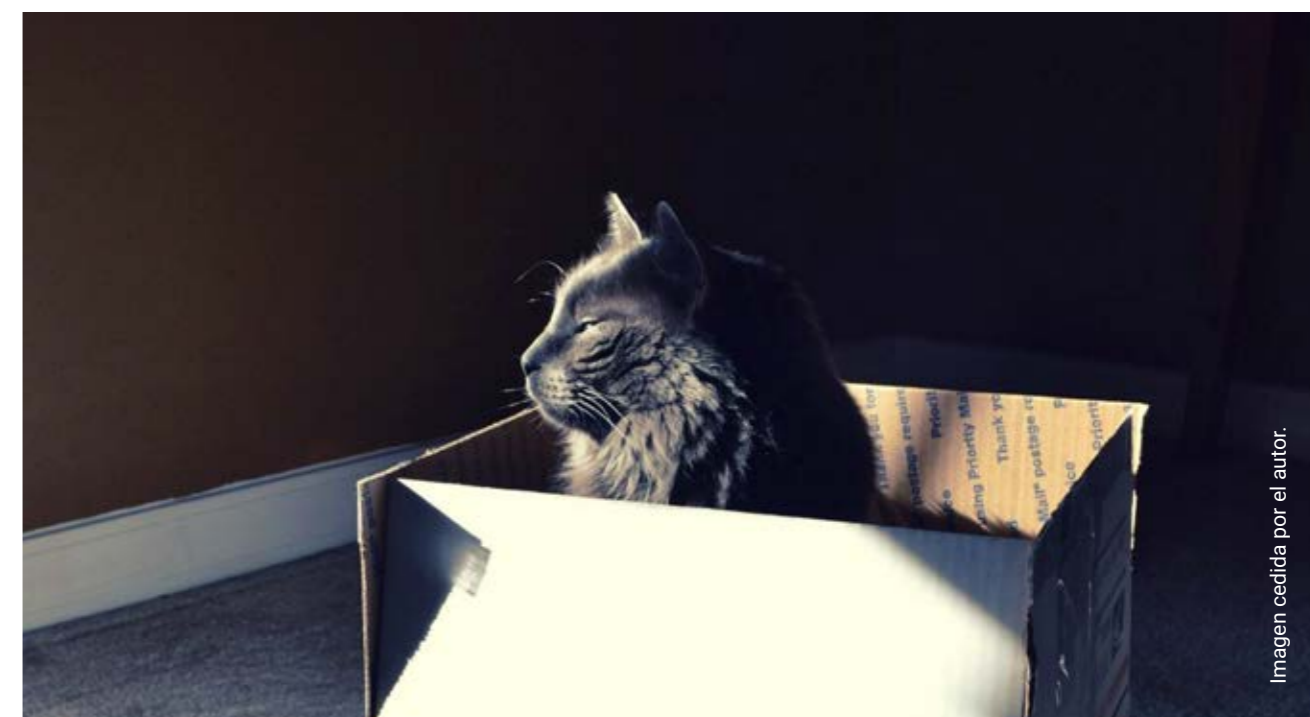


Imagen cedida por el autor.



“La conversión de reactivos a productos es más compleja que una simple transformación directa, casi mágica.”

La herramienta que tiene la llave para mejorar la selectividad de los procesos es el uso de un catalizador. Los catalizadores son especies químicas que aumentan enormemente la velocidad de los procesos, a la vez que son capaces de regenerarse una vez ha acabado el proceso de reacción. Es decir, cuando catalicemos nuestra reacción no sólo vamos a mejorar la selectividad hacia un producto determinado, ¡sino que también vamos a hacer que el proceso vaya mucho más deprisa! Su forma de actuar es muy simple ya que el “peaje energético” que tienen que pagar las moléculas es mucho menor por el camino de reacción catalizado que por el sendero catalizar, por lo que la mayor parte de las moléculas irá por el camino más fácil y cómodo.

tro” de éstas. La conversión de reactivos a productos es más compleja que una simple transformación directa, casi mágica. Una importante cantidad de reacciones ocurren siguiendo una serie de pequeñas etapas intermedias, conocidas como etapas elementales, hasta llegar a los productos. Cada una de estas etapas ocurren en un único paso y el conjunto de todas estas etapas da lugar a la reacción química principal, global. La idea clave es que los procesos químicos siguen, por tanto, un mecanismo de reacción, que no es más que un puzle de etapas elementales o mejor dicho, la descripción detallada, paso a paso, de una reacción química. Los reactivos se transforman progresivamente en especies químicas intermedias, que aparecen y desaparecen a lo largo del mecanismo. Por tanto, estas especies no aparecen en la reacción global que estamos estudiando... ¡pero pueden dificultar mucho el proceso! El principal inconveniente que presentan estos intermedios de reacción es que presentan baja estabilidad

(reaccionan rápidamente), por lo que su detección e identificación no es nada fácil. Sin embargo, su estudio computacional es mucho más sencillo, lo que nos lleva a entender mucho mejor el mecanismo de reacción. Por ejemplo, para la reacción química de formación de yodo molecular y cloruro de hidrógeno (productos) a partir de hidrógeno molecular y cloruro de yodo (reactivos), el intermedio del proceso (HI) se genera en la primera etapa elemental, desapareciendo en la segunda etapa:



Cada una de las etapas elementales (que, recordemos, ocurrían en un único paso) dan lugar a lo que se conoce como un estado de transición. Esto es un estado con

periodos de vida muy cortos, ya que son estructuras muy energéticas con enlaces químicos ligeramente “rotos” y otros a medio formar.

Pero, ¿qué utilidad tiene conocer cómo funciona “por dentro” una reacción química? Anteriormente hemos hablado de que las reacciones, muy generalmente, tienen lugar siguiendo pasos elementales, que químicamente son mucho más sencillos, para generar finalmente nuestros productos deseados. En las reacciones químicas es muy habitual obtener productos secundarios, además del principal, por lo que en el caso de que deseemos minimizar la generación de estos productos colaterales, es muy útil conocer cómo es el “mapa” del proceso. De esta forma, podemos tomar caminos alternativos para llegar a nuestro destino o, por el contrario, impedir que nuestras pequeñas moléculas vayan a través de esos caminos, para generar mayoritariamente un único producto.

El mundo de los catalizadores es más grande de lo que puede parecer a primera vista. Existen catalizadores homogéneos, los cuales se encuentran en disolución junto con los reactivos y los productos. Sin embargo, muchas reacciones pueden ser catalizadas haciendo que transcurran sobre una superficie sólida adecuada. Este tipo de catálisis se conoce como catálisis heterogénea ya que el catalizador se encuentra en una fase (algo muy parecido al estado de la materia) diferente a la de los reactivos y productos. En este caso, los reactivos en fase líquida o gaseosa se unen a la superficie del catalizador en unas posiciones muy concretas, conocidas como sitios activos, produciéndose así la reacción química. Además, existen una serie de catalizadores biológicos conocidos como enzimas que pueden actuar sobre una gran variedad de reacciones. Estas especies presentan características de la catálisis homogénea, puesto que las enzimas se encuentran en disolución, a la vez que reaccionan en sitios activos, como ocurre en los catalizadores heterogéneos.



◀ El físico austriaco Erwin Schrödinger ayudó a sentar las bases de la mecánica cuántica gracias a la ecuación que lleva su nombre.

Ahora bien, visto el funcionamiento de las reacciones químicas por dentro y la gran utilidad que tiene la catálisis, podemos empezar a pensar cómo estudiar estos procesos a través de un ordenador. Existen diversas formas de simular los procesos químicos de forma computacional, estando todas ellas basadas en diferentes principios físicos y matemáticos. El factor común en todas las metodologías es la resolución de auténticas bestias matemáticas. A decir verdad, es posible obtener toda la información que deseemos sobre nuestro sistema de estudio mediante la ecuación de Schrödinger dependiente del tiempo:

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi(\mathbf{r}, t) = H\Psi(\mathbf{r}, t)$$

Sin embargo, la resolución de esta ecuación presenta una enorme dificultad. En determinadas condiciones, podemos llegar a una expresión mucho más cómoda:

$$H\Psi = E\Psi$$

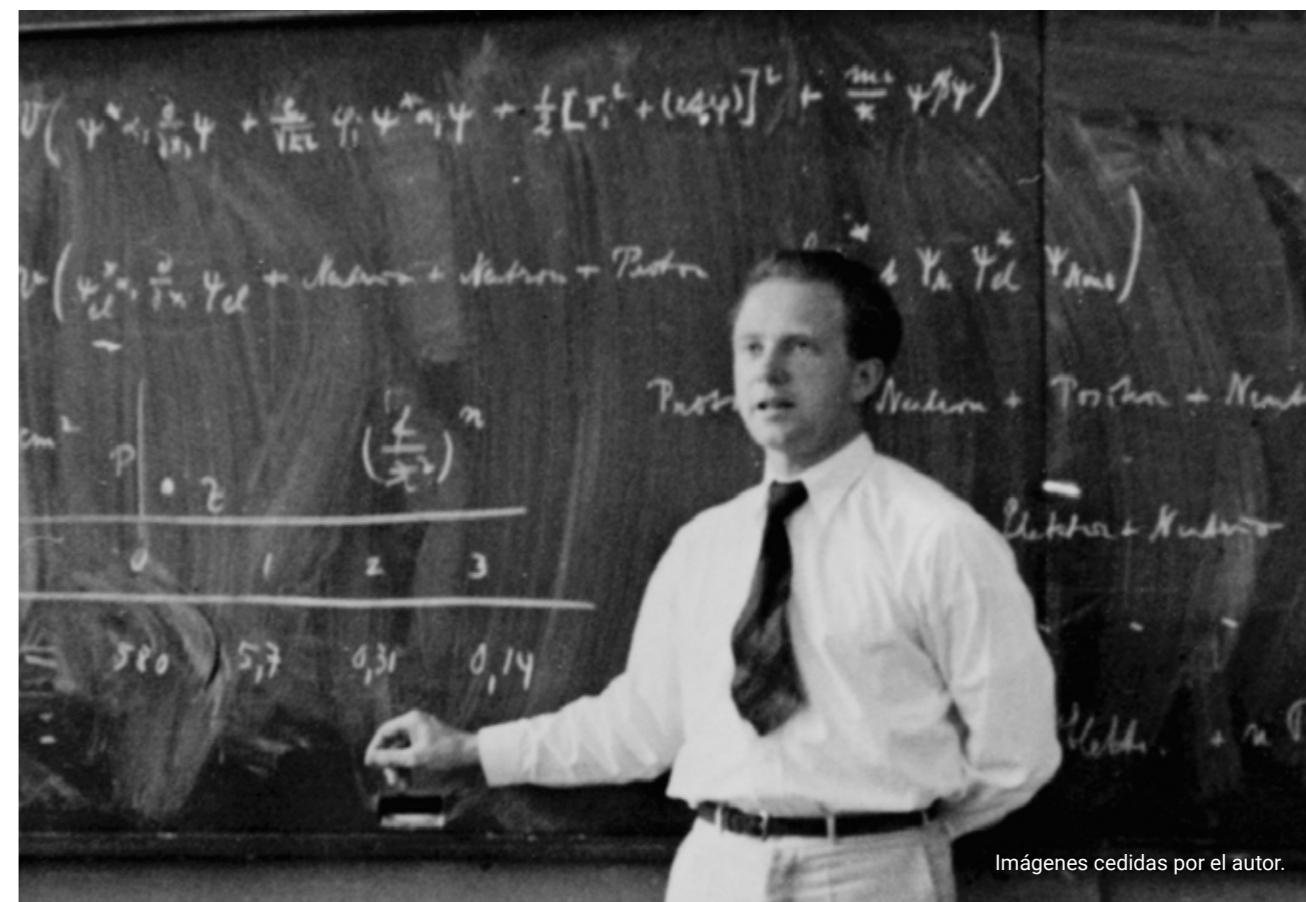
Aunque no es momento de describir en profundidad el significado de las ecuaciones anteriores, cabe mencionar que la ecuación anterior (conocida como la ecuación

de Schrödinger independiente del tiempo) únicamente puede resolverse de forma exacta para el átomo de hidrógeno (y demás especies con un único electrón, como el catión  $\text{HeH}^+$ ). Es por esto por lo que se requiere de una serie de aproximaciones matemáticas para su resolución, así como del uso de supercomputadores que permitan abordar enormes cantidades de cálculo. Entre la variedad de metodologías desarrolladas destacan los métodos *ab initio*, que hacen uso de las leyes de la mecánica cuántica y de las constantes físicas fundamentales, como la constante de Planck o la masa del electrón. No obstante, la capacidad de cálculo que presentan los supercomputadores en la actualidad no es suficiente para abordar sistemas muy grandes, tales como proteínas, polímeros o reacciones en disolución. Se hace uso, para ello, de métodos de mecánica molecular (MM), ya que utilizan las leyes de la física clásica (como el oscilador armónico o potenciales de interacción) donde los átomos se convierten en bolas de billar y los enlaces químicos que los unen, en muelles. Aunque su precisión es moderada y no se calculan las propiedades relativas a los electrones, el uso de métodos MM es muy viable desde el punto de vista computacional ya que permite abordar grandes sistemas químicos con limitados recursos.

El desarrollo de algoritmos cada vez más complejos y ordenadores con mayor capacidad de cálculo ha permitido anticipar los productos resultantes en las reacciones orgánicas, además de sus estructuras más estables, gracias al *deep learning* (un conjunto de algoritmos de *machine learning*).<sup>1,2</sup> El aprendizaje automático o *machine learning* es un campo de la inteligencia artificial que trabaja en técnicas para el aprendizaje de los ordenadores. De esta forma es posible predecir las reacciones elementales que tienen lugar en los procesos químicos y obtener así el mecanismo del proceso. Desde una perspectiva histórica, ha habido varias aproximaciones para la predicción de reacciones químicas, basadas en los principios descritos tradicionalmente y desde una perspectiva teórica a través de la mecánica cuántica, algo extremadamente caro desde el punto de vista práctico. Sin embargo, el uso de *machine learning* permite trabajar con una gran cantidad de datos, además de ser una metodología considerablemente rápida. Pese a ser una estrategia muy prometedora en la investigación científica actual, en tanto que su utilidad práctica puede ser tremenda, los inconvenientes que presenta no pueden dejarse de lado.

“El aprendizaje automático o *machine learning* es un campo de la inteligencia artificial que trabaja en técnicas para el aprendizaje de los ordenadores.”

Werner Heisenberg es conocido por su formulación del principio de incertidumbre. Este principio afirma que es imposible medir simultáneamente y de forma precisa dos magnitudes como la posición y el momento lineal de una partícula.



Imágenes cedidas por el autor.

Por ejemplo, la existencia de reacciones sin ajustar estequiométricamente complica el desarrollo de esta nueva tecnología. Pese a ello, es posible combinar todas las estrategias conocidas hasta el momento para poder predecir con éxito las futuras reacciones estudiadas. El funcionamiento de estos algoritmos se basa, al igual que los procesos orgánicos que se quieren estudiar, en el movimiento de los electrones. Para ello, el código busca dónde se encuentran las posibles fuentes de electrones y a los lugares donde pueden dirigirse. Gracias a ello, se buscan los centros más reactivos de las moléculas y se enumeran todas las posibles reacciones. Este proceso se repite de forma iterativa (es decir, de forma reiterada) para encontrar el proceso global, así como para buscar posibles productos sin identificar.

Puede parecer que esta predicción de las reacciones químicas es sencilla pero, para desarrollar estas nuevas metodologías se necesitan estudiar... ¡millones de reacciones! De esta forma se consigue (con un poco de paciencia) que las máquinas vayan aprendiendo, poco a poco, cómo funciona la química orgánica y así, mejorar su capacidad de predicción. Esta forma de trabajar es muy semejante a la utilizada para desarrollar los conocidos asistentes que utilizamos en nuestros móviles y *smartwatches*. La capacidad de anticipar los productos de las reacciones pone de manifiesto el interés por

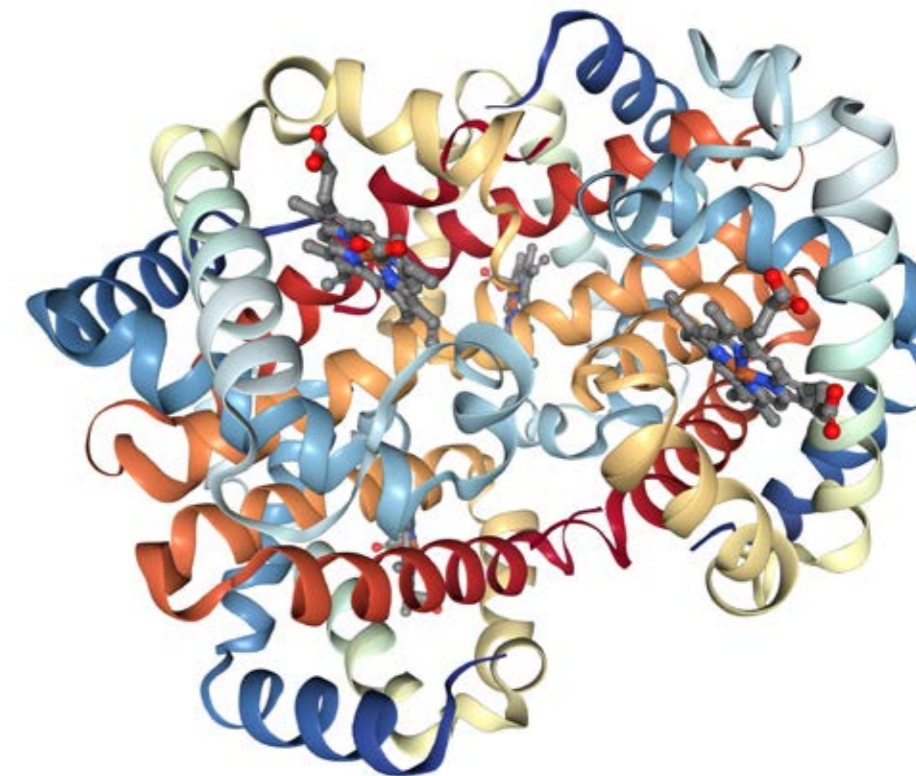
predecir el comportamiento de los sistemas químicos, debido a las mejoras en la productividad a escala de laboratorio e industrial. La capacidad de anticiparse al comportamiento de futuras estructuras moleculares presenta aplicaciones crecientes en diversas áreas.

#### NUEVAS PERSPECTIVAS EN EL DESARROLLO DE FÁRMACOS: EL QSAR

No podemos dejar de lado, por supuesto, el mundo de la biomedicina y la biotecnología. De forma cada vez más frecuente se requieren terapias médicas personalizadas o fármacos (*drugs*) más específicos que sean capaces de tratar patologías disminuyendo los efectos secundarios. Desde un punto de vista biológico, esto supone la interacción de los principios activos de los fármacos con las estructuras biológicas (generalmente proteínas) que juegan un papel determinante en la enfermedad. Puede ser muy útil, por ejemplo, inhibir una enzima o potenciar su actuación, en detrimento de otras. Debido a la enorme variedad de situaciones biológicas y a la complejidad de interactuar de forma selectiva con ellas, es muy difícil la simulación de estas estructuras.

Gracias a una de las grandes reglas de oro de la química, la cual establece que la estructura determina la función, se ha desarrollado la metodología QSAR (del inglés, *Quantitative structure-activity relationship*), que

► **Estructura de la hemoglobina, una de las proteínas más importantes de la sangre debido a sus funciones de transporte de oxígeno y regulación del pH.**



permite el desarrollo de moléculas con posibles aplicaciones médicas. Es decir, el origen de las propiedades macroscópicas, biológicas o farmacológicas, de un producto químico dependerán de la estructura molecular y por ello, una modificación en dicha estructura se traduce en una variación en las propiedades. Estos modelos se basan en la regresión de las variables de predicción frente a la respuesta obtenida, puesto que la actividad de un compuesto químico depende de sus propiedades físicas, químicas y estructurales. La idea en torno a la que gira el QSAR es que los grupos en los que se centra la reactividad molecular (los conocidos como grupos funcionales) se modifican progresivamente, calculando así la actividad que presentaría la molécula con el centro reactivo biológico (diana). Tal y como suele abreviarse habitualmente, de una forma matemática:

$$\text{Actividad} = f(\text{estructura} + \text{propiedades}) + \text{error}$$

En definitiva, la mezcla entre matemáticas, física, informática y química está generando una generación de nuevos profesionales para responder a los nuevos retos de la ciencia de este siglo, en especial en campos como la biotecnología o la medicina personalizada, muchos de los cuales todavía no han aparecido. Todo este *boom* tecnológico puede verse reflejado en la importancia y el avance de las TIC, así como en los dife-

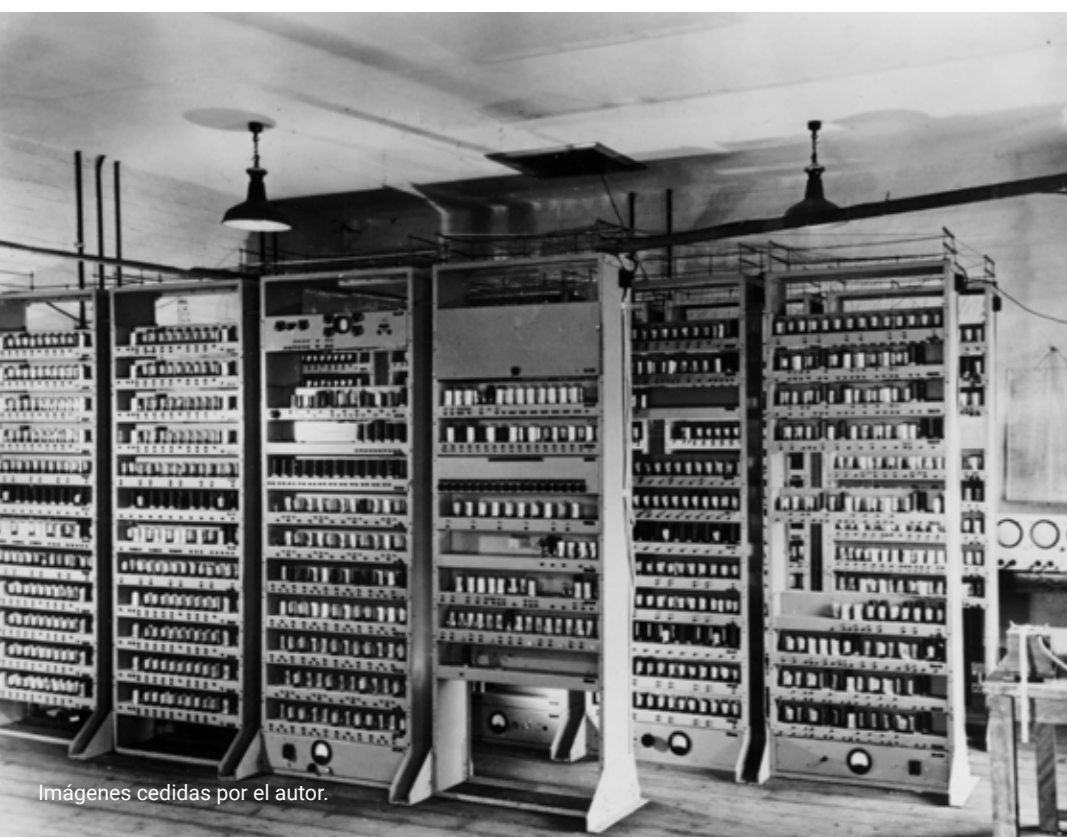
rentes puestos de trabajo transversales a estas ciencias que empiezan a aparecer en el mercado laboral.

Tal y como plantea Platón: “hay que tener en cuenta que, en las ideas en sí, las cosas no son blancas o negras, sino que existen infinitos matices de grises”. Por ello, todas las ciencias como las conocíamos se están reinventando, a la vez que el mundo que las rodea.

Héctor Madrona Martínez  
Dpto. de Química Física  
Facultad de Ciencias  
Universidad de Zaragoza

.....  
**REFERENCIAS**

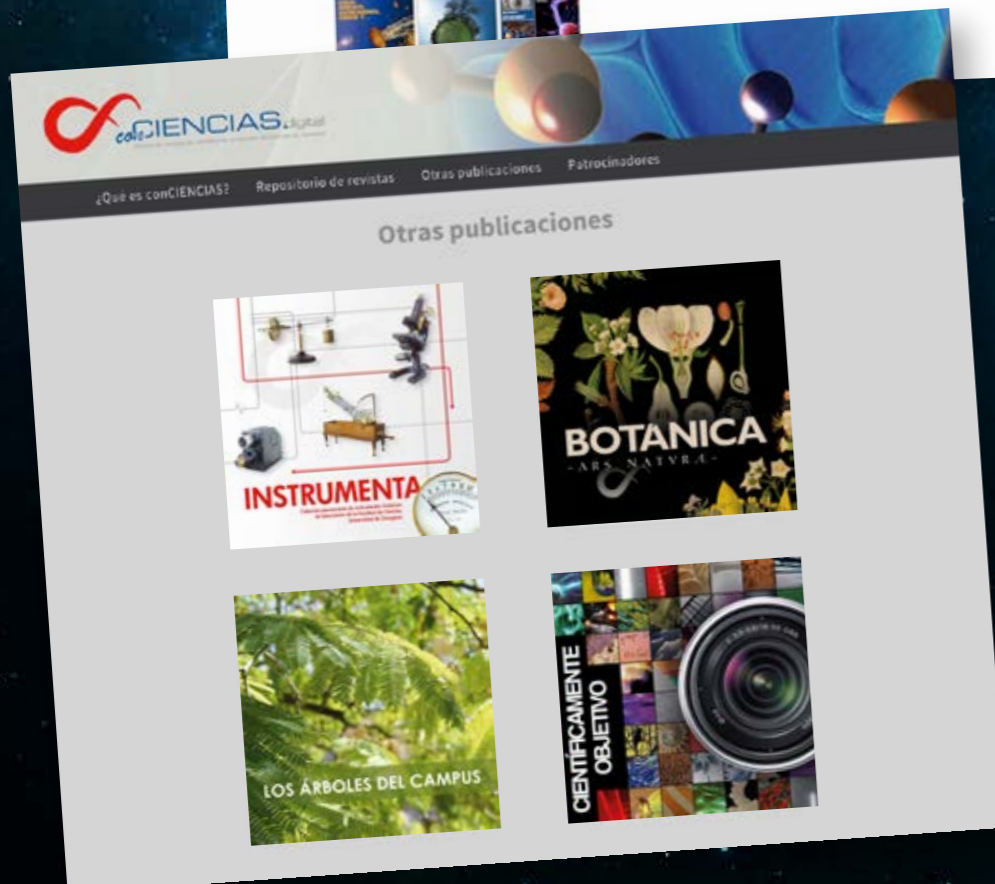
1. D. Fooshee, A. Mood, E. Gutman, M. Tavakoli, G. Urban, F. Liu, N. Huynh, D. Van Vranken and P. Baldi, *Mol. Syst. Des. Eng.*, 2018, 3, 442–452.
2. J. N. Wei, D. Duvenaud and A. Aspuru-Guzik, *ACS Cent. Sci.*, 2016, 2, 725–732.



◀ **Superordenador británico EDSAC, el cual ayudó a resolver por primera vez un problema en genética de forma computacional.**



ii Más de 11 años divulgando la Ciencia!!



divulgacionciencias.unizar.es



# Del quinto postulado a la forma del Universo

“La geometría no existe más allá de nuestra imaginación y tratarla como algo físico, propio del mundo que percibimos con nuestros sentidos, carece de sentido”.

Rubén Vigará Benito



unsplash.com

**I**maginemos un pequeño ser microscópico, para el cual todo el universo conocido cabe en una molécula formada por dos átomos de hidrógeno junto a uno de oxígeno. Imaginemos además que ese ser, pequeño en tamaño, es un gigante científico que tras realizar observaciones, mediciones, experimentos... llega a una fascinante conclusión, que anuncia ante sus colegas con la solemnidad que merece: "Nuestro universo puede ser de dos formas: Hielo o Agua, y será de una u otra forma dependiendo de una constante desconocida, que llamaré Temperatura. Si la temperatura es baja, nuestro mundo será Hielo, rígido y cristalino, y, si la temperatura estuviera por encima de un cierto umbral, el hielo se fundiría convirtiéndose en agua, fluida y adaptable".

Hace alrededor de dos siglos se produjo en nuestro planeta ¡por triplicado! un descubrimiento que tiene cierta analogía con la historia de nuestro pequeño ser. Tres gigantes geómetras de aquella época llegaron de manera independiente en Rusia, Hungría y Alemania a

una conclusión que podríamos resumir evocando a las elucubraciones anteriores: "Nuestro universo puede ser de tres formas: esférica, euclidiana o hiperbólica, y será de una forma u otra dependiendo del valor de una constante desconocida, que llamaremos Curvatura. Si la curvatura es positiva, el universo será esférico y cualquier trayectoria recta en el universo está condenada a volver al punto de partida desde el lado opuesto, como lo hacen los que (creen que) caminan en línea recta sobre la superficie de una esfera, y las rectas, que a simple vista parezcan paralelas, en realidad se irán acercando poco a poco hasta que necesariamente se corten en algún punto. Si la curvatura es negativa, el universo será hiperbólico, su geometría será enormemente rica con una gran diversidad de figuras que somos incapaces de imaginar como pentágonos, hexágonos, heptágonos... con todos sus ángulos rectos, y las rectas que creemos paralelas se alejarán indefinidamente según se vayan desplazando en la misma dirección. Si la curvatura es cero, el universo será euclidiano, en él se cumplirán todos los teoremas de la geometría clásica y las rectas paralelas se mantendrán siempre a la misma distancia, hasta el infinito." Hasta el infinito... ¿no será mucho?

#### MATEMÁTICAS FRENTE AL MUNDO FÍSICO

Desde nuestra más tierna infancia tenemos una tendencia innata a confiar en la palabra de nuestros maestros. Muchos de los contenidos que aprendemos durante nuestra etapa escolar se quedan grabados a fuego en nuestro cerebro, como verdades absolutas, y solamente cuando alcanzamos un conocimiento más avanzado sobre alguna materia somos capaces de ponerlos en duda. Una de las disciplinas que ofrece menos espacio para esta duda son las Matemáticas. Las Matemáticas se nos presentan en la escuela como una serie de verdades inmutables que además describen con exactitud el mundo real. Es cierto que algunos conceptos matemáticos están directamente extraídos de nuestra observación del mundo, de modo que es difícil ponerlos en duda, aunque hay otros que no resistirían un análisis mínimamente detallado. Un ejemplo del primer tipo es el concepto de perpendicularidad, y uno del segundo tipo sería el concepto de paralelismo. Todos creemos haber visto multitud de rectas perpendiculares y de rectas paralelas. Nos hablaron de la existencia de ambos tipos de rectas prácticamente a la vez y las hemos guardado en el mismo cajón de nuestra memoria. Sin embargo, ambos conceptos son muy diferentes. ¿Cómo se comprueba que dos rectas son perpendiculares? Debemos acercarnos al punto de intersección

**“Aunque la geometría se inspire en nuestra percepción del mundo físico, no forma parte de él.”**

y comprobar que los ángulos adyacentes que forman son idénticos. ¿Cómo se comprueba que dos rectas son paralelas? Tarea difícil es esta: hay que ir hasta el infinito, comprobar que no se cortan... y luego volver. Aunque comprobar la perpendicularidad tenga su dificultad y cualquier proceso de medida tenga un error inherente, al menos es algo que ocurre delante nuestro.

En realidad, la geometría no existe más allá de nuestra imaginación (mundo lógico), y tratarla como algo físico, propio del mundo que percibimos con nuestros sentidos (mundo ontológico) carece de sentido. Aunque la geometría se inspire en nuestra percepción del mundo físico, e incluso sea capaz de producir múltiples aplicaciones prácticas en dicho mundo, no forma parte de él.

#### LOS ELEMENTOS DE EUCLIDES

Al contrario que otras teorías científicas, que suelen aparecer con un apellido que recuerde a su descubridor (la mecánica de Newton, la teoría de la relatividad

de Einstein, el modelo atómico de Bohr, la teoría de la evolución de Darwin...), la geometría se enseña en la escuela sin apellido, aunque si hubiera de llevar uno ese sería el de Euclides de Alejandría. Aunque se expliquen los Teoremas de Pitágoras, y de Tales, fundamentalmente la geometría que se enseña a lo largo de casi toda la etapa escolar (hasta que bien entrada la educación secundaria se introduce la *geometría analítica*, debida a Descartes, usando ejes coordenados), está basada en Los Elementos de Euclides. Nunca está de más recordar que Los Elementos es una de las obras más importantes de todos los tiempos, el segundo libro con más ediciones de la historia (solo superado por La Biblia), y ha sido el libro con el que han aprendido matemáticas los eruditos de distintas épocas y culturas durante más de 2000 años.

Aunque muchos de los resultados que aparecen en Los Elementos ya eran conocidos por egipcios y babilonios más de mil años antes de Euclides, lo que diferencia

“La geometría se enseña en la escuela sin apellido, aunque si hubiera de llevar uno ese sería el de Euclides de Alejandría.”



Wikimedia Commons

De izquierda a derecha, Gauss, Lobachevski y Bolyai



Euclides de Alejandría, retrato de Justus van Gent fechado en 1474 (izquierda) y papiro datado a finales del siglo I d.C. con parte de los Elementos de Euclides (derecha).

Wikimedia Commons

a Los Elementos y a la Matemática griega en general, de la matemática anterior es la introducción del método axiomático deductivo. A partir de unas definiciones y unos pocos principios, que por ser tan evidentes se enuncian sin demostración (axiomas o postulados), se van deduciendo de forma lógica diferentes resultados cada vez más complejos (proposiciones o teoremas), al igual que las fichas de dominó puestas de pie en fila van cayendo de una en una tras caer la primera de ellas.

En Los Elementos, tras introducir 23 definiciones sobre distintos objetos geométricos (punto, línea, ángulo...), Euclides enuncia los cinco postulados en los que basa la geometría plana:

- P1. Se puede trazar una línea recta desde un punto a cualquier otro.
- P2. La línea recta puede prolongarse cuanto se desee.
- P3. Puede describirse un círculo de radio arbitrario y centrado en un punto arbitrario.

- P4. Dos ángulos rectos cualesquiera son iguales.
- P5. Si una línea recta, cayendo sobre otras dos, forma, al mismo lado, ángulos internos cuya suma es menor que dos rectos, aquellas dos, prolongadas hacia ese lado, se cortan.

Los postulados P1, P2 y P3 afirman, esencialmente, que tenemos una regla y un compás con los que podemos trazar rectas y circunferencias a nuestro gusto. La idea de perpendicularidad, que hemos mencionado antes, aparece explícitamente en P4, mientras que el concepto de paralelismo aparece escondido debajo del postulado P5. Habitualmente se suele sustituir el postulado P5 por el postulado equivalente:

- P5'. Por un punto exterior a una recta pasa una única recta paralela.

El postulado P5' es conocido como Axioma de Playfair<sup>1</sup>, aunque ya aparece en los comentarios a los Elementos

de Proclo. Un hecho muy remarcable es que Euclides ya proporciona al paralelismo un trato especial, sutilmente diferente al resto de propiedades geométricas. Las rectas perpendiculares se definen en la Definición 10 de las 23 definiciones iniciales, mientras que las paralelas aparecen en la Definición 23 (¡la última!) y, mientras que los postulados P1 a P4 son utilizados desde el principio de la obra, P5 no es utilizado hasta la Proposición 29.

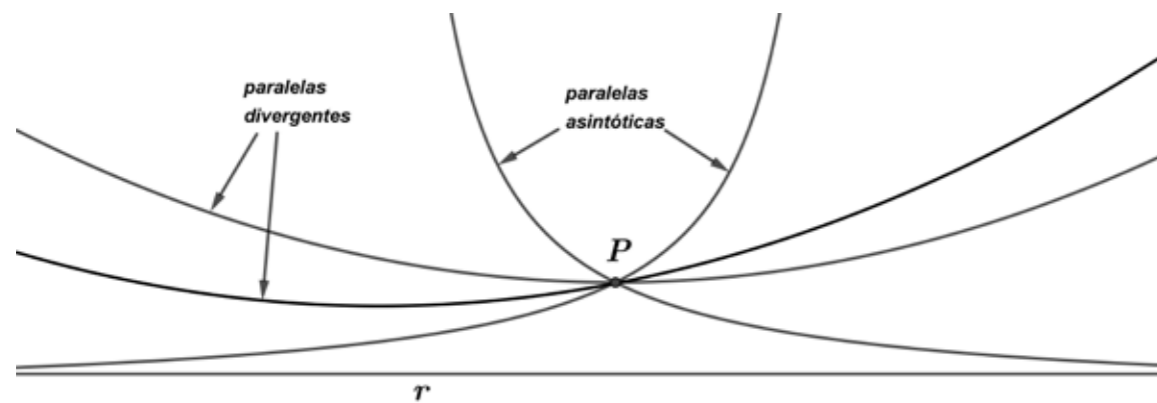
Quizá debido a su enrevesado enunciado, muchos matemáticos posteriores a Euclides como Tolomeo o Proclo comenzaron a dudar de que P5 fuese un postulado. Pensaban que en realidad P5 era un teorema que se podía deducir de P1-P4. Surge así el Problema de las paralelas.

**Problema de las paralelas:** ¿Es P5 una consecuencia de P1-P4, o es independiente de ellos?

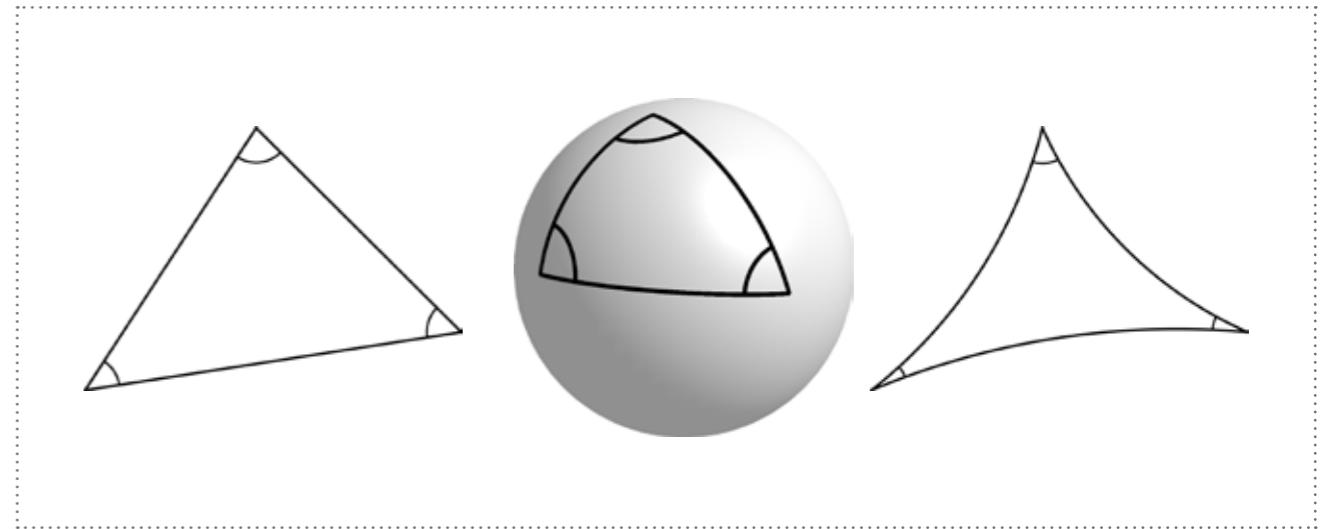
Cabe pensar que, dentro de una concepción platónica del saber matemático, Euclides y sus contemporáneos supieran discernir perfectamente la separación entre las matemáticas, como saber perteneciente al mundo de las ideas, y el mundo físico en el que se basan. Euclides se podía permitir dudar sobre la introducción o no del quinto postulado porque era consciente de que era decisión suya, podía hacerlo o no hacerlo, y lo introdujo probablemente porque lo necesitaba para demostrar algunas propiedades que se daban por bien

conocidas, como el Teorema de Pitágoras, o el teorema que afirma que la suma de los ángulos de un triángulo es igual a dos rectos ( $180^\circ$ ). Sin embargo, esta separación entre la matemática y el mundo real se fue diluyendo con el tiempo. Llegada ya la Edad Media la geometría euclidiana era considerada como la geometría *necesariamente verdadera*, la única geometría posible, exactamente igual que nos ocurre a nosotros tras nuestro paso por la escuela. Los intentos por demostrar el quinto postulado a partir de los otros cuatro prosiguieron durante varios siglos, sin éxito.

**En geometría hiperbólica por un punto P exterior a una recta r pasan infinitas rectas paralelas. Dos de ellas se acercan a r asintóticamente por cada uno de los lados (paralelas asintóticas), mientras que el resto son divergentes, se alejan indefinidamente de r por ambos lados.**



Imágenes cedidas por el autor.



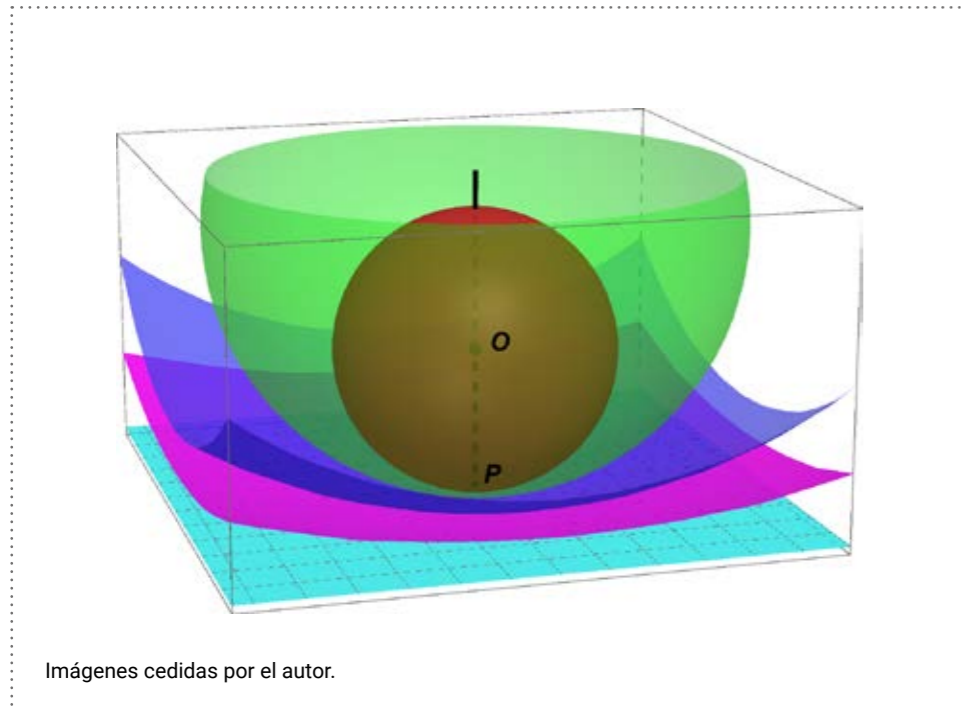
La suma de los ángulos interiores de un triángulo euclidiano (a) es igual a  $180^\circ$ , mientras que en un triángulo esférico (b) es mayor que  $180^\circ$  y en un triángulo hiperbólico (c) es menor que  $180^\circ$ .

**EL DESCUBRIMIENTO DE LAS GEOMETRÍAS NO EUCLIDIANAS: GAUSS, LOBACHEVSKI Y BOLYAI**

El problema de las paralelas ocupó la mente de numerosos matemáticos hasta que a principios del siglo XIX fue resuelto de manera independiente por tres matemáticos diferentes<sup>2</sup>: Gauss en Alemania, Bolyai en Hungría y Lobachevski en Rusia. Bolyai y Lobachevski publicaron casi simultáneamente sendos trabajos<sup>3,4</sup> en los que, a la manera de Euclides, desarrollaron una geometría en la que los postulados P1-P4 se cumplen, pero el postulado P5 no. Esa geometría *no euclidiana* es conocida ahora como geometría hiperbólica, nombre que fue introducido posteriormente por Klein. Gauss, el más grande matemático de aquella época, y quizá de todas, trabajó en el problema durante muchos años, pero no publicó ninguna de sus elucubraciones sobre el mismo, aunque dejó constancia de ellas y fue probablemente la única persona que apreció en su día los trabajos de Bolyai y Lobachevski.

Muchas de las fórmulas de la geometría hiperbólica dependían de una constante desconocida que ahora interpretamos como la curvatura gaussiana, que es negativa cuando la geometría es hiperbólica. Si la curvatura se considera positiva, las fórmulas trigonométricas hiperbólicas se convierten como por arte de magia en fórmulas trigonométricas de geometría esférica, que ya eran conocidas desde mucho tiempo atrás. En el caso intermedio, cuando la curvatura es nula, aparecen las fórmulas propias de la geometría euclidiana.

“El problema de las paralelas ocupó la mente de numerosos matemáticos hasta principios del siglo XIX.”



Imágenes cedidas por el autor.

◀ **En geometría euclidiana una sucesión de esferas cuyo radio tiende a infinito se aproxima a un plano. En geometría hiperbólica esta superficie límite no es un plano sino otra superficie que recibe el nombre de horosfera. La geometría de una horosfera es equivalente a la de un plano euclidiano.**

Esas tres geometrías (euclidiana, esférica e hiperbólica) también están relacionadas por medio de otras magnitudes geométricas, como la suma de los ángulos de un triángulo. Mientras que en geometría euclidiana la suma de los ángulos interiores de un triángulo es igual a dos rectos, sobre la superficie de una esfera esta suma es mayor que dos rectos (imagine el lector en el globo terráqueo un triángulo con un vértice en el Polo Norte y los otros dos sobre la línea ecuatorial). La geometría hiperbólica rellena el hueco que falta pues en ella la suma de los ángulos interiores de un triángulo es menor que dos rectos.

Ninguno de los tres, ni Gauss, ni Lobachevski ni Bolyai llegó a resolver el problema de la consistencia de la nueva geometría. La teoría sería inconsistente si llevaba a demostrar resultados que fuesen contradictorios. Era un problema que a Gauss preocupaba enormemente, y quizá la causa de que no publicara nada al respecto: no quería arriesgarse a meter la pata. Al fin y al cabo, era considerado el mayor geómetra de su tiempo y tenía un prestigio que mantener. No obstante, las mismas dudas sobre la consistencia se podían albergar sobre la geometría euclidiana, y esto a nadie le preocupaba. Lobachevski y Bolyai tampoco llegaron a demostrar dicha consistencia, pero estaban íntimamente

convencidos de ella por varios motivos. El principal es que, en cierto modo, la geometría hiperbólica contiene a la euclidiana. Imaginemos una esfera  $S$  con centro en un punto  $O$  del espacio y que pasa por otro punto,  $P$ . Imaginemos un rayo  $r$  que sale de  $P$  atravesando  $O$ , e imaginemos que  $O$  comienza a alejarse de  $P$  a lo largo de dicho rayo, mientras que  $P$  queda fijo. La esfera  $S$  seguirá pasando por  $P$ , pero su radio será cada vez más grande, de manera que en las cercanías de  $P$  cada vez parecerá más "aplanada". En el espacio euclidiano, según  $O$  se va alejando de  $P$ , la esfera  $S$  va a ir acercando más y más al plano perpendicular a  $r$  que pasa por  $P$ . Sin embargo, en el espacio hiperbólico la esfera  $S$  no se aproximaría a un plano del espacio hiperbólico sino a una superficie especial que recibe el nombre de horosfera y que, casualmente, tiene geometría euclidiana! Lobachevski y Bolyai utilizaron la geometría euclidiana de las horosferas para deducir numerosos resultados, como la trigonometría hiperbólica. Si la geometría del espacio hiperbólico llevara a contradicción, Lobachevski y Bolyai pensaban que la geometría euclidiana en él contenida también llevaría a una contradicción. La demostración de que la geometría hiperbólica es tan consistente como la euclidiana (*consistencia relativa*) se debe a Beltrami<sup>5</sup>. Poco después de los trabajos de Beltrami, Klein y Poincaré<sup>6, 7</sup> introdujeron los modelos



▲ **La 3-esfera. Si imaginamos que cuando el pez choca con la pared de la pecera azul en lugar de estrellarse aparece automáticamente en el punto equivalente de la pecera verde, y viceversa, como si hubiera atravesado un "portal mágico", ambas peceras formarán un universo del cual el pez no puede escapar.**

que llevan sus nombres (y que en realidad habían sido ya descubiertos antes por Beltrami) y terminaron de popularizar a la geometría hiperbólica, que pasó así a formar parte del corpus de la matemática de la época.

Lobachevski y Bolyai no sólo resolvieron un problema que muchos otros no habían logrado resolver, las consecuencias de sus trabajos son mucho más profundas de lo que somos capaces de imaginar. Gran parte de la ciencia que conocemos actualmente hunde sus raíces en ellos. Por línea directa, en el campo de la geometría, tras ellos llegaron los trabajos de Riemann y otros, sin los cuales serían inconcebibles las teorías de Einstein, por ejemplo. Pero yendo más allá, Lobachevski y Bolyai devolvieron a la matemática su verdadera naturaleza, perdida tras la Grecia clásica, como ciencia especulativa, liberada de la realidad que nos rodea, y con ello los matemáticos recobraron la capacidad de dudar de todo y la libertad de desarrollar teorías de todo tipo. Ellos encendieron la mecha de un incendio que acabó por estallar a finales del siglo XIX con la gran crisis de los fundamentos de la matemática. Gran parte de la matemática posterior, trabajos como los de Cantor, Gödel, Turing y muchos otros probablemente tampoco habrían sido posibles sin los padres de la geometría no euclidiana.

### LA CONJETURA DE POINCARÉ, THURSTON Y DE NUEVO LA GEOMETRÍA HIPERBÓLICA

Poincaré también es conocido como el fundador de la topología. En su artículo<sup>8</sup> y en sus sucesivos complementos sentó las bases de esta rama de la matemática y definió alguno de sus conceptos fundamentales. Uno de ellos es el concepto de variedad compacta: espacio abstracto tal que las cercanías de cada uno de sus puntos son idénticas a un espacio euclidiano, pero que en cierto modo es finito porque cualquier recorrido en ellos acaba pasando arbitrariamente cerca de algún punto por el que ya se ha pasado antes. Al contrario que con las variedades de dimensiones 1 y 2, cuya clasificación es sencilla, el estudio de las 3-variedades (variedades de 3 dimensiones) encierra grandes dificultades. Para que nos hagamos una idea, uno de los primeros problemas sobre 3-variedades propuesto por Poincaré tardó más de 100 años en resolverse, convirtiéndose en uno de los problemas más importantes de la matemática del siglo XX: la Conjetura de Poincaré<sup>9,10</sup>.

Todos hemos visto películas o series de fantasía en los que aparecían "portales mágicos", puertas que al atravesarlas trasladaban a los protagonistas a otro lugar,

A.



B.



C.



Imagen cedida por el autor.

otro tiempo, otra dimensión... Esa idea nos puede servir para ilustrar cómo se pueden construir 3-variedades, imaginándolas como universos alternativos en los que podríamos estar viviendo. Imaginemos un par de peceras como las de la figura de la página anterior. Imaginemos, además, que ninguna de ellas tiene en realidad un borde de cristal ni de ningún otro material, sino que el borde de ambas peceras, tal como lo vemos, es en su totalidad un portal mágico que comunica una pecera con la otra. De este modo, un pez que viva en ellas cuando aparentemente, desde nuestro punto de vista de observadores exteriores, choque con el borde de una pecera en realidad lo que hará será atravesar ese borde para aparecer en la otra pecera por el punto de la otra pecera que es idéntico al punto de salida de la pecera original. Como los bordes de ambas peceras no tienen ningún elemento que los distinga, el pez nadará y nadará moviéndose de una a otra pecera sin darse cuenta de que está realizando estos cambios, ni de que lo estamos observando. El conjunto formado por ambas peceras es todo su universo, y le es totalmente imposible salir de él. Este universo es la 3-variedad compacta más sencilla y recibe el nombre 3-esfera o esfera de dimensión 3. Del mismo modo en que los hemisferios norte y sur de nuestro planeta se pegan a lo largo del círculo ecuatorial para formar la superficie esférica de nuestro planeta, nuestras dos peceras serían como dos hemisferios tridimensionales que están pegados a lo largo de una superficie esférica *ecuatorial* para producir la 3-esfera.

Otra forma de construir 3-variedades es a partir de una única pecera con forma de poliedro en la que también existen puertas mágicas que conectan parejas de caras

del poliedro. Imaginemos que en el cubo de la figura de la página anterior (a) ponemos una puerta mágica en una cara ocupando toda la cara y conectándola con su opuesta. Cada punto de una cara se corresponde con un punto de la cara opuesta, pero esta correspondencia se puede hacer de varias maneras diferentes. Para saber cual estamos utilizando, imaginemos que hemos colocado una cortina en una de las puertas mágicas con el logo de esta revista, y que dicha cortina se ve desde los dos lados como en la figura (a). Repitiendo el mismo proceso exactamente igual en todas las caras, obtenemos un nuevo universo del que es imposible escapar, una nueva 3-variedad que se llama 3-toro o toro tridimensional. Del mismo modo, si en un dodecaedro conectamos cada cara pentagonal con su opuesta del modo indicado en la figura (b), obtenemos la *esfera homológica de Poincaré* (también conocida como *espacio dodecaédrico de Poincaré*, aparecido por primera vez en<sup>9</sup>), y si lo hacemos del modo indicado en la figura (c) construimos la *3-variedad de Seifert-Weber*<sup>11</sup>.

Imaginemos ahora que nuestro planeta se ubica en el centro de una de las peceras, y que desde el mismo parte una misión espacial. Una nave con varios astronautas y provisiones para un largo viaje parte del planeta con la intención de recorrer el universo, pero, para evitar perderse y poder regresar siempre a casa utilizan un medio rudimentario: portan un cable con un extremo en la Tierra que irán desplegando a lo largo de todo su viaje. Imaginemos que tras un largo viaje vagando por el universo los astronautas que creían estar alejándose más y más se tropiezan con... ¡la Tierra! ¿Por qué no? Tras su regreso habrían dejado un rastro de cable por el universo con origen y fi-

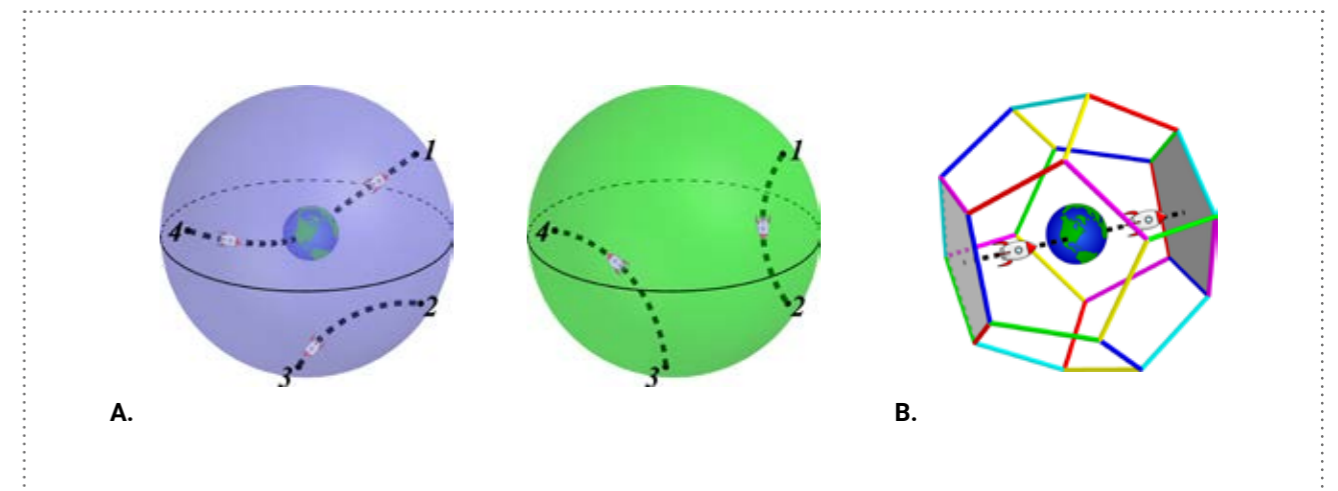
nal en la Tierra. Si la única masa de este universo fuese la de la Tierra, y el universo fuese la 3-esfera, es fácil imaginar que este cable necesariamente se acabaría precipitando sobre el planeta por efecto de la gravedad. En los otros tres ejemplos esto no se cumple: si la nave parte desde el centro del poliedro en línea recta hasta atravesar el centro de una cara y prosigue el camino en línea recta desde el centro de la cara opuesta de nuevo hasta el planeta Tierra como en la figura anexa (b), el cable no podrá contraerse para traerlo de nuevo a la Tierra a menos que lo soltemos de un extremo y estiremos del otro.

Cualquier lazo en la 3-esfera que empieza y termina en el mismo lugar siempre puede ir haciéndose poco a poco más y más pequeño sin necesidad de romperlo hasta recogerse en un único punto. Las 3-variedades que cumplen esta misma propiedad decimos que son *simplemente conexas*. La 3-esfera es simplemente conexa, mientras que ni el 3-toro ni la esfera homológica de Poincaré ni la 3-variedad de Seifert-Weber lo son.

**Viaje espacial:**  
(a) por la 3-esfera y (b) por la variedad de Seifert-Weber. Cuando la nave sale de una figura aparece en la otra pecera, en el caso (a), o en la cara opuesta, en el caso (b).

(a) 3-toro; (b) esfera homológica de Poincaré; (c) espacio de Seifert-Weber. Cada caso es un "universo" tridimensional formado por los puntos de dentro del poliedro. En cada cara hay un "portal mágico" de manera que un habitante que intente

abandonar el poliedro por una cara aparecerá automáticamente por la cara opuesta. Una cortina colocada justo en una de las caras se vería también en la cara opuesta del modo indicado en las figuras (obsérvese la sutil diferencia entre los casos (b) y (c)).



¿Es la 3-esfera la única 3-variedad compacta simplemente conexa?

Esta pregunta la formuló por primera vez H. Poincaré<sup>9</sup>, y a lo largo de los años se ha venido llamando “Conjetura de Poincaré” a la suposición de que la respuesta a esta pregunta era afirmativa.

La Conjetura de Poincaré resultó una cima harto complicada. Los topólogos exploraron múltiples caminos y desarrollaron multitud de técnicas para atacarla sin éxito. El problema recibió un fuerte impulso durante los años 70 del pasado siglo gracias a los trabajos de W. Thurston<sup>12, 13</sup> que, además, pusieron de moda de nuevo la geometría hiperbólica. Thurston incluyó la Conjetura de Poincaré como parte de un programa aún más ambicioso que pretendía clasificar de cierta manera todas las 3-variedades compactas, un programa en el que la geometría, y en especial la geometría hiperbólica, era clave. Esencialmente, se trataba de estudiar las 3-variedades a partir de las estructuras geométricas que podían soportar, donde “estructura geométrica” viene a ser la forma en que los habitantes de la 3-variedad podrían tomar medidas de distancias, ángulos, etc. dentro de su universo. Existen 3-variedades euclidianas, hiperbólicas o esféricas, por ejemplo, en las cuales un habitante que comenzara a hacer construcciones geométricas con regla y compás construiría figuras exactamente iguales a las que aparecen al desarrollar la geometría euclidiana, hiperbólica o esférica tridimensionales, respectivamente. El 3-toro que hemos construido anteriormente es un ejemplo de 3-variedad euclidiana, mientras que la 3-esfera y la esfera homológica de Poincaré admiten geometría esférica, y la 3-variedad de Seifert-Weber es uno de los ejemplos más sencillos de 3-variedad hiperbólica. Haciendo una simplificación muy tosca, la Conjetura de Geometrización de Thurston dice que todas las 3-variedades se pueden construir pegando “peceras geométricas”, piezas fundamentales que admiten geometría euclidiana, esférica, hiperbólica, o de otros 5 modelos geométricos propuestos por el propio Thurston.

De las ocho geometrías de Thurston, la hiperbólica ha resultado ser la más interesante, y desde el último cuarto del siglo XX se ha llevado a cabo una intensa investigación en 3-variedades geométricas en general, e hiperbólicas en particular, por medio de numerosos especialistas de todo el mundo. Estas investigaciones alcanzaron su momento álgido en 2003, cuando el matemático ruso G. Perelman demostró la Conjetura de Geometrización y, con ella, la Conjetura de Poincaré, en

varios trabajos que puso a disposición de la comunidad científica en internet<sup>14-16</sup>. Naturalmente, Perelman adquirió gran relevancia entre los matemáticos tras estos trabajos, pero adquirió mucha más si cabe para el público en general cuando rechazó tanto la medalla Fields que le concedió la Unión Matemática Internacional en su congreso de Madrid en 2006, como el millón de dólares que le ofrecía el Clay Mathematics Institute por haber resuelto uno de los Problemas del Milenio.

“Los propios fundadores de las geometrías no euclidianas ya buscaron evidencias sobre cuál de las geometrías era *más real*.”

## CURVATURA DEL UNIVERSO

Los viajes espaciales de la figura 8 son meros juegos conceptuales que pretendían ilustrar el concepto de 3-variedad, pero ¿y si no lo fueran? ¿Y si la realidad se pareciera un poco a alguno de estos mundos imaginarios? Si todo el universo conocido está contenido en una pequeña región de la 3-esfera, o del 3-toro, o de la variedad de Seifert-Weber... ¿cómo podríamos saberlo? Siempre hemos pensado que el universo es infinito, pero ¿qué evidencia real tenemos de ello?

Naturalmente, las preguntas anteriores no son nuevas. Los propios fundadores de las geometrías no euclidianas ya buscaron evidencias sobre cuál de las geometrías era “más real” tomando medidas en el mundo real de figuras lo más grandes posible y contrastando qué geometría se adaptaba mejor a la medida obtenida. Se cuenta que Gauss lo intentó tras inventar el heliotropo midiendo el triángulo formado por tres colinas próxi-

## REFERENCIAS

1. J. Playfair, *Elements of Geometry*, Nueva York: W. E. Dean, 1846.
2. J. Montesinos Amilibia, «Las geometrías no euclídeas: Gauss, Lobachevski y Bolyai.» de *Historia de la Matemática en el siglo XIX* (1ª parte), Madrid, Real Academia de las Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid, 1991, pp. 65-114.
3. N. Lobachevski, «Acerca de los principios de la Geometría (en ruso),» Mensajero de Kazan, 1829.
4. J. Bolyai, *Scientiam Spatii absolute veram exhibens: a veritate aut falsitate Axiomatis XI. Euclidei (a priori haud unquam decidenda) independentem; adjecta ad casum falsitatis, quadratura circuli geometrica*, (apéndice al Tentamen de Farkas Bolyai), Maros Vásárhelyini, 1832.
5. E. Beltrami, «Saggio di interpretazione della geometria non-euclidea,» *Gior. Mat.*, vol. 6, pp. 248-312, 1868.





mas a Gotinga<sup>17</sup>, y Lobachevski midiendo los ángulos de un triángulo con base el diámetro de la órbita terrestre y vértice en la estrella Sirio. En ambos casos, las medidas obtenidas fueron *aproximadamente* euclidianas, lo cual no permitió concluir nada. Aparte del error inherente a todo proceso de medida, en un universo hiperbólico (o esférico) las figuras pequeñas son muy similares a las euclidianas, casi indistinguibles, de modo que una medida aproximadamente euclidiana puede ser debida a que el mundo sea en realidad euclidiano o a que la figura medida no era lo suficientemente grande.

El problema de determinar qué geometría se adapta mejor a nuestro universo<sup>18</sup> ya no es un problema matemático, sino cosmológico, y distintos experimentos (WMAP, BOOMERanG, Planck) están aportando datos que quizá permitan resolverlo. La teoría de la relatividad general afirma que la geometría en un punto del universo viene marcada por la fuerza de la gravedad

“Como nuestro pequeño científico dentro de su molécula de agua, los cosmólogos seguirán observando el cielo en busca de respuestas.”

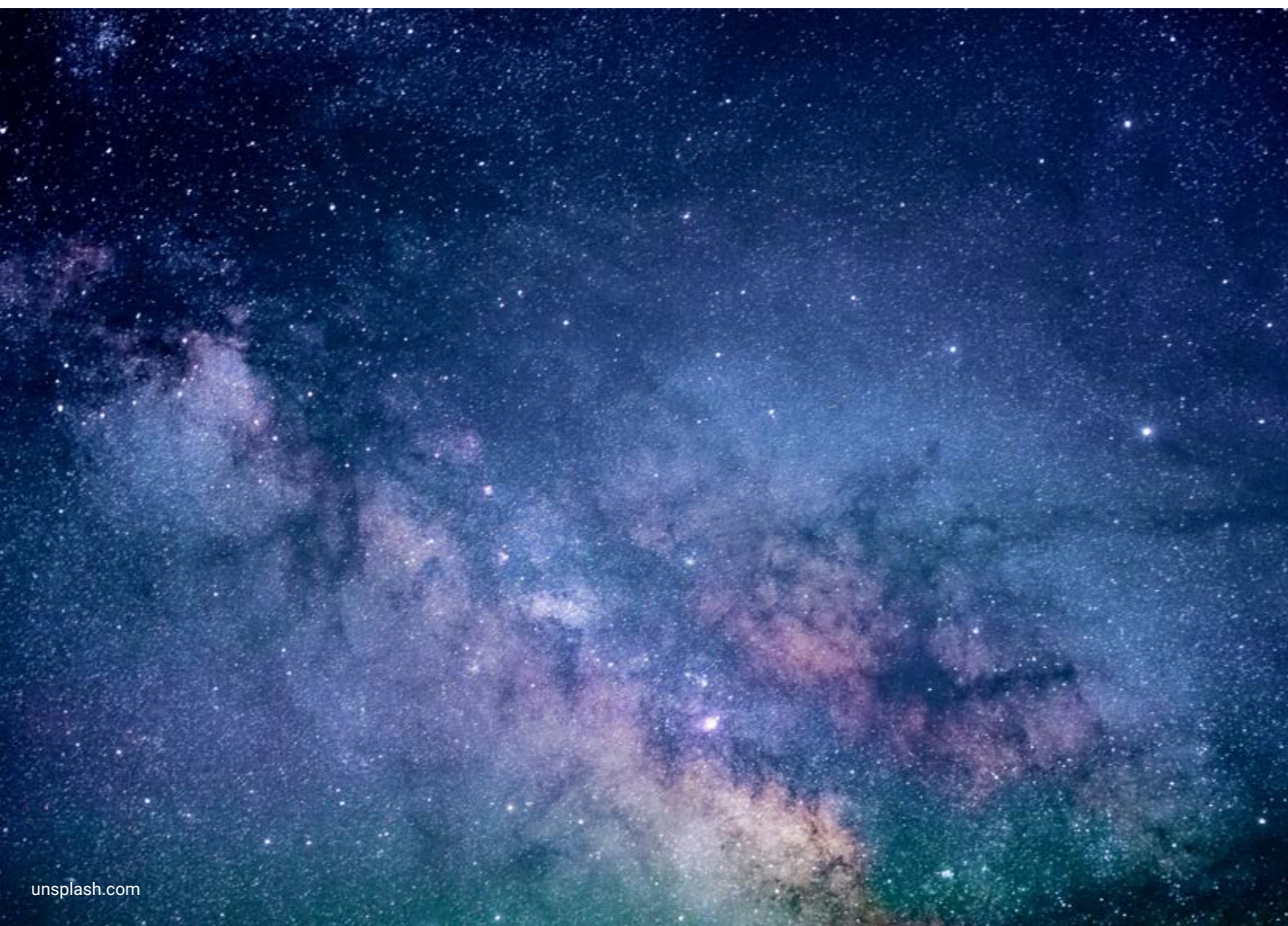
en ese punto, es decir, por la distribución de materia. De este modo, la curvatura geométrica es equivalente al *parámetro de densidad* cosmológico. A gran escala, la distribución de materia observada en el universo es similar en todos los puntos y en todas las direcciones en que miremos, lo que se corresponde con un universo euclidiano (plano), esférico o hiperbólico. No hay evidencia de que alguna de las otras geometrías de Thurston (u otra distinta) se corresponda mejor con los datos observados. Desde los trabajos de Thurston, la geometría local (curvatura~densidad) está íntimamente ligada con la geometría global, con la forma que adopta del universo como un todo. Por ejemplo, si el universo fuera esférico no podría ser infinito y no podría seguir expandiéndose indefinidamente, pues todas las 3-variedades esféricas son compactas y por tanto finitas, pero incluso en los casos plano e hiperbólico el universo podría ser finito si adoptara la forma de una 3-variedad compacta. Las observaciones hasta ahora se corresponden con un universo aproximadamente plano lo que, como en el caso de Gauss y Lobachevski, nunca termina de ser del todo concluyente. En 2003 un equipo de científicos observó que los datos proporcionados por el experimento WMAP sobre la radiación de fondo de microondas cuadraban con un universo que adoptara la forma de la esfera homológica de Poincaré<sup>19</sup>, y esta hipótesis no está de momento descartada.

Como tantas otras veces, un objeto aparentemente inútil desarrollado por los matemáticos para satisfacer su simple curiosidad proporciona herramientas de utilidad en otros campos científicos. Como nuestro pequeño científico dentro de su molécula de agua, los cosmólogos seguirán observando el cielo en busca de respuestas. Nuevas observaciones harán aparecer nuevas hipótesis en el futuro y quizá otros ejemplos de 3-variedades u otras herramientas geométricas resulten de interés. Ajenos a todo esto, los topólogos de 3-variedades seguimos teniendo numerosos problemas aún por resolver, y muchos otros más por descubrir, que nos proporcionarán entretenimiento durante muchos años.\*

6. H. Poincaré, «Théorie des groupes fuchsians,» Acta Math., vol. 1, pp. 1-62, 1882.
7. F. Klein, «Ueber die sogenannte Nicht-Euklidische Geometrie,» Math. Ann., vol. 4, pp. 573-625, 1871.
8. H. Poincaré, «Analysis Situs,» Jour. de l'Éc. Pol., vol. 2, nº 1, pp. 1-123, 1895.
9. H. Poincaré, «Cinquième complément à l'analysis situs,» Rend. Circ. Mat. Palermo, vol. 18, pp. 45-110, 1904.
10. M. Lozano Imízcoz, «La conjetura de Poincaré. Un problema de topología,» Arbor, vol. 178, nº 704, pp. 691-707, 2004.
11. C. Weber y H. Seifert, «Die beiden Dodekaederräume,» Math. Z., vol. 37, nº 1, p. 237-253, 1933.
12. W. P. Thurston, «Geometry and topology of three-manifolds (notas),» Princeton Univ., 1978.
13. W. Thurston, Three-dimensional geometry and topology, Princeton: Princeton University Press, 1997.
14. G. Perelman, «The entropy formula for the Ricci flow and its geometric applications,» <https://arxiv.org/abs/math/0211159>, 2002.
15. G. Perelman, «Ricci flow with surgery on three-manifolds,» <https://arxiv.org/abs/math/0303109>, 2003.
16. G. Perelman, «Finite extinction time for the solutions to the Ricci flow on certain three-manifolds,» <https://arxiv.org/abs/math/0307245>, 2003.
17. E. Scholz, «Carl F. Gauss, el "gran triángulo" y los fundamentos de la geometría (trad.),» La Gaceta de la RSME, vol. 8, nº 3, pp. 683-712, 2005.
18. J. Weeks, The Shape of Space, Nueva York: Marcel Dekker Inc., 2002.
19. J. P. Luminet, J. R. Weeks, A. Riazuelo, R. Lehoucq y J. P. Uzan, «Dodecahedral space topology as an explanation for weak wide-angle temperature correlations in the cosmic microwave background,» Nature, vol. 425, p. 593-595, 2003.

Rubén Vígara Benito  
Dpto. de Matemáticas  
Facultad de Educación  
Universidad de Zaragoza

\* Quisiera dedicarle este artículo al profesor José María Montesinos y agradecerle su ayuda y consejo durante la preparación del mismo. Todo lo que aquí figura forma parte de sus enseñanzas.



.....

## PUBLICACIONES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS

.....

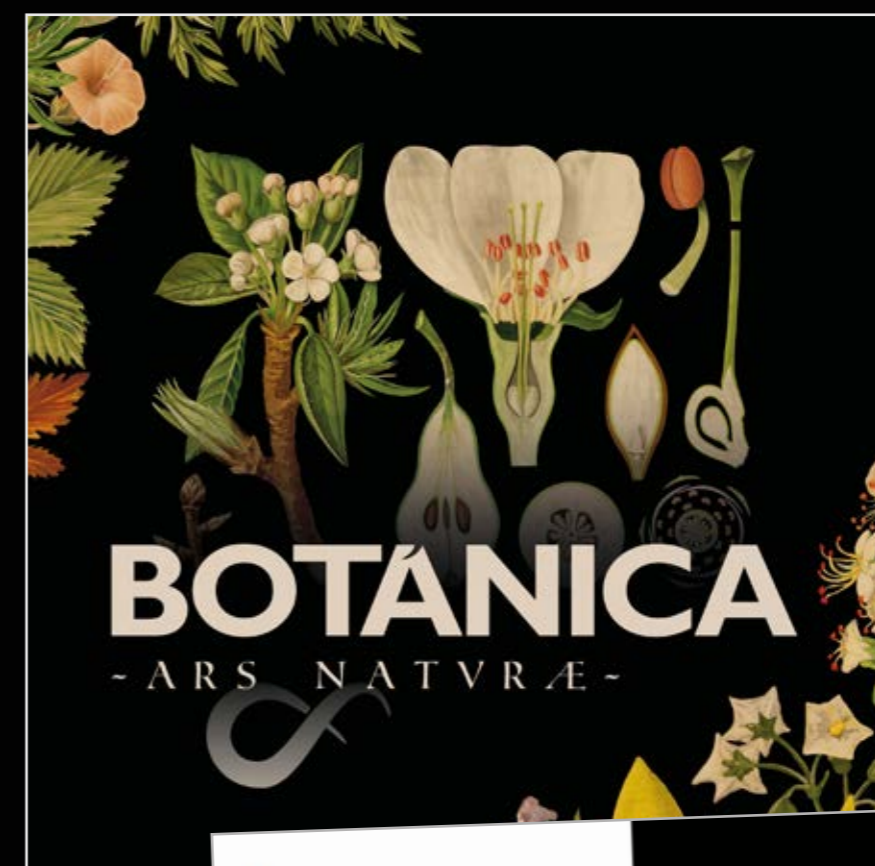


# INSTRUMENTA

Depositorio de instrumentos históricos  
Laboratorio de la Facultad de Ciencias,  
Universidad de Zaragoza.



# LOS ARBOLES DEL CAMPUS



# BOTÁNICA

- ARS NATURÆ -



Descárgalas gratis 

INSTRUMENTA  
[ciencias.unizar.es/sites/ciencias.unizar.es/files/users/fmlou/pdf/Proyeccion\\_social/instrumenta.pdf](https://ciencias.unizar.es/sites/ciencias.unizar.es/files/users/fmlou/pdf/Proyeccion_social/instrumenta.pdf)

LOS ARBOLES DEL CAMPUS  
[ciencias.unizar.es/sites/ciencias.unizar.es/files/users/fmlou/pdf/Proyeccion\\_social/los\\_arboles\\_del\\_campus.pdf](https://ciencias.unizar.es/sites/ciencias.unizar.es/files/users/fmlou/pdf/Proyeccion_social/los_arboles_del_campus.pdf)

BOTÁNICA ARS NATURÆ  
[ciencias.unizar.es/sites/ciencias.unizar.es/files/users/fmlou/pdf/Proyeccion\\_social/botanica\\_ars\\_naturae.pdf](https://ciencias.unizar.es/sites/ciencias.unizar.es/files/users/fmlou/pdf/Proyeccion_social/botanica_ars_naturae.pdf)

**SEMANA DE INMERSIÓN EN CIENCIAS 2019:  
AYUDANDO A ELEGIR UNA CARRERA CIENTÍFICA**

La semana del 10 al 14 de Junio la Facultad de Ciencias acogió una nueva edición de la Semana de Inmersión en Ciencias con **123 estudiantes** de 4º de ESO y 1º de bachillerato, repartidos en las distintas secciones que se ofertan (Biotecnología Física/Óptica, Geología, Matemáticas y Química). Estos alumnos fueron seleccionados entre más de 300 solicitudes procedentes de centros de secundaria y bachillerato de las tres provincias aragonesas. La jornada de acogida a esta semana se hizo en el Salón de actos del edificio C de la Facultad (Geología).

Durante esta semana los estudiantes conocieron de cerca las instalaciones de la Facultad y realizaron diferentes actividades en sus seminarios y laboratorios. Estas actividades estuvieron coordinadas por 19 profesores e investigadores y tuteladas por 170 personas entre profesores, investigadores y personal de los servicios

de apoyo a la investigación (SAIs) de nuestro centro y de los institutos de investigación relacionados (ISQCH, ICMA, CIBA, IUMA, IUCA, INA, EINA).

La oferta de actividades propuestas por las distintas secciones fue muy amplia, con el objetivo de que los estudiantes conocieran directamente el trabajo que los científicos realizan en el día a día y que se familiarizaran con la investigación que se realiza dentro de la Facultad. En la **sección de Física** se trataron temas como los nuevos materiales, partículas elementales e interacciones fundamentales, distancias en el Universo, diseño microelectrónico, impresoras 3D con Hardware y Software libre, técnicas de holografía e instrumentación en laboratorios de salud visual.



Sección Biotecnología.



Fotografías de la Facultad de Ciencias.



De arriba a abajo:  
sección Física/Óptica,  
sección Matemáticas y  
sección Química.

En la **sección de Química** los alumnos abordaron temas de actualidad como la síntesis de polímeros, química sostenible, tratamientos de aguas y de residuos peligrosos, aromas, fármacos y productos alimenticios. En la **sección de Biotecnología** se trabajaron temas de genómica, biología molecular, apoptosis, inmunidad o cáncer entre otros y visitaron las instalaciones del Centro de Investigación Biomédica de Aragón (CIBA).

En la **sección de Geología** aprendieron conceptos de rocas sedimentarias, caracterización de minerales, volcanes, así como anatomía de dentición en fósiles de vertebrados y realizaron una salida de campo donde vieron un ejemplo práctico de Geología Aplicada centrado en el estudio de dolinas. En la **sección de Matemáticas** se introdujo a los alumnos en temas muy variados como estadística, modelización matemática, programación, geometría, matemáticas visuales o demostraciones y juegos matemáticos.

La clausura de esta semana se realizó el viernes 14 de junio en el Aula Magna de la Facultad de Ciencias y contó con la presencia de un representante del Vicerrectorado de Estudiantes, un representante del Vicerrectorado de Política Científica, el Decano de la Facultad y la Vicedecana de Estudiantes. En esta clausura se hizo en-

trega de los diplomas a los estudiantes participantes y se proyectó un vídeo con las actividades que realizaron los estudiantes y los colaboradores que hicieron posible esta semana y que cuentan con la gratitud de Decanato de la Facultad. Este vídeo está disponible en el Canal de YouTube de nuestro centro (Facultad de Ciencias -Universidad de Zaragoza):

<https://www.youtube.com/watch?v=b6uXrQO-7hI&t=394s>

Ana Rosa Soria de Miguel  
Vicedecana de Proyección Social y Comunicación

Sección Geología.



Fotografía de la Facultad de Ciencias.

# Ya disponible en la red...



## Descárgalo gratis:



[https://ciencias.unizar.es/sites/ciencias.unizar.es/files/users/fmlou/pdf/Proyeccion\\_social/cientificamente\\_objetivo.pdf](https://ciencias.unizar.es/sites/ciencias.unizar.es/files/users/fmlou/pdf/Proyeccion_social/cientificamente_objetivo.pdf)

**CELEBRACIÓN DEL CENTENARIO DE LA PRIMERA LICENCIADA EN LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA**

Este curso se han cumplido cien años desde que Donaciana Cano Iriarte, primera estudiante de nuestra facultad, se licenciara en Química en la Universidad en junio de 1919. Por este motivo, y porque son solo 100 años de presencia de la mujer en la facultad, se ha celebrado este aniversario con varias actividades.

La actividad principal ha sido una exposición, **“La mujer en la Facultad de Ciencias, hace sólo 100 años (1919-2019)”**, que estuvo en el hall del edificio D (Facultad de Ciencias) hasta el 26 de octubre. La inauguración de esta exposición se realizó el día 26 de septiembre a las 12 h y contó con la presencia de la Consejera de Ciencia, Universidad y Sociedad del Conocimiento del Gobierno de Aragón, María Eugenia Díaz, la Vicerrectora de Cultu-

ra y Proyección Social, Yolanda Polo, y el Decano de la Facultad de Ciencias, Luis Morellón. La comisaria de la exposición fue Josefina Pérez Arantegui, profesora del Departamento de Química Analítica de la Facultad de Ciencias e investigadora del Instituto Universitario de investigación en Ciencias Ambientales de Aragón (IUCA).

Después de la inauguración la escritora **Antonina Rodrigo** impartió una interesante conferencia en la Sala de Grados de la Facultad titulada “Mujeres científicas, mujeres silenciadas”.

La última actividad realizada en relación a esta celebración se efectuó el jueves 3 de octubre en la Sala de Grados con la proyección del documental **“El enigma Agustina”**, del Instituto de Astrofísica de Andalucía, donde descubrimos quién fue esta misteriosa mujer y cuya producción partió de una idea original de Manuel González García y Emilio J. García Gómez-Caro.

Josefina Pérez Arantegui y Ana Rosa Soria de Miguel  
Comisaria de la exposición y  
Vicedecana de Proyección Social y Comunicación

**Momento del acto.**



### EXPOSICIÓN EN LA FACULTAD: "MIGUEL CATALÁN, INVESTIGADOR Y MAESTRO"

El 7 de noviembre la Facultad de Ciencias va a inaugurar la exposición "Miguel Catalán, investigador y maestro" en homenaje a la figura de este gran investigador y docente aragonés con motivo del 125 aniversario de su nacimiento.

Investigador de talla internacional, publicó más de 70 artículos científicos. Fue elegido representante español en el Comité de la Unión Internacional de Física Pura y Aplicada en 1924. En el año 1926 recibió el premio de la Real Academia de Ciencias (España) y en 1930 el premio internacional Pelfort. En 1952 fue nombrado asesor de la "Joint Commission for Spectroscopy" organismo regulador internacional. En 1955 fue elegido miembro de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Varios años después de su fallecimiento, acaecido en 1957, la importancia de sus contribuciones para el conocimiento de la estructura de la materia, de gran interés también en astrofísica, le hicieron merecedor del honor de dar nombre a un conjunto de cráteres en la Luna.

Miguel Catalán nació en Zaragoza en 1894. Se licenció en Química en 1913 por la Universidad de Zaragoza, obteniendo el premio extraordinario. Se trasladó a Madrid para realizar su doctorado en 1915, incorporándose al Laboratorio de Investigaciones Físicas de la Junta para Ampliación de Estudios, JAE, presidida por Santiago Ramón y Cajal. Centró su investigación en la espectroquímica del magnesio, obteniendo su doctorado en 1917 (Universidad Central de Madrid). Continuó investigando en el laboratorio de la JAE, sin abandonar su carrera de profesor de física y química en enseñanza media, iniciada tras su licenciatura. La dedicación a esas dos vertientes, la enseñanza y la investigación, fue una constante en su vida.

En 1920 obtuvo una beca para el Imperial College de Londres donde, estudiando el espectro del manganeso, se centró en unos grupos de líneas que mostraban unas ciertas regularidades, a los que llamó "multipletes". La introducción de los multipletes contribuyó al desarrollo de la teoría cuántica y a hacer de la espectroscopía un instrumento fundamental para verificar los avances en el descubrimiento de la estructura de la materia. Sus trabajos aportaron pruebas experimentales que sustentaban el modelo atómico propuesto pocos años antes, siendo su investigación públicamente reconocida por referentes como Bohr y Sommerfeld.

Fue investigador visitante en la Universidad de Munich, invitado por Sommerfeld (1924-1925). Colaboró asimismo con los laboratorios del National Bureau of Standards de Washington, D.C., y fue invitado por la Universidad de Princeton y por el MIT. En 1930 fue nombrado jefe de la sección de espectroscopía del Instituto Nacional de Física y Química y en 1934 consiguió una cátedra de nueva creación -de Estructura atómico molecular y espectroscopia- en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Madrid.

Pero llegó la guerra, y el exilio interior durante la posguerra...

Pese a las dificultades -no pudo reincorporarse de forma efectiva a la investigación hasta 1950- se mantuvo su prestigio entre los colegas, como lo atestiguan las referencias a su trabajo en importantes publicaciones.

Resulta difícil definir a una persona como Miguel Catalán, pero nos atrevemos a enumerar algunas de sus cualidades: fue un científico de renombre, que llegó a trabajar en la frontera del conocimiento; era un entusiasta profesor de Ciencias, amante de la Naturaleza, buen deportista, hombre culto y gran comunicador; perseverante en el trabajo y jovial y cercano en sus relaciones personales.

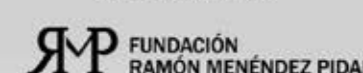
M<sup>a</sup> Belén Villacampa Naverac<sup>1</sup>  
y Ana Rosa Soria de Miguel<sup>2</sup>  
Comisaria de la exposición (1)  
y Vicedecana de Proyección Social y Comunicación (2)



**Organizan:**



**Colabora:**



**ENCUENTROS CON LA CIENCIA**

Cada mes se sigue celebrando en el espacio Ámbito Cultural de El Corte Inglés el ciclo de conferencias de divulgación científica y cultural "Encuentros con la Ciencia". Durante el curso se imparten nueve charlas, con periodicidad mensual, desde octubre hasta junio. Son ya muchos años de un ambiente distendido, pero totalmente interesado por el tema de cada conferencia, de divulgación activa en nuestra ciudad. Gracias a El Corte Inglés y al resto de organizadores por su empeño. Perteneciente al curso 2019-2020 se desarrollan durante este año 2019 las conferencias:

- "¿Y tú me lo preguntas? Química eres tú" por Ana Elduque el 17 de octubre.
- "La tabla periódica: un "castillo" para comprender el Universo" por Juan José Ortega el 14 de noviembre.
- "El Dr. Jekyll y Mr. Hyde de los medicamentos" por Raquel Pérez Herrera el 12 de diciembre.

Durante la última conferencia celebrada a la fecha de esta publicación, una asistente, Carmen Llorente Navarro, sorprendió a todos al decirnos que, a pesar de que su disciplina académica eran la Humanidades, había escrito unos versos sobre química y le gustaría compar-

tirlos con la conferenciante, a tenor de la temática de la charla. Se le pidió si sería posible compartirlos en esta publicación y ella accedió amablemente. Y aquí se recogen los versos de Carmen:

*Ella era bella,  
cual cianamida cálcica,  
él era apuesto  
cual acetato plúmbico.  
Se vieron, y en el fosforescente  
fulgor de sus miradas,  
cual el piramidón  
y la femilhidracina  
se amaron.  
Pero el padre de ella  
que además de fenol  
era un poco butano,  
prorrumpió en una serie de improperios  
y le dijo: "trinitodifenilaminopinacona"  
como te vea coqueteando  
con jóvenes monovalentes,  
te propino una potasa en cloruro  
que te desalbuminoideo...*

Gracias Carmen.

Equipo editorial.



Fotografías cedidas por la organización.



Diferentes momentos de las charlas y cartel oficial del ciclo.





[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/1](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/1)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/2](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/2)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/3](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/3)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/4](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/4)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/17](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/17)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/18](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/18)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/19](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/19)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/20](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/20)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/5](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/5)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/6](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/6)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/7](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/7)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/8](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/8)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/21](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/21)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/22](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/22)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/23](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/23)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/9](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/9)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/10](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/10)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/11](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/11)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/12](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/12)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/13](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/13)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/14](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/14)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/15](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/15)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/16](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/16)



[divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/24](http://divulgacionciencias.unizar.es/revistas/web/revistas/revista/24)

¡DESCÁRGALAS GRATIS!



