



*com* CIENCIAS.digital

Revista de divulgación científica de la Facultad de Ciencias de Zaragoza

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

Nº 15 MAYO 2015



Al principio,  
**la CIENCIA**

## Redacción

### DIRECCIÓN:

- Ana Isabel Elduque Palomo

### SUBDIRECCIÓN:

- Concepción Aldea Chagoyen

### DISEÑO GRÁFICO Y MAQUETACIÓN:

- Víctor Sola Martínez

### COMISIÓN DE PUBLICACIÓN:

- Blanca Bauluz Lázaro
- Ángel Francés Román
- Cristina García Yebra
- Luis Teodoro Oriol Langa
- María Luisa Sarsa Sarsa
- María Antonia Zapata Abad

## Edita

Facultad de Ciencias,  
Universidad de Zaragoza.  
Plaza San Francisco, s/n  
50009 Zaragoza

e-mail: [web.ciencias@unizar.es](mailto:web.ciencias@unizar.es)

IMPRESIÓN: GAMBÓN Gráfico, Zaragoza.

DEPÓSITO LEGAL: Z-1942-08

ISSN: 1888-7848 (Ed. impresa)

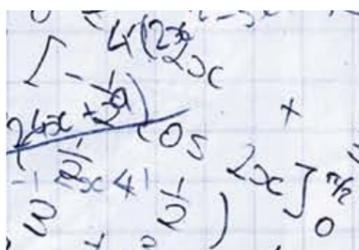
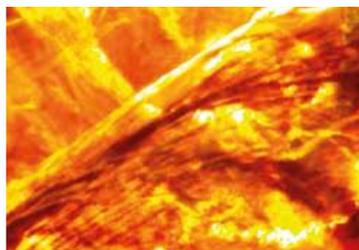
ISSN: 1989-0559 (Ed. digital)

Imágenes: fuentes citadas en pie de foto.

Portada: Segundo Finalista del Premio San Alberto Magno, edición 2014  
(Ana Serrano - Sinapsis).

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

Editorial	2
Gamow, Alpher y el Big Bang Miguel Pérez Torres	4
2015: En torno a Einstein y su Teoría de la Relatividad (una reflexión por encargo) Javier Turrión	10
Los Árboles del Edén: pequeña incursión en la Botánica mítica Juan Pablo Martínez Rica	26
Cristales en los alimentos Miguel Ángel Cuevas-Diarte, Laura Bayés-García y Teresa Calvet	44
Química Forense ¿Ciencia o Ficción? Gemma Montalvo y Carmen García-Ruiz	58
Un modelo universitario Ana Isabel Elduque	72
Hilbert y los fundamentos de la Matemática Fernando Bombal	86
Noticias y actividades	102
Artículos publicados	116
Colaboradores	122



Al principio, la CIENCIA

**Q**uerido lector, nos reencontramos una vez más gracias a tu fidelidad y al esfuerzo de los incansables colaboradores de conCIENCIAS.

Fieles a nuestro espíritu volvemos a editar un número variado. La heterogeneidad en la temática se ha convertido en una de nuestras señas de identidad, y queremos que continúe.

A pesar de lo anterior, hoy se nos han juntado unos magníficos precursores en sus áreas de conocimiento. Gamow y Alpher, Einstein, Hilbert son auténticos pioneros que demostraron cómo el razonamiento científico está muy lejos de agotarse. Su manera de abordar problemas complejos de una forma nueva, pero siempre basada en el método de análisis y razonamiento científico, nos demuestra que para el avance humano debemos situar al principio de todo a la Ciencia.

Como las cosas tienen principio, pero también continuidad, seguimos avanzando en la senda del conocimiento gracias nuevamente a la Ciencia. Cosas tan dispares como el chocolate, el árbol del bien y del mal y una investigación criminal encuentran su nexo común gracias al saber científico.

Con estos antecedentes, no es de extrañar que haya quienes pensamos que nuestro mundo universitario debe ser ajeno a los vaivenes polí-

ticos permitiendo que se convierta, de una vez por todas, en un auténtico motor de desarrollo social continuado en el tiempo.

Bienvenidos a este nuevo número de conCIENCIAS y que lo disfrutéis tanto como lo hemos hecho los miembros del equipo editorial mientras lo preparábamos para vosotros. Hasta el próximo número.

Ana Isabel Elduque Palomo  
Directora de conCIENCIAS



**“Como las cosas tienen principio, pero también continuidad, seguimos avanzando en la senda del conocimiento gracias nuevamente a la Ciencia.”**

# GAMOW, ALPHER Y EL BIG BANG

“Gamow aceptó a Alpher como doctorando, e inmediatamente lo puso a trabajar en un tema muy relevante y que sería el eje central de su tesis doctoral: el origen de los elementos químicos en el Universo”.

**POR MIGUEL PÉREZ TORRES**



George Gamow (izquierda) y Ralph Alpher (derecha).

[www.iciba.com](http://www.iciba.com) (izquierda)

[www.scientificamerican.com](http://www.scientificamerican.com) (derecha)

[curiosidades.batanga.com](http://curiosidades.batanga.com) (fondo)

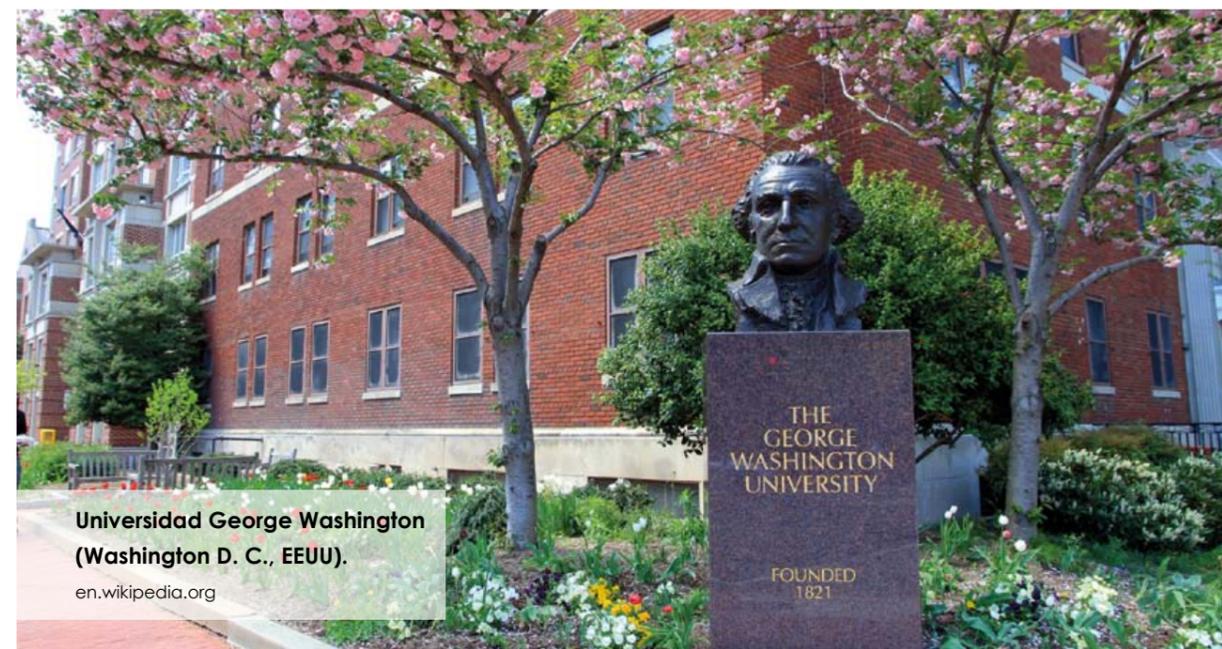
## Gamow, Alpher y el Big Bang

**G**eorge Gamow, ruso, nacido en Odessa (ahora Ucrania) en 1904 y fallecido en Colorado, EE.UU., en 1968, tuvo un matrimonio tempestuoso y fue un bebedor empedernido, además de un redomado cotilla y un legendario bromista. Sin embargo, esta vida agitada no fue óbice para que Gamow realizara contribuciones sustanciales a temas que fueron desde la Cosmología y la Física Atómica hasta la Genética y el ADN. Gamow fue también un excelente divulgador de la Física, y sus libros "Biografía de la Física" así como la serie "Mr. Tompkins" son, a pesar del paso del tiempo, una estupenda lectura para todo aquel que guste de la Ciencia en general y de la Física en particular.

Gamow estudió entre 1923 y 1929 en la Universidad de Leningrado (ahora San Petersburgo). Estuvo un tiempo bajo la dirección del cosmólogo Alexander Friedmann, con quien quiso haber hecho su tesis doctoral. Desgraciadamente, el proyecto se truncó debido a la temprana muerte de Friedmann en 1925. En Leningrado hizo amistad con otros tres estudiantes famosos,

Lev Landau, Dmitri Ivanenko y Matveiy Bronsh-tein, con quienes se reunía regularmente para discutir los artículos de Física Cuántica de la época. Haciendo honor a su fama de bromista y ocurrente sin igual, llamó a este grupo "Los Tres Mosqueteros".

Gamow era un erudito sin par que vivía por y para la Ciencia y, como es normal, también se equivocaba. En palabras de Edward Teller, en tiempos colaborador de Gamow, "el 90 por ciento de las teorías de Gamow eran, o se demostraron ser, equivocadas, pero eso no le importaba. Podía desechar la última de sus ideas y luego considerarla como una broma". La astrónoma Vera Rubin, que estudió con Gamow, recuerda que "podía plantear cuestiones que se adelantaban a su tiempo. Además, no sentía ningún interés por los detalles; en muchos aspectos puede que no fuera competente como para verificar muchos de los detalles... Era como un niño." Aunque esto parece ser cierto, Gamow tenía una intuición y un conocimiento de la Física impresionantes y, como se verá, resultaron cruciales para dar un impulso definitivo a la teoría del Big Bang.



Universidad George Washington  
(Washington D. C., EEUU).  
en.wikipedia.org

### EL DECAIMIENTO DE LAS PARTÍCULAS ALFA

En 1928, con apenas 24 años, Gamow resolvió un problema que traía de cabeza a los físicos atómicos de la época: el problema del decaimiento de las partículas alfa, un tipo de decaimiento radiactivo por el que un núcleo atómico se transforma en otro de número másico menor en cuatro y número atómico menor en dos. Para ello, Gamow propugnó como explicación el efecto de túnel cuántico, aplicando así los aspectos más innovadores de la Física de la época (recordemos que la teoría cuántica se estaba desarrollando y era muy novedosa entonces). A la edad de 28 años fue elegido miembro de la Academia de Ciencias de la URSS, siendo uno de los miembros más jóvenes de todos los tiempos.

Gamow continuó trabajando en varias instituciones de la URSS, pero la opresión le hizo pensar en abandonar el país junto a su mujer. Tras varios intentos fallidos, en 1933 se presentó la ocasión, con motivo de la 7ª Conferencia Solvay, donde la ayuda de Marie Curie y otros físicos fue esencial. Después de dejar la URSS, Gamow trabajó en varias universidades de Europa hasta que se trasladó de modo definitivo a los EE.UU. en 1934.

Durante su larga estancia como profesor, en la Universidad George Washington fue donde se gestaron, con la ayuda fundamental de Ralph Alpher, los trabajos cruciales que derivarían en soporte básico para un Big Bang "caliente", así como la predicción de una radiación residual, la ahora conocida como fondo cósmico de microondas, y por cuyo descubrimiento recibieron el premio Nobel... Penzias y Wilson. Gamow aceptó a Alpher, hebreo de origen bielorruso, como doctorando, e inmediatamente lo puso a trabajar en un tema muy relevante y que sería el eje central de su tesis doctoral: el origen de los elementos químicos en el Universo. La preparación en Física Atómica de Alpher, así como su profundo conocimiento de la matemática aplicada, fueron esenciales para que él y Gamow resolvieran, junto con Robert Herman, el problema básico de la abundancia de elementos en el Universo.



George Gamow  
(1904-1968).  
www.iciba.com

#### REFERENCIAS:

1. Gamow, *The Expanding Universe and the Origin of Elements*, Physical Review, 70: 572-573 (1946)
2. Alpher, Herman and Gamow, *Thermonuclear Reactions in the Expanding Universe*, Physical Review, 74: 1198-1199 (1948).
3. Alpher and Herman, *Evolution of the Universe*, Nature, 162: 774-775 (1948).
4. Alpher, Bethe and Gamow, *The origing of Chemical Elements*, Physical Review, 73: 803-804 (1948).

Para saber más: P.J.E. Peebles, *Discovery of the Hot Big Bang: What happened in 1948*, arxiv-preprint (2013).



Ralph Alpher (1921-2007).

www.scientificamerican.com

**“El único modo de explicar la abundancia de hidrógeno y helio en el Universo es precisamente el modelo de un universo temprano extremadamente caliente”.**

progresiva captura de neutrones daría lugar a la formación de deuterio, helio y elementos más pesados. Aunque la abundancia de elementos más pesados que el helio no puede explicarse de modo satisfactorio en el marco de esta teoría, es cierto (como hoy sabemos) que el único modo de explicar la abundancia de hidrógeno y helio en el Universo es precisamente el modelo de un universo temprano extremadamente caliente.

### EL UNIVERSO PRIMORDIAL Y EL YLEM

Gamow había sido el primero en sugerir que el universo primordial estaba hecho de un “ylem” (es decir, “material primordial” en griego, otra más de las ocurrencias de Gamow), que estaría constituido únicamente de neutrones a temperaturas de diez mil millones de grados<sup>1</sup>. Para poder explicar la abundancia de los elementos químicos, Gamow sugirió también que era necesario un proceso fuera de equilibrio, y que este funcionase durante un corto intervalo de tiempo. Esta idea se confirmó en detalle en el trabajo que en abril de 1948 publicaron Alpher, Herman y Gamow<sup>2</sup> y que constituyó el resultado principal de la tesis de Alpher. En las primeras fases de este universo caliente, la

Cabe resaltar que muchos científicos citan erróneamente otro artículo, publicado el mismo año 1948 por Alpher, Bethe y Gamow<sup>3</sup>, como el trabajo donde se da la primera explicación a la formación de los elementos químicos en el Universo, lo que no es cierto. Este artículo, conocido jocosamente como el artículo  $\alpha\beta\gamma$  por las iniciales de los autores, fue la enésima broma de Gamow. Desgraciadamente, solo sirvió para que el público pensara que la mayor parte del crédito era de Gamow y Bethe. En realidad, Bethe no hizo absolutamente nada para el artículo, salvo acceder a estar en él. Gamow debió de pensar que sería muy efectista juntar inicio del Universo con el inicio del alfabeto griego.

Gamow también propuso que debería ser posible detectar la radiación residual del Big Bang. Gamow calculó que, tras haber recorrido el Universo desde su inicio hasta la actualidad, la radiación debería detectarse en la banda de las microondas. Incluso sugirió que la antena de los laboratorios Bell, en Holmdel, podría servir a tal fin. Sin embargo, el crédito a la famosa estimación de los 5 grados Kelvin no debe darse a Gamow, sino a Alpher y Herman, quienes publicaron esta predicción en Nature, en 1948<sup>4</sup>. Desgraciadamente, tanto el trabajo de Alpher y Herman como la sugerencia de Gamow cayeron en saco roto y tuvieron que pasar más de quince años hasta que la radiación del fondo cósmico se detectara, de manera completamente fortuita, y sin que ni los laureados con el premio Nobel ni otros cosmólogos citaran los pioneros y fundamentales trabajos de Alpher, Herman y Gamow.

En la bibliografía se tiende actualmente a darle más valor al trabajo de Alpher (olvidando a Herman, por cierto), dado que hizo los cálculos detallados que el volátil Gamow nunca se ha-

bría preocupado por hacer. Lo cierto es que Alpher, que había estado trabajando hasta que inició la tesis con Gamow en proyectos de Física Aplicada para los militares de los EE.UU., tuvo la gran fortuna de tener a alguien como Gamow como director. Gamow fue quien le propuso el trabajo y le dio una enorme independencia, así como una estupenda guía en el trabajo. Así, a pesar del actual revisionismo, podemos simplificar diciendo que sin Gamow (ni Herman) posiblemente Alpher no habría realizado nunca los trabajos fundamentales que realizó en aquel tempestuoso 1948.

Miguel Pérez Torres

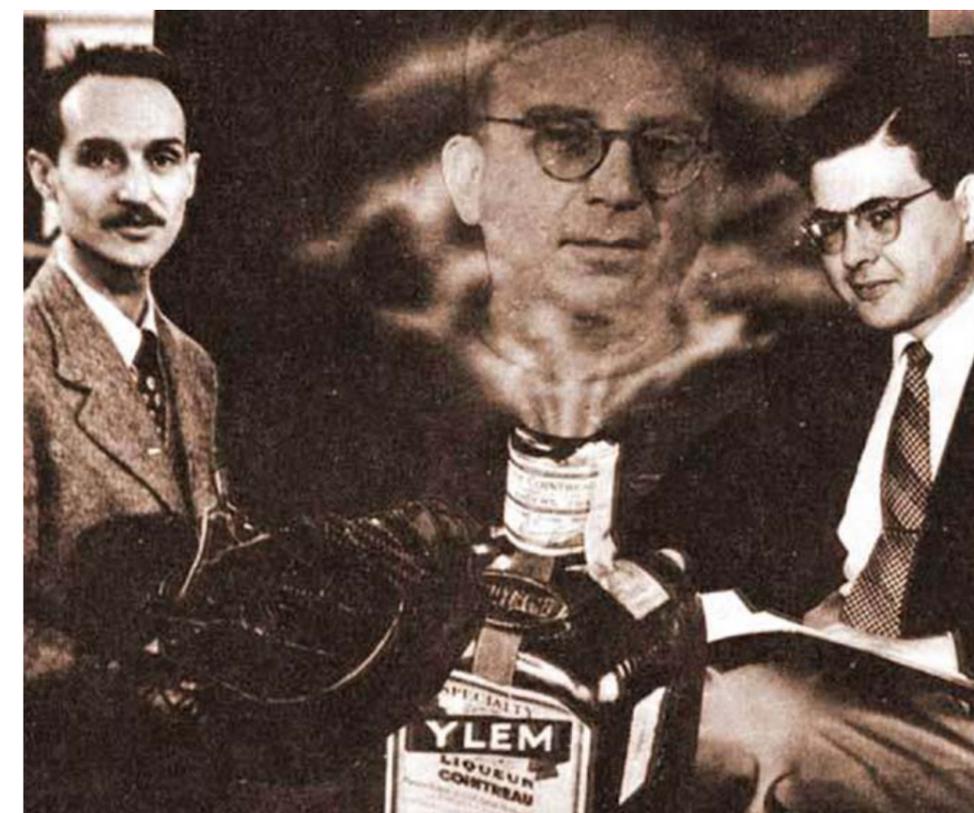
Profesor visitante del Dpto. de Física Teórica  
Universidad de Zaragoza

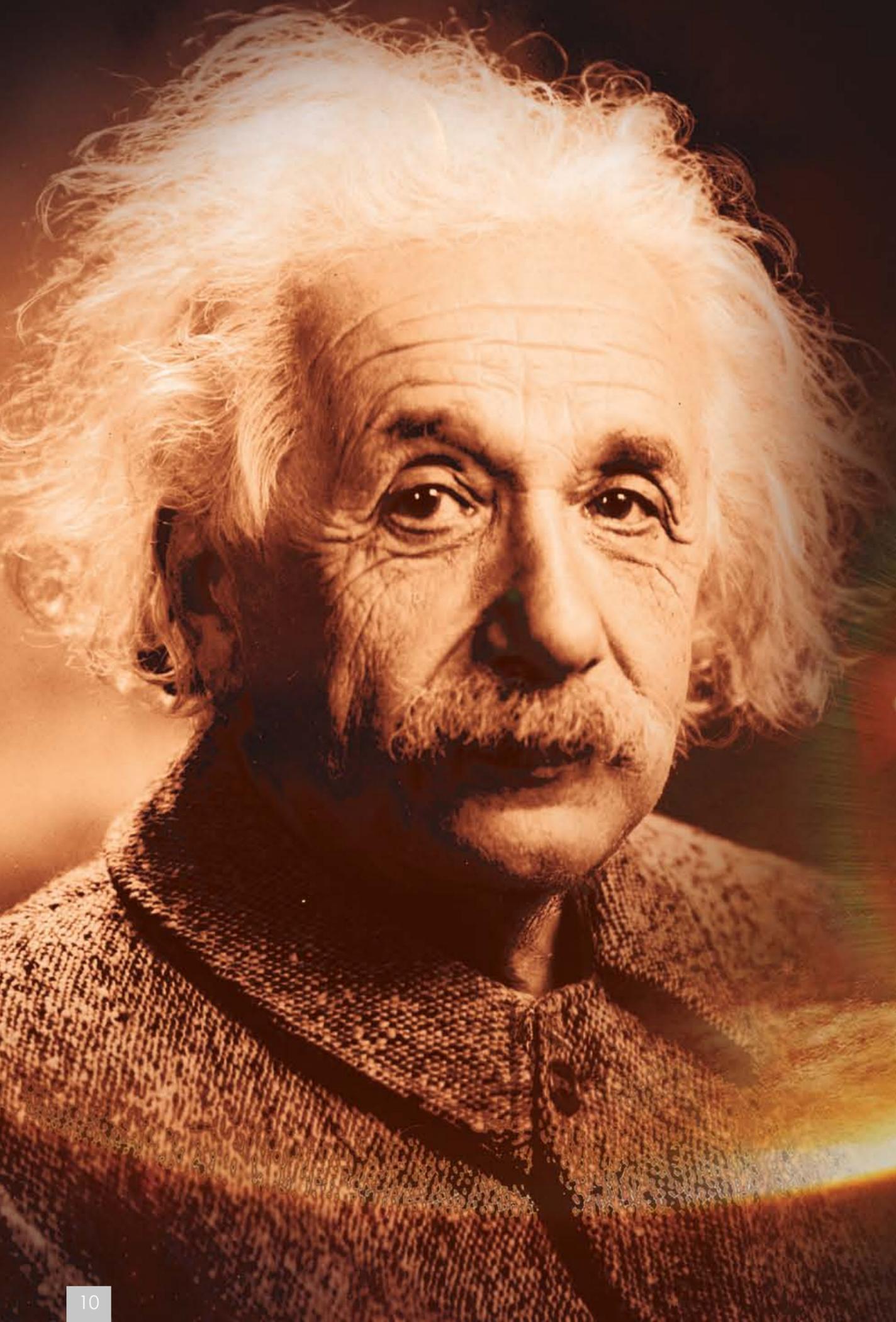
Instituto de Astrofísica de Andalucía  
CSIC

Centro de la Física del Cosmos de Aragón  
(CEFCA)  
Teruel

De izquierda a derecha, Robert Herman, George Gamow (saliendo del “líquido” primordial “ylem”) y Ralph Alpher, en una broma que seguro fue del agrado de Gamow.

astrodidactica.com





# 2015: EN TORNO A EINSTEIN Y SU TEORÍA DE LA RELATIVIDAD

**UNA REFLEXIÓN POR ENCARGO**

*“La Física es un esfuerzo por registrar conceptualmente lo que existe como algo que se supone independiente de lo que es percibido”.*

Albert Einstein.

**POR JAVIER TURRIÓN**

## 2015: En torno a Einstein y su Teoría de la Relatividad (una reflexión por encargo)

### A MODO DE SITUACIÓN

**E**l mundo físico tiene poderosas razones para festejar este año como singular. Dejo intacto y ambiguo este pleonismo de arranque y que cada cual lo interprete a su aire y se afinque en sus motivos para unirse o no a la fiesta. Este ensayo busca aproximar la figura de Einstein mediante un repaso fidedigno, si bien somero, al feliz proceso de construcción relativista, sin duda uno de los logros más sobresalientes del entendimiento humano. Las aplicaciones prácticas, astronómicas o terrestres –y hasta escatológicas– de la relatividad tienen habitual cabida en la prensa ordinaria o en publicaciones técnicas y en el locus por excelencia, Internet, y no se van por tanto a considerar aquí. A la vocación efeméride se suma el exhaustivo ahorro de recursos formales.

La Academia Prusiana de Ciencias solía celebrar sesión conjunta de todas sus Secciones los jueves y cada *Mitglieder* que tuviese algo que decir exponía a la atención de los académicos sus últimos afanes. El mes de noviembre de 1915 tuvo 4 jueves: 4, 11, 18 y 25. Einstein, como miembro de la Sección de Física matemática, intervino con sendas ponencias cada uno de esos cuatro jueves. Como remate de faena, el 25 termina su exposición con estas palabras:

*“Se cierra así por fin la teoría de la relatividad general como edificio lógico. El postulado de relatividad en su forma general, que convierte las coordenadas espacio-temporales en parámetros sin significado físico, conduce con imperiosa necesidad a una teoría de la gravitación enteramente determinada que explica el movimiento del perihelio de Mercurio. Por el contrario, el postulado de relatividad general*

*no puede revelarnos nada sobre la esencia de los demás fenómenos de la Naturaleza que no haya ya enseñado la teoría de la relatividad especial. Mi opinión a este respecto, expresada recientemente en este lugar, era errónea. Cualquier teoría física conforme con la teoría de la relatividad especial puede incluirse, mediante el cálculo diferencial absoluto, en el sistema de la teoría de la relatividad general, sin que esta proporcione ningún criterio para la licitud de esa teoría.”*

Concentrado gastronómico para gourmets que puede, sin embargo, deletrearse. De forma asimismo sintética y accesible, Einstein resume inmediatamente a su amigo Zangger, catedrático de Medicina Legal (forense) en Zurich, los logros macroscópicos de la teoría, junto con otras servidumbres, de naturaleza no específicamente racional, asociadas al éxito:

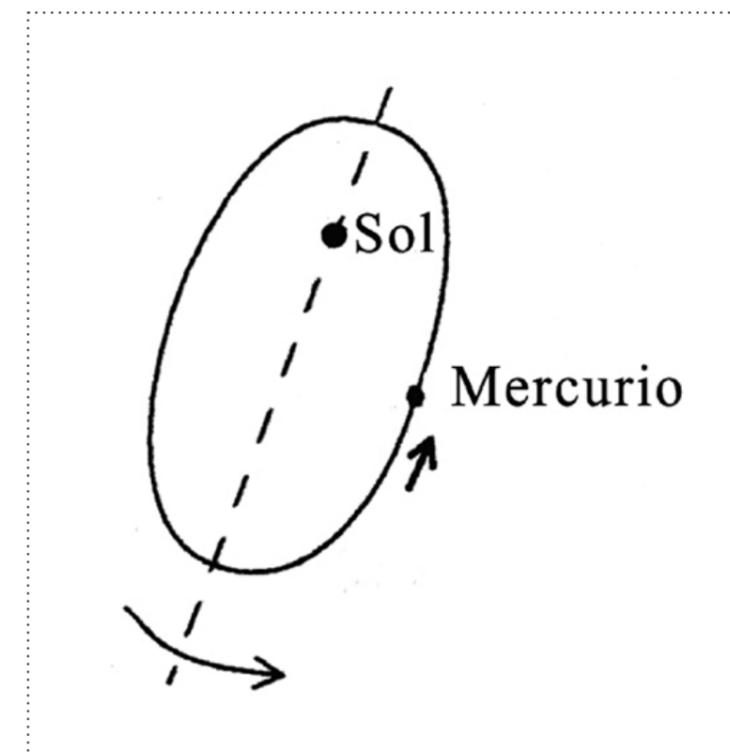
*“Querido amigo Zangger:*

*El problema de la relatividad general está ahora legítimamente resuelto. El movimiento del perihelio de Mercurio es explicado maravillosamente por la teoría.*

*A partir de las observaciones, los astrónomos habían encontrado  $45'' \pm 5''$ . Con la teoría de la relatividad general yo he encontrado  $43''$ .*

*A esto hay que añadir el corrimiento de líneas de las estrellas fijas que también ha sido constatado con seguridad, lo que es ya una considerable confirmación de la teoría. Para la deflexión de la luz por las estrellas, la teoría proporciona ahora una cantidad dos veces mayor que antes. Te explicaré de palabra de dónde viene esto.*

*La teoría es de una belleza incomparable. Sin embargo, solo un colega<sup>1</sup> la ha entendido realmente y está tratando de nostr-*

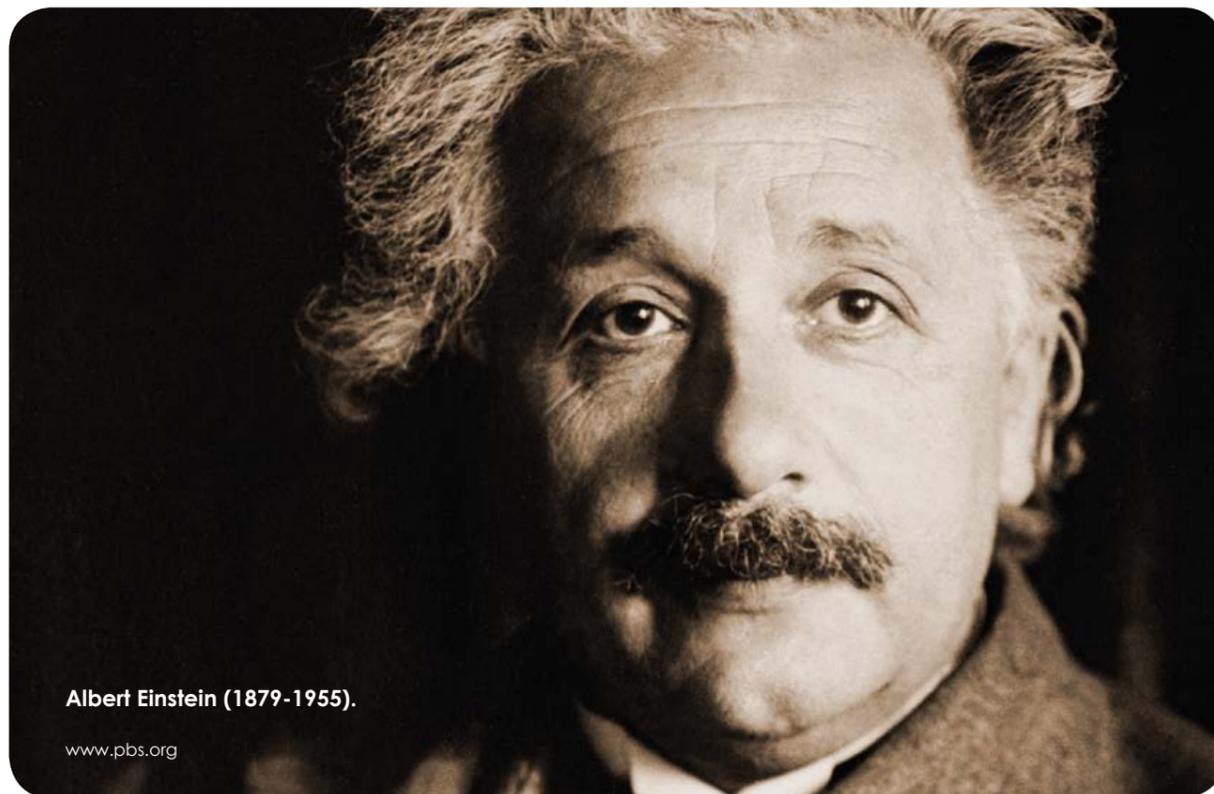


**Rotación de la órbita entera alrededor del Sol en una cantidad de unos 45 segundos de arco cada 100 años, en el sentido indicado.**

Imagen cedida por el autor.

### REFERENCIAS:

1. Se refiere a la intrusión de David Hilbert, catedrático de Matemáticas en Göttingen.



Albert Einstein (1879-1955).

www.pbs.org

## 2015: En torno a Einstein y su Teoría de la Relatividad (una reflexión por encargo)

ficarla (en expresión de Abraham) de forma hábil. En mi experiencia personal, difícilmente he llegado a entender mejor la condición miserable del género humano que con ocasión de esta teoría y todo lo que guarda relación con ella. Pero eso no me inquieta."

(Carta de Einstein a Heinrich Zangger. Berlín, viernes 26 de noviembre de 1915)

Eso que llevamos por adelantado. Pero, naturalmente, aquí no se llega sin más ni más. Ha tenido que haber un recorrido previo, que Einstein señala, otra teoría más acotada, un origen más o menos explosivo que desemboque en

este escenario espectacular. En este breve paseo, introduciremos el supuesto previo de que la idiosincrasia del creador es esencial al proceso creativo y al resultado eficiente del acto creador, hipótesis de la que, como ya se intuye, va a ser difícil apearse con invocaciones empíricas. Habrá que ir a todo eso. Desde nuestra actual perspectiva, el mundo, el mundo de ayer, mientras, va a lo suyo. El año ha sido ya unos meses antes célebre por otro motivo: el 15 de abril se ha empleado por primera vez gas tóxico en Ypres (estamos en guerra desde el 1 de agosto de 1914). Einstein, por su parte, instalado en Berlín desde marzo de 1914, tiene a esas alturas su trayectoria de encuentros y desencuentros con la Física, con el mundo y con sus congéneres. Quizá sea también hora de dejar de considerar el calendario como variable independiente.

### UN POCO DE FILOSOFÍA BÁSICA

Si nos adscribiésemos a pies juntillas al demolidor presagio de Hume, según el cual de lo único de lo que cabe tener certeza razonable es del pasado, no haríamos ciencia. Si del hecho de que las cosas hayan sido hasta ahora de determinada manera no cabe inferir que vayan a seguir siéndolo, el empeño en buscar "leyes de la Naturaleza" no parece sino insania, diletantismo funambulesco, terapia ocupacional, cosa de locos. Esta implícita definición de ciencia encierra a su vez, con todos sus riesgos, una fe asociada: la Naturaleza funciona de

.....  
Infantería australiana en Ypres, Bélgica (1917).

ca.wikipedia.org

**"La Física es pues el esfuerzo humano por cumplir el mandamiento divino de poner nombre a las cosas".**



Adán y Eva, Alberto Durero.

www.harteconhache.com

forma previsible, es decir, coherente, aunque quizá no necesariamente trivial. ¿Contraviene entonces la Ciencia a Hume? Quizá sea adelantar acontecimientos, pero Einstein ha hecho vigente, al menos desde hace ahora 110 años, una desconfianza razonada en algunas certezas científicas del pasado y, simultáneamente, esa fe inherente a esta prestigiosa actividad. Ahora bien, seguimos momentáneamente irresueltos, pues, para Hume, la certeza es condición inexcusable para que haya ciencia. Por ahí andaremos.

"La Física –dice Einstein– es un esfuerzo por registrar conceptualmente lo que existe como algo que se supone independiente de lo que es percibido. En ese sentido se habla de lo físicamente-real". Que el concepto de «real» diverge de

la Física Clásica a la Cuántica es bien sabido, pero eso no altera el alcance sustancial de la ambición. En guiño a Einstein, seamos clásicos hasta donde se pueda y, puestos a apuntar alto, acudamos al Génesis: «Y puso Dios ante el hombre todo cuanto había formado de la tierra para que el hombre viese cómo lo llamaría y fuese el nombre de todo lo existente el que él le diera.» Con este apoyo, la Física es pues el esfuerzo humano por cumplir el mandamiento divino de poner nombre a las cosas, cosas que preexisten (todo cuanto Dios había formado de la tierra) a la aparición del hombre y, por tanto, a su capacidad perceptiva.

Parece que de aquí, sin miedo, podemos colegir una consecuencia inmediata: la realidad objetiva existe y es accesible al entendimiento

## 2015: En torno a Einstein y su Teoría de la Relatividad (una reflexión por encargo)

(los detractores –los físicos cuánticos– le llaman a eso “realismo ingenuo”). Y, sin perder el hilo, principio tienen las cosas: *En el principio (si es que hubo tal cosa), creó Dios las leyes del movimiento de Newton, junto con las fuerzas y masas necesarias*. Lo demás es cosa nuestra: *Eso es todo; el resto lo proporciona el desarrollo, por deducción, de métodos matemáticos adecuados*. Así que Einstein nos zambulle en una segunda consecuencia urgente: las Leyes de la Naturaleza existen y son únicas y permanentes. “Descubrirlas” (darles forma, ponerles nombre) es tarea humana derivada del precepto divino original.

Nos enfrentamos, por tanto, a una serie de inquietantes conclusiones:

- Estamos “dejados de la mano de Dios”.

- Las cosas son confusas.
- Nos vemos obligados a interpretar.
- Dicho de otro modo: nos vemos obligados a confiar (a tener fe) en nuestras capacidades.
- En definitiva: es imposible hacer ciencia, física en particular, sin formular hipótesis especulativas cuyo nexos con el material empírico es intuitivo, no lógico.

conjunto que verosímelmente constituye el grueso consecuente de nuestra expulsión del Paraíso.

El material empírico. Volviendo a la definición de Física, la frase de Einstein tiene un inequívoco aire burlón con respecto al obispo Berkeley, para quien, según parece (*Esse est percipi: ser es ser percibido*) solo tiene existencia real lo que puede percibirse (percepción intelectual). Es decir, en el fondo, Berkeley está en las mismas que Descartes, para quien su clásico «pienso, luego existo» viene a querer decir que, «si pienso, existo». De lo que se deriva una interesantísima conclusión: solo puedo estar seguro de que lo que pienso, existe, es decir, de la existencia de lo que pienso (puesto que estoy pensando en eso) y solo de su existencia en mi pensamiento, lo que no quiere decir que aquello que pienso corresponda a algo tangible, “real”, en el sentido ordinario. Así que, pensar es una “experiencia” empírica –para el que piensa– y, por tanto, como esa es su única verdad (su única certeza), el que piensa es un empirista. Curioso, ¿no?

¿Es Einstein empirista?



### VAMOS A 1905

Einstein vive en Berna, trabaja en la Oficina Confederal de la Propiedad Intelectual (Oficina de Patentes), está *felizmente* casado con Mileva Maric y su legítimo hijo, Hans Albert, tiene un año de vida. Lieserl ha caído en combate. El 30 de junio registra en los ANNALEN DER PHYSIK su artículo «Zur Elektrodynamik bewegter Körper» (Electrodinámica de cuerpos en movimiento). El órdago de Einstein estriba en elevar dos hechos empíricos contrastados, en apariencia contradictorios:

- El principio de relatividad de Galileo (extendido a toda la Física).
- La constancia de la velocidad de la luz.

a la categoría de supuestos previos (axiomas) sobre los que edificar su teoría y que, por tanto, den garantía notarial de los resultados que puedan obtenerse. Tras minuciosos devaneos lógicos sobre el concepto de tiempo y juegos malabares con relojes, sistemas de referencia (galileanos) y señales luminosas, se obtienen irrefutables consecuencias:

wonderfulengineering.com

**“El tiempo no es un absoluto, sino que está ligado al sistema de referencia”.**

## 2015: En torno a Einstein y su Teoría de la Relatividad (una reflexión por encargo)

- a) El arcaico éter lumínico está de sobra.
- b) La simultaneidad de los sucesos está ligada al lugar (al sistema de referencia).
- c) La velocidad de la luz es un límite insuperable para la transmisión de cualquier proceso o fenómeno.
- d) El tiempo no es un absoluto, sino que está ligado al sistema de referencia.
- e) La longitud no es un absoluto, sino que está ligada al sistema de referencia.

Es interesante reflejar la expresión que liga los tiempos de un suceso medidos desde dos sistemas distintos que se desplazan uno respecto al otro con velocidad  $v$ :

$$t_2 = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \cdot t_1$$

que, entre otras cosas, acredita el infranqueable límite superior de la velocidad de la luz ( $c$ ). En su Conferencia de Kyoto de diciembre de 1922, resume Einstein el logro mayor:

*"El tiempo no puede definirse en términos absolutos, habiendo una relación inseparable entre tiempo y velocidad de la señal. Con este nuevo concepto pude, por primera vez, resolver por completo todas las dificultades."*

que viene a arruinar definitivamente nuestras certidumbres anteriores inaugurando otras incontestables. Es posible que Hume se viera en un aprieto: el empirista Einstein destapa, pensando, el verdadero rostro (nombre) del tiempo. Sin fallos lógicos. Sin trampas experimentales. No eran necesarias: la mente humana define la verdad. No hay que esperar a que nada la confirme. Lo que invierte el paradigma convencional.

Pero había más. ¿Depende la inercia de un cuerpo de su contenido en energía?

El 27 de septiembre presenta en los *Annalen der Physik* una especie de post data «Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?», que empieza:

*"Los resultados de un estudio electrodinámico que hace muy poco publiqué en estos Anales llevan a una conclusión muy interesante que voy a deducir aquí."*

e, inspiradamente, concluye:

*"Si un cuerpo emite la energía  $L$  en forma de radiación, su masa disminuye en  $L/V^2$ ... Si la teoría se corresponde con los hechos, la radiación transfiere inercia entre los cuerpos que emiten y los cuerpos que absorben."*

Versión laica de aparente modestia: "Si la teoría se corresponde con los hechos...". ¡Herr Profesor: usted sabe que sí! Pero de eso ya se ocuparán otros. [En terminología actual,  $L$  es  $E$  y  $V$ ,  $c$ . Por tanto:  $E = mc^2$ .] La masa y la energía no son magnitudes independientes (la luz transporta masa, dice Einstein). Otro golpe irreversible a las certidumbres previas. Y aún otro: la masa inerte crece con la energía total (y, por tanto, por ejemplo, con la cinética). La *spezielle Relativitätstheorie* ingresa en la Historia, si bien, de momento, no se adjetiva, porque no hay otra.

### LA LARGA MARCHA

Los espíritus inquietos no se detienen. Pero quizá por eso, *audaces fortuna iuvat*. El azar quiere, en este caso, que Johannes Stark encargue a Einstein en septiembre de 1907 un artículo de recopilación sobre la relatividad –ni especial-

**"La velocidad de la luz es un límite insuperable para la transmisión de cualquier proceso o fenómeno".**

mente conocida ni, mucho menos, santo de la devoción de los que saben algo– para su revista *Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik*. El 4 de diciembre se registra ya en ella el artículo solicitado «Über das Relativitätsprinzip und die aus demselben gezogenen Folgerungen» (*Principio de relatividad y consecuencias que se derivan del mismo*), que va a significar, de hecho, el inicio del proceso hacia la relatividad general. En su parte V, titulada "Principio de relatividad y gravitación", dice Einstein:

*"Hasta ahora hemos aplicado el principio de relatividad, es decir, la suposición de la independencia de las leyes de la Naturaleza del estado de movimiento del sistema de referencia, solo a sistemas de referencia no acelerados. ¿Se puede pensar que el principio de relatividad valga también para sistemas acelerados unos con relación a otros?"*

Estamos acostumbrados. Cuando Einstein formula una pregunta así, la respuesta es que sí. Con algo de detalle, nos lega –oculto en el llamado Manuscrito Morgan– el relato de la transición:

*"En el año 1907, estando absorto en un trabajo sucinto sobre la teoría de la relatividad especial para el Jahrbuch der Radioaktivität und Elektronik, intentaba a la vez modificar la teoría de la gravitación de Newton para que sus leyes encajasen con la teoría [de la relatividad]. En este sentido, las tentativas me hicieron ver la viabilidad de esa pretensión, pero no me satisfacían porque tenían que basarse en hipótesis físicamente infundadas."*

Me vino entonces la idea más feliz de mi vida en la siguiente forma:

*El campo gravitacional solo tiene una existencia relativa, de modo similar al campo eléctrico engendrado por inducción electromagnética. Porque para un observador que cae en caída libre desde el tejado de una casa, no existe –al menos en su entorno inmediato– durante su caída, ningún campo gravitacional. Es decir, si el observador deja caer cualquier cuerpo, estos*

## 2015: En torno a Einstein y su Teoría de la Relatividad (una reflexión por encargo)

cuerpos permanecen, con relación a él, en estado de reposo o de movimiento uniforme, con independencia<sup>2</sup> de su naturaleza física o química. El observador está legitimado por tanto para interpretar su estado como de «reposo».

La ley experimental –excepcionalmente singular– según la cual todos los cuerpos caen, en el mismo campo gravitatorio, con la misma aceleración adquiere inmediatamente, gracias a esta idea, una significación física profunda, pues si se diera una sola cosa que cayese en el campo gravitatorio de forma diferente a las demás, el observador podría darse cuenta

entonces, con ayuda de ella, de que se encuentra en un campo gravitacional y de que está cayendo en este campo. Pero no existe tal cosa –como revela la experiencia con gran precisión–, por lo que el observador carece de cualquier fundamento objetivo para considerarse en caída libre en un campo gravitacional. Más bien tiene derecho a interpretar su estado como de reposo y que, con relación a la gravitación, su entorno está libre de campo.

El hecho experimental de la independencia de la materia de la aceleración de caída es por lo tanto un poderoso argumento para hacer extensivo el postulado de relatividad a sistemas de coordenadas que se muevan, unos con relación a otros, con movimiento no uniforme."

(Principios fundamentales y métodos de la teoría de la relatividad expuestos según su evolución. Enero de 1920)<sup>3</sup>.

La idea más feliz se plasma pues en la decisión de poner en marcha la pulsión intelectual y emocional –de las que no anda precisamente falto Einstein– de que es posible extender el principio de relatividad a sistemas acelerados. En tal caso, la relatividad, la única que conocemos has-

**“Las masas inercial y gravitatoria son iguales”.**

Albert Einstein.

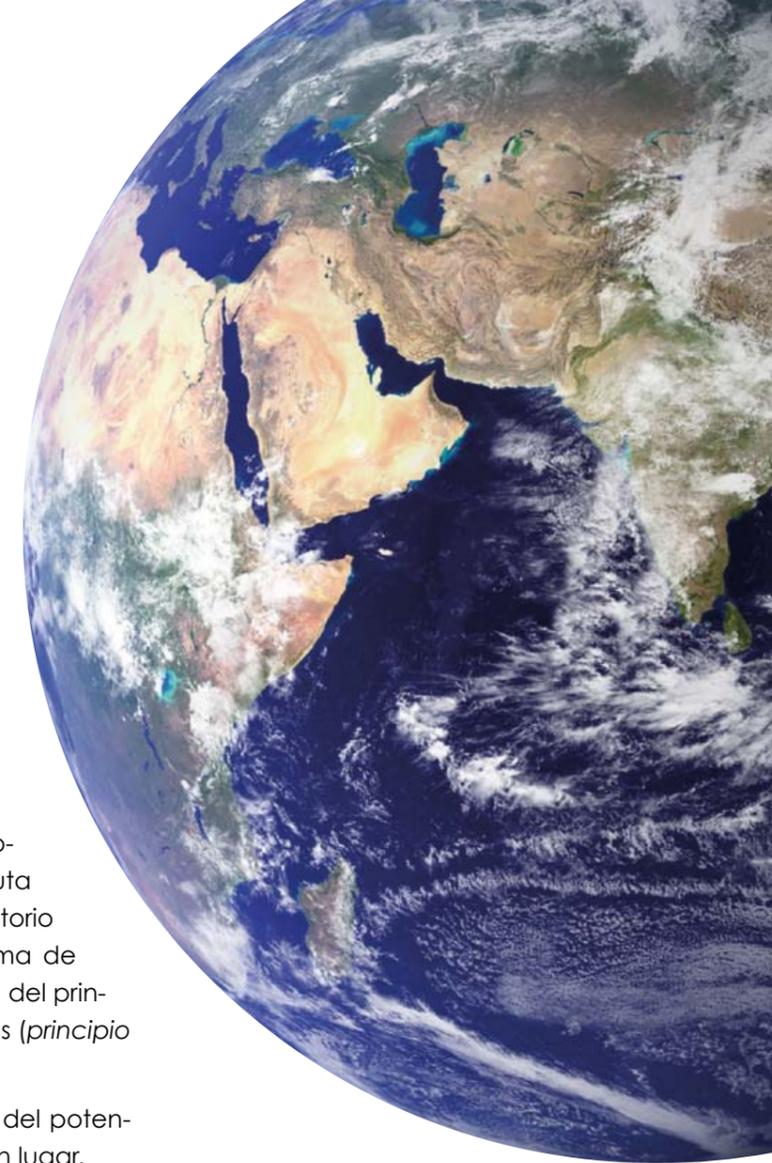
en.wikipedia.org

ta la fecha, perdería su cariz restringido y se abriría la puerta a su generalización en la que, ahora sí, cabría la gravitación. Las dificultades de la extensión planean ya en este artículo, así como el detalle, obsesivo en Einstein, de que masa inerte y masa gravitatoria son equivalentes (como ha acreditado experimentalmente Eötvös) y deben tener, por tanto, el mismo tratamiento. Listemos las nuevas certidumbres:

1. Las leyes físicas son las mismas referidas a un sistema acelerado (en una región libre de campo) o a un sistema en reposo en un campo gravitatorio (homogéneo). Dicho de otro modo, hay absoluta equivalencia física entre campo gravitatorio y aceleración correspondiente del sistema de referencia, lo que representa la extensión del principio de relatividad a sistemas acelerados (*principio de equivalencia*).
2. La velocidad de los procesos es función del potencial gravitacional del punto en que tienen lugar.
3. Los rayos de luz se *tuercen* en un campo gravitacional.
4. Las masas inercial y gravitatoria son iguales.
5. La relación  $E = mc^2$  rige tanto para la masa inerte como para la gravitatoria (en caso contrario, un cuerpo caería en el mismo campo gravitatorio con diferente aceleración según el contenido en energía del cuerpo, lo que no sucede).

El asunto del movimiento del perihelio de Mercurio está ya en el horizonte mental einsteiniano, tal vez más como obsesión que como resaca de la idea más feliz. Es probable que, en la génesis de las ideas posteriores, también felices pero quizá más tortuosas, haya tenido un efecto inductor la tensión teórica por explicar un problema empírico. La experiencia como fuente de ideas, algo a no olvidar.

En 1908 sale Minkowski al escenario físico. La sustitución del tiempo por la variable imaginaria  $t = ct \cdot \sqrt{-1}$  hace



visibleearth.nasa.gov

2. Si se prescinde, claro, deliberadamente de la resistencia del aire.
3. *Grundgedanken und Methoden der Relativitätstheorie in ihrer Entwicklung dargestellt.*

## 2015: En torno a Einstein y su Teoría de la Relatividad (una reflexión por encargo)

que las coordenadas espaciales y la temporal jueguen el mismo papel. Los fenómenos físicos se representan en un espacio cuatridimensional convirtiéndose entonces las relaciones espacio-temporales de los sucesos en teoremas geométricos. Empieza aquí el rápido calvario de la *matematización* de la Física, perdiendo esta progresivamente cualquier vestigio de la antigua realidad objetiva.

Todo el caudal del artículo de 1907 precipita en el tubo de ensayo de Praga, en cuya Universidad alemana trabaja Einstein 15 meses, en un nuevo artículo. El título, por lo demás, es revelador de las intenciones: «*Über den Einfluß der Schwerkraft auf die Ausbreitung des Lichtes*» (Influencia de la fuerza gravitatoria en la propagación de la luz). La conclusión einsteiniana de que la velocidad de la luz no va a poder

considerarse ya en lo sucesivo, en general, una constante universal en un campo gravitatorio estático, sino que depende del potencial gravitatorio del lugar, significa el abandono de uno de los pilares de la *antigua* teoría de la relatividad (tiene ya seis años), lo que le acarrea incompreensión e incluso agresividad entre el *staff* científico.

Generalizar implica pues renunciar a parte de los supuestos previos. Algo que Einstein parece hacer con mayor soltura que sus rivales. [Si, en la extensión que se busca, hay que renunciar a algo, no será al principio de relatividad. El principio de constancia de la velocidad de la luz, en cambio, solo puede mantenerse limitándose a dominios espacio-temporales de potencial gravitacional constante.] En esta ocasión, Einstein calcula asimismo el ángulo de curvatura (la

desviación) que experimentan los rayos luminosos al pasar por la proximidad del Sol. La teoría prevé a su vez un corrimiento al rojo de las rayas espectrales del Sol. En su más puro estilo, lanza este reto: “*Sería de desear que los astrónomos considerasen la cuestión expuesta aquí incluso si las anteriores reflexiones parecen insuficientemente fundadas o descabelladas.*” Da por tanto por supuesta, a título personal, la certidumbre de su verdad. Dicho de otro modo, como se ha indicado antes, Einstein inaugura un nuevo criterio de verdad (una nueva epistemología): el albacea es la razón. Será la incredulidad de los demás la que requiera experiencias ratificadoras. Estamos en junio de 1911.

De ahora en adelante, Einstein da la impresión de tener prisa por que se comprueben experimentalmente sus resultados teóricos. Frente

a lo que pueda parecer, eso no necesariamente acredita la prevalencia de su fe empirista (en sentido convencional) sobre sus convicciones teóricas. Con independencia del innegable espaldarazo emocional íntimo que pueda significar la ratificación empírica de lo que se postula, no cabe desdeñar su dimensión social: el presumible efecto convincente de la comprobación experimental va a revertir positivamente, de paso, en la valoración pública del postulante. A nadie le amarga un dulce.

De 1912 a 1915 se va a abrir un largo proceso de dificultades teóricas, pues el mantenimiento del principio de equivalencia parece contradecir las leyes de Newton (la de acción y reacción en particular), salvo



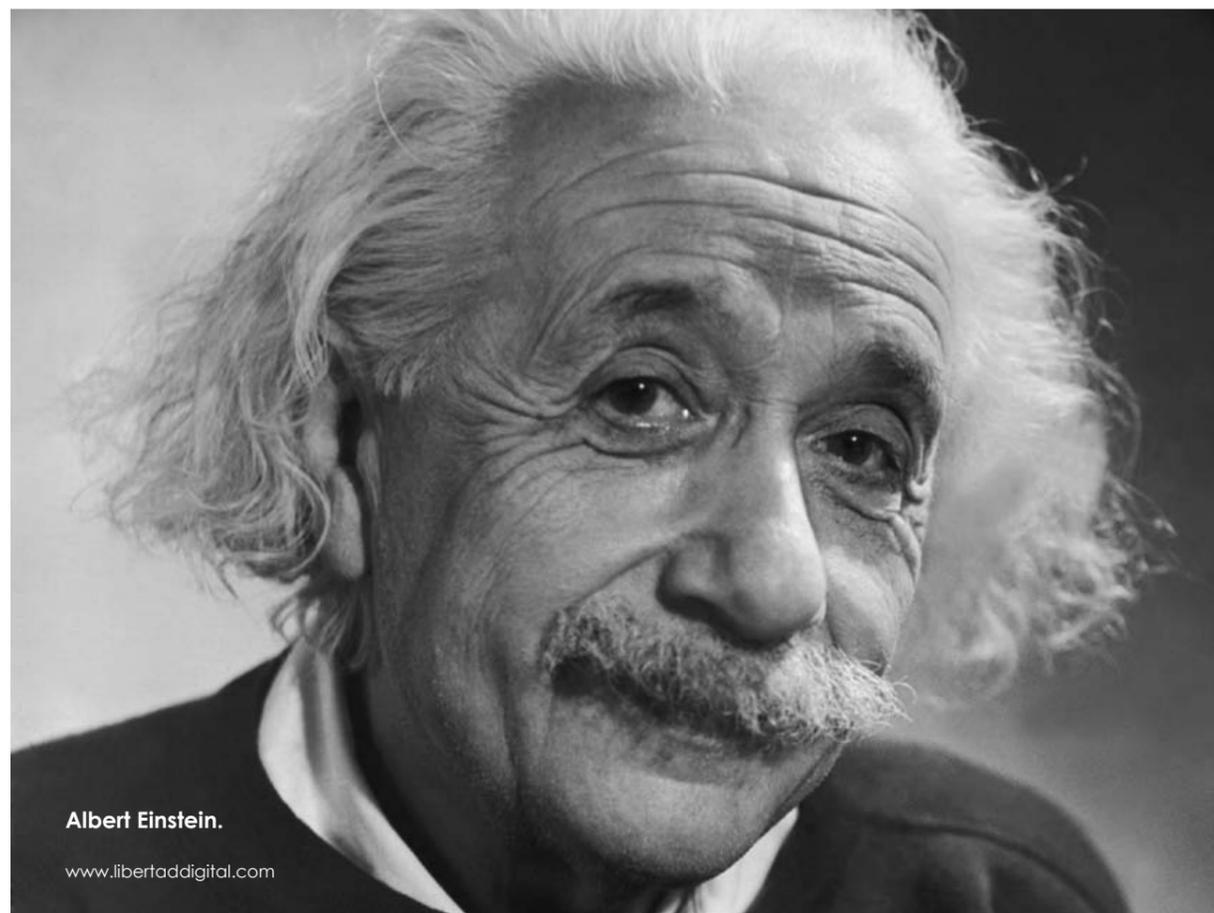
Hermann Minkowski (1864-1909).

[www.gruppozerog.it](http://www.gruppozerog.it)

que se restrinja la validez del principio a campos (gravitacionales) infinitamente pequeños. Ambas situaciones son absolutamente contrarias a la fe einsteiniana: ser clásico hasta donde se pueda (es decir, *estirar* la vigencia de las postulaciones clásicas) y extender *ad infinitum* unas ideas felices irrenunciables. Esto le va a exigir a Einstein *descubrir* la forma variacional (hamiltoniana) de las ecuaciones del movimiento y reconsiderar la formulación tensorial

**“Einstein calcula el ángulo de curvatura que experimentan los rayos luminosos al pasar por la proximidad del Sol”.**

## 2015: En torno a Einstein y su Teoría de la Relatividad (una reflexión por encargo)



Albert Einstein.

www.libertaddigital.com

de Minkowski (con su elemento característico, el tensor unificado de energía-tensión). De ahí a la generalización del formalismo a un espacio curvo hay solo un paso perfectamente probable. Se trata, en definitiva, de sustituir la geometría sin curvatura del espacio cuatridimensional de la relatividad especial por una geometría riemanniana. La familiarización con el cálculo tensorial y con la extensión de la geometría a la de Riemann le vendrá de la mano de Marcel Grossmann.

**“El tiempo, el espacio y la gravitación no tienen una existencia independiente de la materia”.**

Un último empujón. Si, en la descripción de un movimiento, la elección del sistema de referencia implicase la aparición de aceleraciones sería forzoso, para enunciar las leyes de ese movimiento, incluir información sobre el sistema empleado. Precisamente, el principio de relatividad (especial) significaba que la velocidad del observador no influye en la forma de las leyes físicas. El coherente combate (unificador) einsteiniano subsiguiente va a consistir en la impenitente búsqueda de la covariancia general. Decir que determinadas ecuaciones son covariantes respecto de una transformación de coordenadas significa que dichas ecuaciones mantienen su forma cuando se pasa de un sistema de coordenadas a su transformado. Exi-

gir que determinadas ecuaciones sean covariantes generales equivale a decir que mantienen la misma forma en todos los sistemas de coordenadas (es decir, ante cualquier tipo de transformaciones de coordenadas).

### EN RESUMIDAS CUENTAS

- a. Resumen de urgencia de la nueva formulación:
  - Todos los sistemas (*gaussianos*) de coordenadas son equivalentes para la formulación de las leyes de la Naturaleza.
  - Las trayectorias de los rayos luminosos en el seno de campos gravitatorios son curvas.
  - La masa *deforma* el espacio, es decir: *las propiedades del espacio no son intrínsecas, sino condicionadas por la materia*.
- b. Ratificaciones experimentales de la teoría.
  - El movimiento del perihelio de Mercurio.
  - La desviación de la luz por el campo gravitacional.
  - El corrimiento al rojo de las rayas espectrales.
- c. Resumen para la prensa: *El tiempo, el espacio y la gravitación no tienen una existencia independiente de la materia*.
- d. Resumen formal:  $G = kT$ .
- e. Resumen kepleriano: «Ubi materia, ibi geometria».

Lo que nos devuelve circularmente al principio. ¿Y qué hubiera pasado si el eclipse no hubiese confirmado la previsión de la teoría? *Pues lo hubiese sentido por Dios, porque la teoría es correcta*. Respuesta que no es *boutade*, sino jerarquía epistemológica. ¿Hay alguna *trascendencia* mayor?

Javier Turión  
Físico

**“¿Y qué hubiera pasado si el eclipse no hubiese confirmado la previsión de la teoría? Pues lo hubiese sentido por Dios, porque la teoría es correcta”.**



“Tanto el Árbol de la Vida como el de la Ciencia han sido objeto de especulaciones, comentarios, hipótesis, leyendas, e interpretaciones a lo largo de la Historia”.

**POR JUAN PABLO MARTÍNEZ RICA**

# LOS ÁRBOLES DEL EDÉN: PEQUEÑA INCURSIÓN EN LA BOTÁNICA MÍTICA

## Los Árboles del Edén: pequeña incursión en la Botánica mítica

**H**ace años leí un notable artículo publicado en una revista científica (BONNET, 1971). El autor, un biólogo francés, era ciertamente científico pero lo notable era el tema de su trabajo, que no podía suponerse en una revista de Historia Natural pues consistía en una larga y documentada discusión sobre el nombre y la patria verdaderos, no los oficialmente aceptados, de Cristóbal Colón. La publicación se justificaba, según el autor, porque se trataba de un caso de corrección de nomenclatura, una tarea que muchos naturalistas tenían que hacer a menudo para evitar la confusión entre varias especies. Aquí no será necesario buscar una justificación tan rebuscada pues, como se verá más adelante, se trata algún tema claramente científico, pero también otros que, aún siendo tanto o más interesantes, podrían buscarse con más razón en publicaciones muy diferentes. El motivo de la inclusión se encuentra en el título del artículo, en cuyo tratamiento se conjugan por fuerza distintas disciplinas.

### TRADICIONES Y MITOLOGÍAS

La idea de una edad de oro primordial en la que los hombres convivían en paz, los animales no devoraban a otros animales, y la tierra daba sus frutos sin trabajo en un ambiente paradisíaco, se halla en la mayoría de las culturas. En algunas tomó la forma de leyenda sobre un hermoso jardín en el que Dios colocó a nuestros primeros padres, Adán y Eva, como se sostiene

**“El número de lugares propuestos como ubicación del Edén se cuenta por centenares ¡Incluyendo el Polo Norte o la Antártida!”.**

en una tradición común a la fe judía, musulmana y cristiana. Una parte de la tradición de los jardines privados en la Edad Media, tanto en el mundo cristiano como en el musulmán, se fundamenta en la voluntad de reconstruir una aproximación a lo que se supone son los jardines celestiales, débilmente imitados por el Paraíso Terrenal o Jardín del Edén.

A lo largo de la Historia muchas personas han dado tal crédito a esa tradición que han pretendido incluso localizar el Paraíso Terrenal, bien creyendo que aún existía en su tiempo, bien suponiéndolo desaparecido pero tratando de ubicar el lugar en que se habría encontrado. Infinidad de libros se han escrito sobre este tema, cuya discusión no se ha extinguido ni siquiera en nuestros días, y el número de lugares propuestos como ubicación del Edén se cuenta por centenares ¡Incluyendo el Polo Norte o la Antártida!.

Las referencias del Corán al Jardín del Edén son escasas en comparación con las más extensas que suministra el libro del Génesis, en sus capítulos 2 y 3. En estas referencias se mencionan dos árboles no identificables en la actualidad, mientras que en el Corán se menciona solamente uno, sin especificar su nombre ni sus cualidades. He aquí las palabras textuales del Corán (2, 33):

*Dijimos a Adán: “Habita el Paraíso con tu esposa y aliméntate de los frutos que crecen allí. Extiende hacia todas partes tus deseos, pero no te acerques a este árbol, temeroso de convertirte en culpable”.*

Sobre este tema, el Corán no hace sino resumir muy brevemente, pero con cierta fidelidad, los textos bíblicos. Se sobreentiende, aunque el texto no lo declara, que Adán y Eva desobedecieron el mandato de Dios, se acercaron al árbol prohibido, y fueron castigados perdiendo la condición en que vivían. No se dice si comieron de sus frutos, ni tampoco si se trataba del Árbol de la Vida o de algún otro.

En cambio la cita del Génesis dice así:

*Luego plantó Yahvé Dios un jardín en Edén, al oriente, donde colocó al hombre que había formado. Yahvé Dios hizo brotar del*

*suelo toda clase de árboles deleitosos a la vista y buenos para comer, y en medio del jardín el Árbol de la Vida y el Árbol de la Ciencia del Bien y del Mal...*

Y se supone que entre los otros árboles “deleitosos a la vista y buenos para comer” se contarían los principales frutales conocidos en los tiempos de la redacción del Génesis. ¿Es posible identificar los dos árboles mencionados como “de la Vida” y “de la Ciencia del Bien y del Mal”? Como es de suponer, el texto designa en realidad árboles simbólicos, que no tienen mucho que ver con el mundo vegetal. Tanto el Árbol de la Vida como el de la Ciencia han sido ob-



Adán y Eva en el Paraíso,  
Wenzel Peter.  
www.zeno.org

## Los Árboles del Edén: pequeña incursión en la Botánica mítica

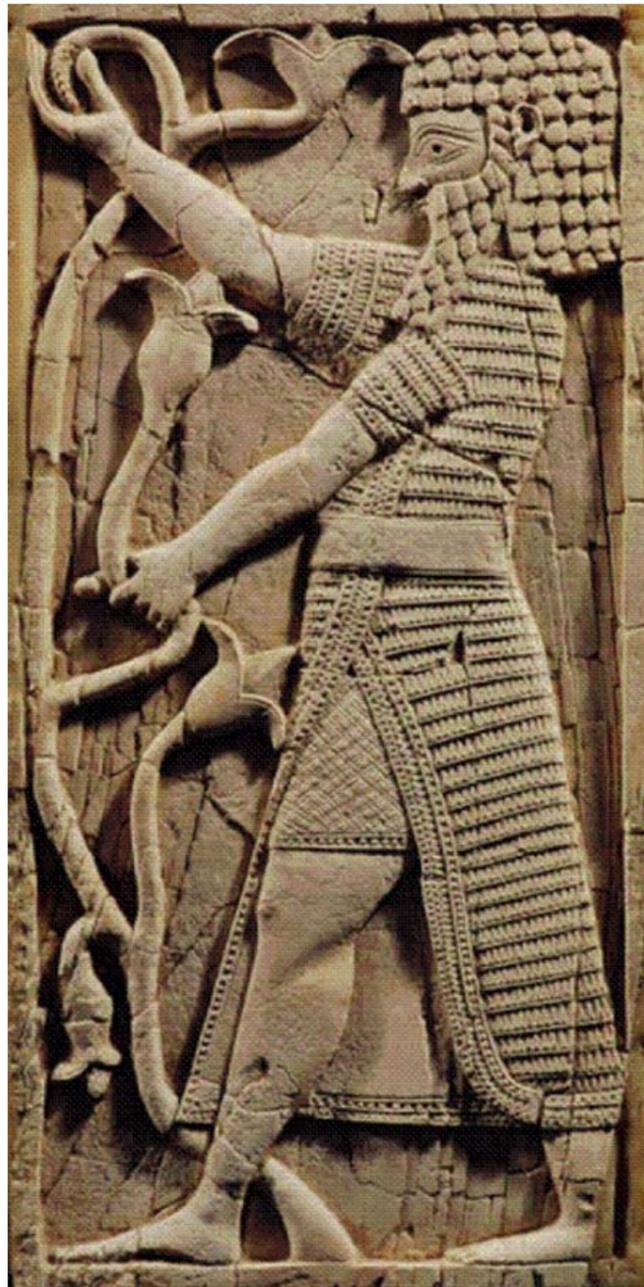
jeto de especulaciones, comentarios, hipótesis, leyendas, e interpretaciones a lo largo de la Historia, han ocupado a escritores como Fedor Dostoyevski o Pío Baroja, a pintores como Fra Angelico o Gustav Klimt, así como a escultores, filósofos y cabalistas. Estos árboles se han identificado con la mujer, con el sexo, con la palabra divina, con los cuerpos del hombre y la mujer, con la armonía del universo, con los conocimientos agrícolas, con la justicia humana, etc. Y también, por supuesto, han sido objeto de discusiones botánicas. De un tratamiento tan extenso nos interesa únicamente el aspecto botánico, y este circunscrito al mundo de la Biblia y a las civilizaciones coetáneas.

La leyenda del Árbol de la Vida no se origina en la Biblia, sino que es muy anterior. Esta planta aparece en el antiquísimo poema de Gilgamesh, originado hace al menos 4100 años. Mientras que en la Biblia no se indica ningún detalle del árbol y solo se señala que su fruto otorgaba la inmortalidad, el poema babilónico es más explícito. En su último capítulo Gilgamesh recibe de Utnapishtim, el único hombre al que se ha concedido la inmortalidad, el secreto de una planta que devuelve la juventud:

*Gilgamesh, tu has llegado a mí  
exhausto y rendido.  
¿Qué puedo darte yo para que  
puedas volver a tu tierra?  
Te descubriré una cosa escondida,  
Gilgamesh.  
Te diré que hay una planta, como el  
espino blanco,  
cuyas espinas pincharán tu carne,  
como las de una rosa.  
Si tus manos alcanzan esta planta  
volverás a ser joven.*

**Un marfil asirio representando al rey de Uruk, Gilgamesh arrancando el Árbol de la Vida, en este caso un granado estilizado. Palacio de Salmanasar III, Nimrud, siglo VIII a.C. Museo Británico**

Imagen cedida por el autor.



El poema continúa con la hazaña de Gilgamesh, que consigue arrancar la planta del fondo del mar (¿o del abismo, o del otro lado del mar?), aunque más tarde la pierde. Se trata pues de una planta acuática y espinosa, que no concede la inmortalidad pero devuelve la juventud. A lo largo de la Historia esta planta se ha identificado, entre otras, con la vid, el granado, el olivo, la higuera, el azufaifo, el espino blanco (tomando literalmente el poema), el drago, la tuya, la palmera datilera, etc., siendo la última la que parece más adecuada, con el granado en una próxima segunda posición. No se van a detallar los numerosos argumentos a favor de una u otra interpretación, pero bastará decir que la palmera tiene, en efecto, espinas en la base de sus hojas que, si bien no es acuática, crece profusamente en las marismas del Bajo Irak, cerca de los ríos Éufrates y Tigris (que por cierto son mencionados como ríos del Paraíso en el Génesis), que proporcionaba a los habitantes de la zona prácticamente todo lo necesario para su vida y que por este motivo

**Palmera datilera en el Edificio de Geológicas de la Facultad de Ciencias (Universidad de Zaragoza).**

Imagen de la Facultad de Ciencias.

podía ser considerada como verdadero Árbol de la Vida, aparte de que el vino de palma, una de las primeras bebidas fermentadas que el hombre produjo, inducía la embriaguez y con ella la ilusión de recuperar los bríos juveniles.

Cabe señalar que, entre los muchos puntos del globo en que se ha pretendido situar el Jardín del Edén, hay uno que blasona de ser precisamente el lugar de dicho jardín. Se trata de la aldea de Al Qurnah, un poco al norte de Basora, en el sur de Irak. Esa aldea se halla justamente en la actual confluencia de los ríos Éufrates y Tigris, no lejos de la ubicación de las antiguas ciudades sumerias de Uruk (patria del antes men-

## Los Árboles del Edén: pequeña incursión en la Botánica mítica



Un supuesto descendiente del Árbol de la Vida en el Parque de Adán, aldea de Al Qurnah, Irak. Se trata de un azufaifo (*Zizyphus jujuba*) muerto en el año 2003, quizás todavía en pie.

[www.babylon-lion.com](http://www.babylon-lion.com)

**“La leyenda del Árbol de la Vida no se origina en la Biblia, sino que es muy anterior”.**

cionado Gilgamesh y una de las primeras ciudades de Sumer) y Ur (patria del Abraham bíblico y capital del último imperio sumerio). Conserva un árbol que, en el lugar, se acepta como el de Adán, concretamente el Árbol de la Vida. Hoy es un tronco seco y desnudo, pues murió en 2003. Se trataba de un azufaifo que tenía poco más de cincuenta años de edad, y que sucedió a su antecesor, muerto mucho antes, en 1919. No se sabe a que especie pertenecía este último, aunque desde luego no se trataba de un manzano, y no tenía más de 200 años, seguramente muchos menos, cuando murió. En todo caso no es el único árbol para el que se pretende ese honor y ese nombre, ni siquiera en la zona del Golfo Pérsico.

¿Qué hay del “Árbol de la Ciencia”? Como el anterior, probablemente representa un elemento simbólico, en este caso del conocimiento como contrapuesto a la vida. Quienes comen del fruto del primero viven largamente y disfrutan de los placeres de la vida. Los que comen del segundo han cambiado la alegría y la inocen-

cia por el conocimiento, que les hace iguales a Dios, pero que les obliga a la reflexión y al trabajo para obtener los frutos de la tierra. Pero este árbol también ha sido identificado a lo largo de la Historia con muchos otros elementos materiales o espirituales.

Suponiendo, y es mucho suponer, que la leyenda contenga algún elemento real y que aluda a un árbol verdadero, ¿cuál sería su especie? La idea más extendida y la más utilizada por pintores y escritores a lo largo de la historia es que consistía en un manzano. La manzana entregada por Eva a Adán encierra el símbolo de la caída de nuestros primeros padres. Sin embargo esta identificación es gratuita y se debe, sobre todo, a que el manzano es el frutal más frecuente en la Europa no mediterránea. El Génesis dice que este árbol tenía frutos agradables a la vista y buenos para comer, de manera que lo más lógico sería buscar la especie entre los frutales que crecían hace varios milenios en la cuenca mesopotámica. Entre las especies propuestas por distintos autores y artistas se cuentan el manzano, el olivo, la vid, el granado, el azufaifo, la palmera datilera, la higuera, etc.

A diferencia de lo que ocurre con el Árbol de la Vida, el del Conocimiento no figura en leyendas mesopotámicas más antiguas que el Génesis. Sin embargo, algunos de los elementos que el relato bíblico asocia a este último sí que figuran en esas leyendas. Por ejemplo, en la epopeya antes citada de Gilgamesh aparece la serpiente, pero vinculada al Árbol de la Vida. Es una serpiente la que roba a Gilgamesh la planta de la inmor-

talidad cuando este se detiene a beber, de vuelta a su patria. Esto tiene sentido, ya que las serpientes han sido consideradas como genios inmortales de la tierra en la mayoría de las civilizaciones primitivas. En efecto, al mudar de piel parecen rejuvenecer una y otra vez, de manera que es lógico que la planta que rejuvenece acabe en su poder.

*Viendo una fuente y sintiendo frescas sus aguas  
Gilgamesh bajó, y se bañaba en las aguas,  
Una serpiente olió la fragancia de la planta,  
Llegó silenciosa, y se la llevó de allí.  
Mientras se marchaba, mudó su piel.*

De entre las muchas leyendas referentes al Árbol de la Vida hubo una que gozó de gran popularidad y crédito hace siglos y que influ-



[www.desktopwallpapers4.me](http://www.desktopwallpapers4.me)

## Los Árboles del Edén: pequeña incursión en la Botánica mítica

yó intensamente en la infinita iconografía de la pasión de Jesucristo. Se trata de la leyenda de Seth, según la cual este hijo de Adán y Eva fue capaz de rehacer el camino seguido por sus padres tras la expulsión del Paraíso y pudo llegar a las puertas de este, y allí hablar con el ángel guardián que, espada de fuego en mano, continuaba guardando la entrada. Al parecer el ángel accedió a proporcionar a Seth unas semillas o ramas del Árbol de la Vida, que el hombre plantó y de las que nacieron los cedros del Líbano. De acuerdo con esta leyenda, pues, el cedro del Líbano sería el Árbol de la Vida. Probablemente las indicaciones bíbli-

cas acerca de la construcción con cedros del Líbano del Templo de Salomón y del Arca de la Alianza fueron factores decisivos en el afianzamiento de esta leyenda, que continúa con la suposición de que de esos cedros, descendientes directos del Árbol de la Vida del Paraíso, se construyó la cruz de Cristo. Para distintos autores sagrados, la crucifixión de Cristo tuvo lugar precisamente en el lugar donde había estado el Paraíso Terrenal, y de ahí que en muchas representaciones de esa tragedia figure el cráneo de Adán al pie de la cruz. Otra leyenda mucho más elaborada y que no se detallará aquí, sostiene que la cruz de Cristo procede de un árbol triple, formado por un ciprés, un pino y un cedro, que crecía en las afueras de Jerusalén (donde hoy se halla el monasterio ortodoxo de la Santa Cruz) en tiempos de Cristo.

### LITERATURA

El Génesis es atribuido a Moisés por la tradición judaica, pero su composición parece ser bastante posterior, derivando de distintas tradiciones orales. La más antigua de estas es la llamada "tradición yahvista" mantenida por los sacerdotes de Israel durante los siglos IX y X a.C., es decir, durante el florecimiento del imperio asirio. A su vez este imperio, que había asimilado las tradiciones mesopotámicas, utilizaba con mucha frecuencia en sus relieves la imagen del "árbol de la vida". Este árbol era representado en forma de una palmera estilizada que el rey o un semidiós fertilizaba mediante ritos mágicos, consistentes en lo esencial en la polinización de las flores femeninas mediante

las masculinas. Está claro que este rito implicaba para los asirios la transmisión de la fertilidad y por tanto de la vida.

En último término, todos los relatos sobre el Paraíso Terrenal y sobre los árboles que albergaba tienen su origen en el libro del Génesis, aunque hayan pretendido aportar descripciones más completas y detalladas sobre el tema. En este caso tales descripciones son proporcionadas por la imaginación creativa de los respectivos autores. Dos relatos literarios sobre el Paraíso destacan especialmente sobre los muchísimos que existen, los debidos a Dante Alighieri y a John Milton.

Dante, en su Divina Comedia, sitúa el Paraíso Terrenal en la cumbre de la montaña del Purgatorio, y le dedica los dos últimos cantos de esta parte del poema, en los que describe el Árbol de la Ciencia. Pero su descripción es hermética, oscura y alegórica, nada fácil de interpretar, y no permite en modo alguno identificar la especie como uno de los árboles de este mundo. He aquí los versos que se refieren directamente a este árbol:

*...y una planta cercaron, despojada  
de fronda y hojas, flores y racimos.  
Su copa, cada vez más dilatada  
conforme sube, en su natal floresta,  
sería por los indios admirada.  
"¡Bendito, oh grifo, porque no molesta  
tu pico al árbol que es tan dulce al gusto,  
pues su sustancia al vientre es tan funesta!"*

Más adelante hay nuevas referencias al árbol, pero ninguna palabra permite su identificación. Es verdad que en otra parte del poema, el canto XXIV, correspondiente a la sexta cornisa de la

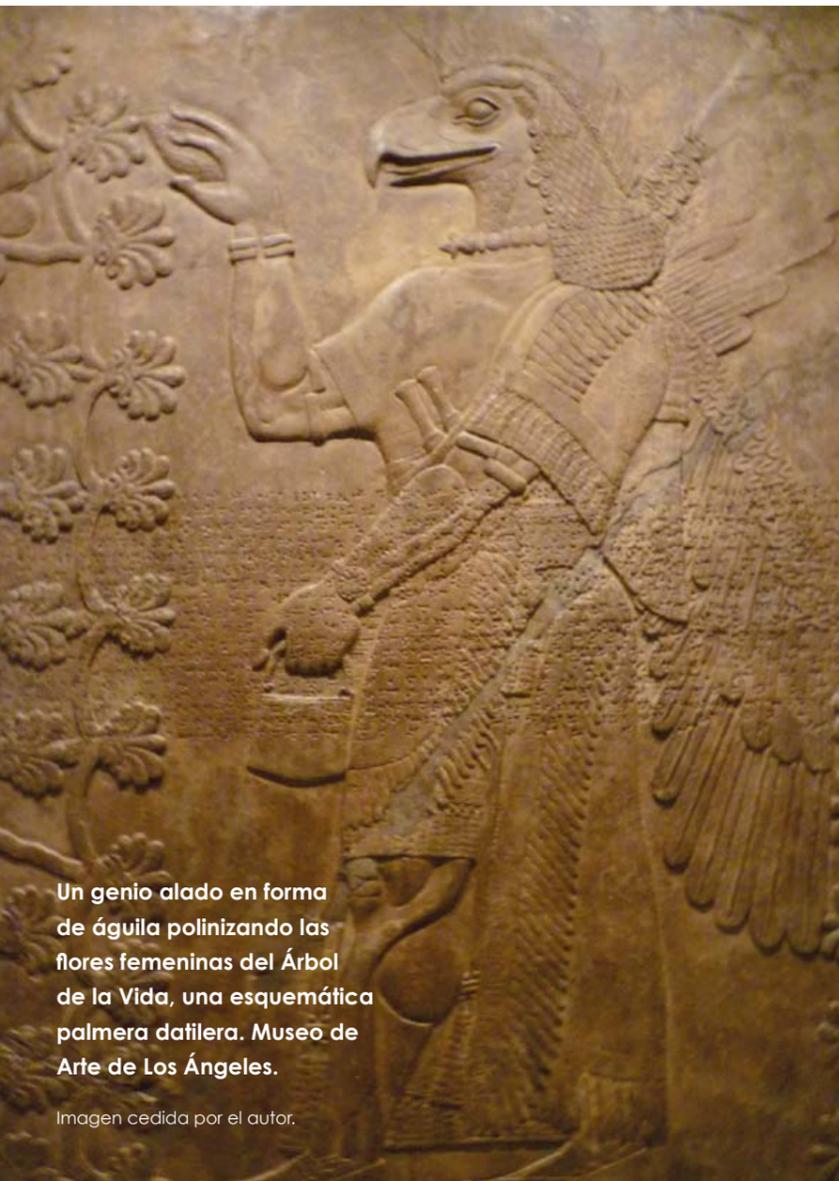
**"Este árbol era representado en forma de una palmera estilizada que el rey o un semidiós fertilizaba mediante ritos mágicos".**

montaña, se habla de otro árbol similar, un retoño del que hay en el Paraíso, y al que algunos traductores llaman manzano. Sin entrar en disquisiciones lingüísticas acerca de la traducción correcta del término "pomo" en el original de Dante, parece ser que esta sería, como aceptan la mayoría de los especialistas, "frutal". Es decir, Dante no considera que el árbol en cuestión sea un manzano, tanto más cuanto que, pocas líneas después de las aquí copiadas, el

poeta menciona precisamente un "manzano angélico", distinto del Árbol del Conocimiento, y emplea para ello el término "melo", más específico.

En definitiva, lo único que podemos sacar en claro de la descripción de Dante es que el árbol en cuestión es gigantesco, hasta el punto de que en la India, donde no faltan los árboles enormes, sería admirado, con la copa en forma de cono invertido, y que posee, cuando está verde, hojas, flores y frutos en racimo. Claro está que se trata de una descripción poética, y querer buscarle visos de realidad es inútil y absurdo.

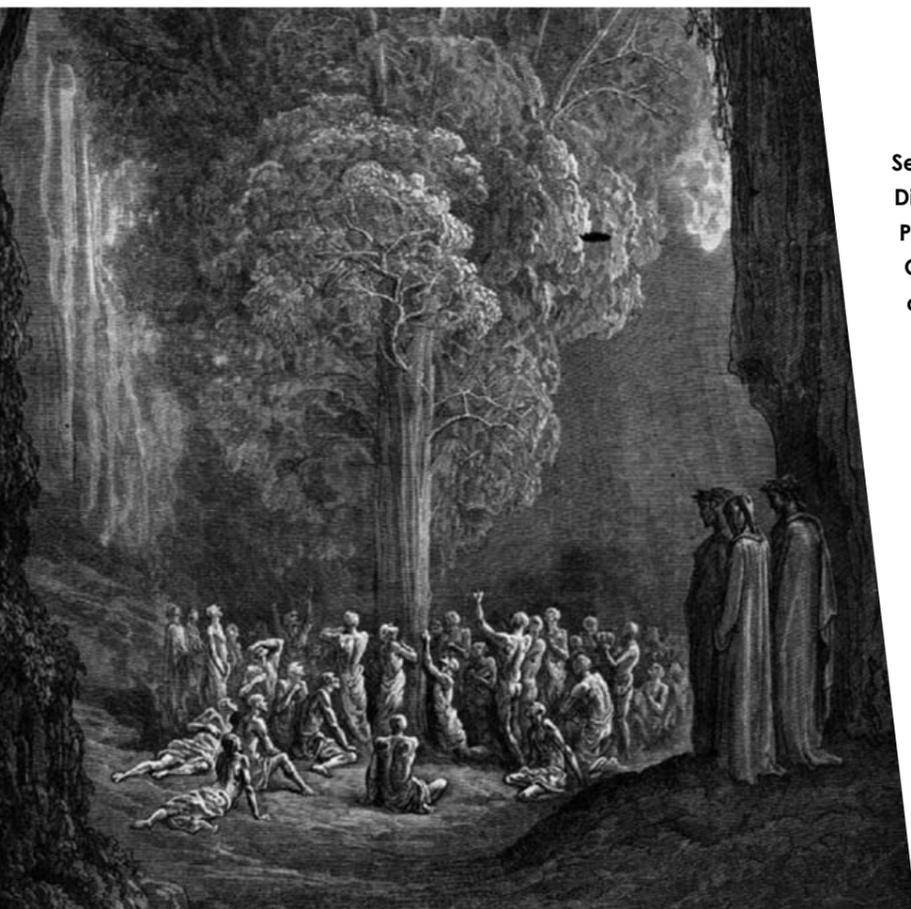
La segunda fuente literaria de proyección universal en la que se hace una descripción del Paraíso Terrenal es "El Paraíso Perdido", de John Milton. Aunque poética y simbólica en muchas de sus partes y con un lenguaje más bien rebuscado, dicha obra es mucho más realista que la Divina Comedia, al menos en lo que respecta a las descripciones del Paraíso, que abundan a lo largo del poema. Asimismo las descripciones de los árboles del Edén son frecuentes, no solo las del Árbol de la Vida y las del Árbol de la Ciencia, sino también de otras especies a las que el autor designa por sus nombres. La ma-



Un genio alado en forma de águila polinizando las flores femeninas del Árbol de la Vida, una esquemática palmera datilera. Museo de Arte de Los Ángeles.

Imagen cedida por el autor.

## Los Árboles del Edén: pequeña incursión en la Botánica mítica



Sendas ilustraciones de La Divina Comedia y de El Paraíso Perdido, debidas al mismo autor, Gustavo Doré, y que apoyan las descripciones que los textos dan del Árbol de la Ciencia.

laexuberanciadehades.wordpress.com (izda.)  
ebooks.adelaide.edu.au (dcha.)

**“La mayoría de las descripciones son de tipo general, y aluden a árboles frondosos, flores de fragante perfume y frutos sabrosos”.**

yoría de las descripciones son de tipo general, y aluden a árboles frondosos, flores de fragante perfume y frutos sabrosos, sin especificar. Pero también incluye alusiones concretas al Árbol de la Vida y al de la Ciencia, de los que dice:

*“En medio del Paraíso se erguía el Árbol de la Vida, alto, fuerte, mostrando sus frutos de ambrosía y de oro vegetal (¿un naranjo?). No lejos de él se hallaba el Árbol de la Ciencia, en el que la savia del bien dominaba a la savia del mal...”*

En estas primeras referencias Milton no se decanta por especies concretas de árboles. Pero por lo que hace al segundo de ellos, de mayor importancia en la historia bíblica, es aludido en

distintos capítulos posteriores del libro, en especial en los referentes a la tentación por parte de la serpiente. En estos casos se emplea una referencia específica y se designa el árbol como un manzano. Así, en la tentación de Eva (Libro IX), la serpiente dice:

*Pero un día, vagando por el campo descubrí a lo lejos un hermoso árbol, cargado de frutas de bellísimos colores dorados, púrpúeos y azules. Me acerqué para contemplarlo mejor y al punto percibí el olor excitante y agradable que despedían sus ramas. Despertose mi apetito y decidí satisfacer en el mismo momento el deseo de probar aquellas manzanas...*

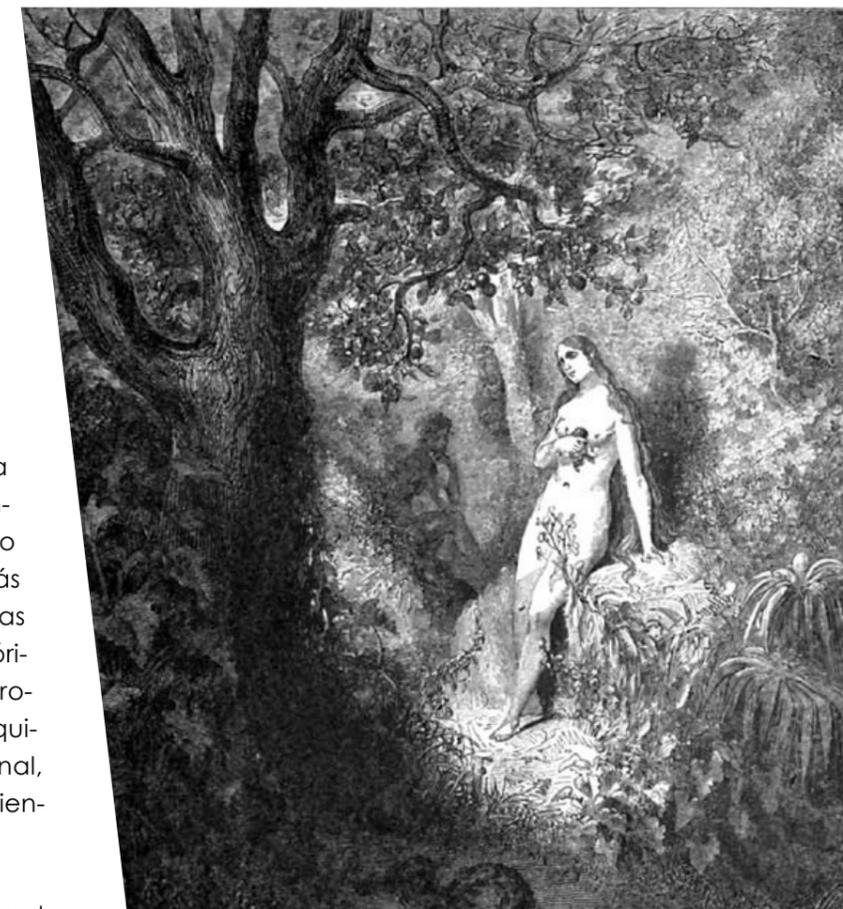
Por lo menos en otros dos pasajes del libro se hace referencia explícita a la manzana como fruto del Árbol de la Ciencia del Bien y del Mal. Pero claro está, Milton pertenece al mundo centroeuropeo, en el cual la tradición de que dicho árbol es un manzano se hallaba asentada ya desde hacía al menos dos siglos.

### ARTE

Esta evolución que se inició con la identificación entre el Árbol de la Ciencia y la higuera, y terminó sustituyendo a esta por el manzano, se aprecia, más que en las referencias literarias, en las manifestaciones artísticas, tanto pictóricas como escultóricas. Los artistas europeos han representado centenares, quizás millares de veces, el Paraíso Terrenal, la tentación de Eva o el Árbol de la Ciencia del Bien y del Mal.

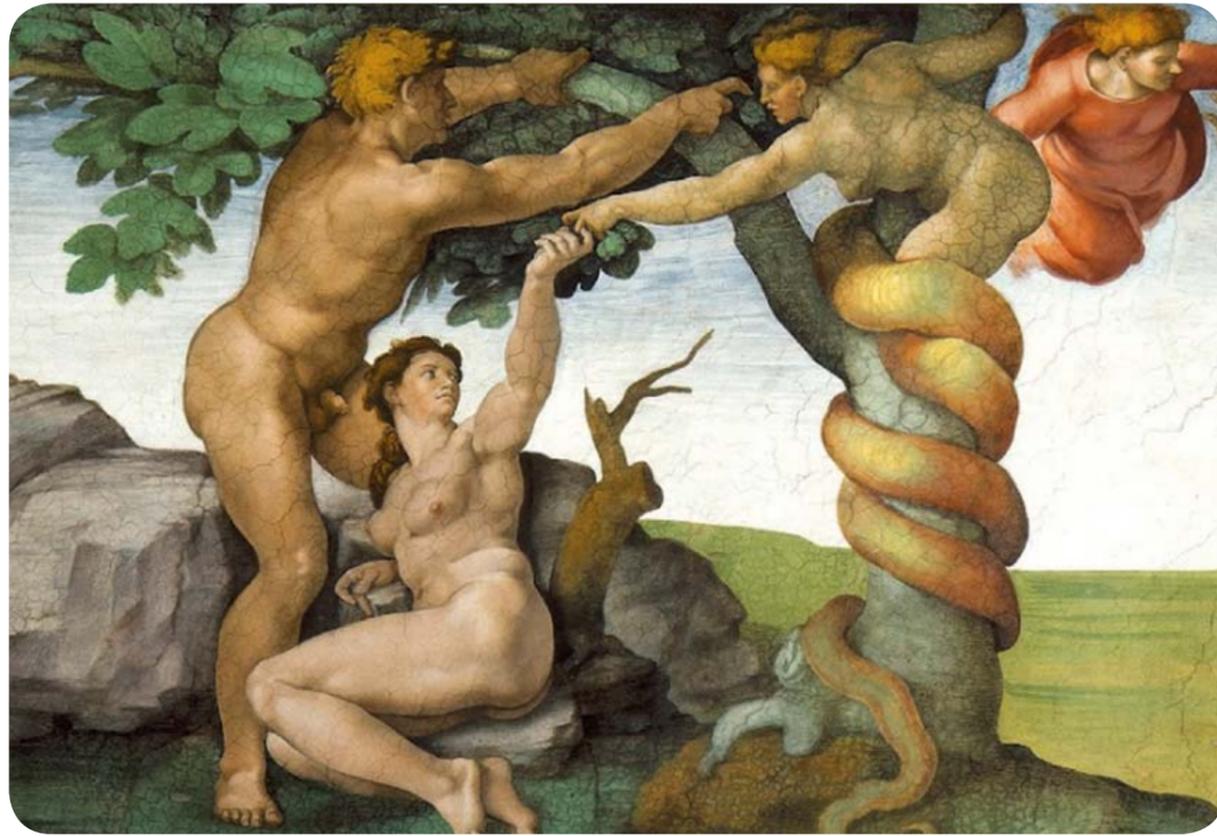
La más famosa representación pictórica de los episodios narrados en los primeros capítulos del Génesis es la genial ilustración que decora el techo de la Capilla Sixtina, y que se debe, como es sabido, a Miguel Ángel. Si hubiera que escoger una sola pintura sobre este tema sin duda sería esta la elegida. En la misma se representa el comienzo del Génesis, desde la creación del mundo a la expulsión de Adán y Eva del Paraíso. El Árbol de la Ciencia del Bien y del Mal aparece representado de forma muy realista en la escena de la tentación, y es perfectamente identificable. Se trata de una higuera, de modo que la tradición mediterránea al respecto continuaba vigente en Italia por lo menos hasta el siglo XVI.

Sin embargo estos artistas fueron precedidos y seguidos por otros que vivieron en Europa Central, y que representaron en sus obras otros frutales que les eran más conocidos, principalmente el manzano. Esta identificación podría derivar de un juego de palabras en latín, donde la palabra *malus* significa a la vez *lo malo*, *el mal*, y *el manzano*. Es posible que en esta elección exista también una influencia de las viejas mitologías germánicas, en las que el manzano



**“Los artistas europeos han representado centenares, quizás millares de veces, el Paraíso Terrenal”.**

## Los Árboles del Edén: pequeña incursión en la Botánica mítica



La más famosa de las representaciones artísticas de la tentación de Adán y Eva en el Paraíso Terrenal. Fresco de Miguel Angel Buonarrotti en la Capilla Sixtina, Roma, s. XVI.

marisolroman.com

era un árbol sagrado, y la diosa Freya cuidaba las manzanas de la inmortalidad, pero en esas mitologías era el manzano el Árbol de la Vida, siendo el fresno el del Conocimiento. Es más probable que la razón derivase del hecho de que el manzano es el frutal más abundante y conocido en Europa central y occidental.

La escultura ofrece también ejemplos numerosos de las creencias coetáneas en relación con los árboles del Paraíso. Presenta un patrón parecido al de la literatura y la pintura. Los escultores más antiguos del Mediterráneo cristiano identifican el árbol de la ciencia con alguno de los que se dan en sus países. En cambio los posteriores, sobre todo en Europa central, lo identifican cada vez más claramente como un manzano. Es, pues, posible seguir también aquí esta evolución que se inició al final de la Edad Media. Por ejemplo, FRANCO (2006) ha catalogado 2400 representaciones escultóricas en iglesias europeas prerogóticas, de las cuales una parte sustancial

(más de 300) representan la escena de la tentación. En los casos en que la especie del árbol se puede identificar sin problemas se trata generalmente de una higuera, pero en ocasiones también se representa la vid o más raramente el manzano.

### CIENCIA

Tras haber examinado las ideas puramente subjetivas de escritores, pintores y escultores, no estamos mucho más cerca de contestar la pregunta inicial: ¿Qué especie correspondería al Árbol de la Ciencia del Bien y del Mal? Para contestarla quizás deberíamos plantearla de manera más concreta, y buscar sugerencias más objetivas sobre el tema. Por ejemplo, ¿qué árbol podía representar la Ciencia en la antigua Mesopotamia? Aunque nunca podremos identificar esta especie de forma segura, un trabajo científico de hace algunos años ha permitido apoyar fuertemente una de las ideas propuestas al respecto. Tres autores judíos publicaron en la revista *Science* un trabajo que revoluciona las teorías hasta ahora aceptadas acerca del origen de la agricultura y que al mismo tiempo arroja alguna luz sobre el relato bíblico (KISLEV et al., 2006).

.....  
**La segunda representación más famosa de la tentación, las Puertas del Paraíso, en las que se ilustra el Árbol de la Ciencia como una higuera. Relieves en bronce del baptisterio de la catedral de Florencia. Lorenzo Ghiberti, s. XV.**

Imagen cedida por el autor.

**“La escultura ofrece también ejemplos numerosos de las creencias coetáneas en relación con los árboles del Paraíso”.**



## Los Árboles del Edén: pequeña incursión en la Botánica mítica

Hasta ahora se situaba el origen de la agricultura en Oriente Medio, donde las formas silvestres de los primeros cereales y legumbres habrían empezado a seleccionarse, plantarse y cosecharse a comienzos del neolítico, hace 10000 a 8000 años. Los primeros frutales, concretamente la higuera, no empezaron a cultivarse hasta hace 6500 años, salvo quizás la palmera datilera, que se aprovechaba directamente sin cultivo. El trabajo citado revela, sin embargo, que el cultivo de la higuera debe situarse no solo mucho antes de la fecha hasta ahora propuesta sino hasta un milenio antes que el de cualquier otra planta, quizás 11400 años atrás. Los autores han encontrado en el valle del Jordán restos de higos de esa época, que habían servido para la alimentación humana, y que mostraban señales de haber sido objeto de selección y propagación artificiales. La higuera sería, pues, la primera planta cultivada y se situaría en el origen de la agricultura. Ello se debe, sin duda, a la facilidad de propagación de la especie, que se hacía simplemente cortando y plantando ramitas con yemas.

Muchos prehistoriadores han vinculado el comienzo de la agricultura con el culto a la maternidad, a la fertilidad de la tierra, y a una es-

tructura social basada en el matriarcado. En las sociedades neolíticas, mientras que el hombre continuaría detentando el conocimiento de las técnicas de caza y de guerra, la mujer estaría a cargo de las prácticas agrícolas incipientes, y detentaría el saber vinculado a la fertilidad de la tierra y a la producción de alimentos a partir de ella. El culto a las "diosas madres", que en el caso de la antigua Mesopotamia se concretó en el culto a Istar, habría nacido, por lo tanto, de la vinculación entre la mujer y la agricultura.

El Árbol del Conocimiento del Bien y del Mal ha sido identificado en ocasiones con la higuera, básicamente con el argumento de la supuesta semejanza entre su fruto y el sexo femenino y para los proponentes de esta idea el conocimiento del bien y del mal se interpretaría como el descubrimiento de las relaciones sexuales. Pero el nuevo dato de que la agricultura se inició con el cultivo de la higuera permite aventurar una hipótesis distinta, o proporcionar un fundamento plausible a la misma. La mujer habría obtenido del fruto de la higuera el conocimiento de las técnicas agrícolas, habría proporcionado alimento suplementario a la familia y habría desbancado a Dios del papel de suministrador de alimentos mediante la simple

**Sección de un higo maduro. Las flores femeninas fecundadas y los frutos se agolpan en la cavidad interior del receptáculo, crecido en forma de copa cerrada, y las flores masculinas se sitúan cerca del pequeño orificio de salida. Este tipo de infrutescencia recibe el nombre de sícono.**

Imagen cedida por el autor.



recolección. Los hombres "serían ahora como dioses, concedores de lo bueno y lo malo", creadores de vida a partir del barro de la tierra. Claro está que pagarían este conocimiento con la expulsión del Paraíso: deberían ganar el pan con el sudor de su frente, cultivando el suelo, y nunca más podrían alimentarse simplemente alzando el brazo y recogiendo el fruto de los árboles. Este argumento no contradice los anteriores acerca de la relación entre la higuera y el conocimiento de las relaciones sexuales. De hecho, la mujer sería depositaria de una virtud mágica mediante la cual, además de crear vida en su vientre, crearía también nueva vida del suelo con los cultivos. Ambas facultades y el precio a pagar por ellas - "tendrás hijos con dolores"- procederían de una misma virtud, concedida, participada o usurpada a la divinidad creadora. La expulsión del Paraíso sería el inicio de la revolución neolítica, que, bien es sabido, comenzó en tierras del Oriente Medio.

Porque, y este es un detalle notable, pocas personas se percatan de que los primeros capítulos del Génesis no mencionan únicamente al Árbol de la Vida y al Árbol de la Ciencia del Bien y del Mal como especies protagonistas en el Paraíso. Mencionan también una tercera especie, esta claramente identificable y designada por su nombre común. Y esta especie es precisamente la higuera. Su mención se hace al comienzo del capítulo 3, después de narrar la caída de Eva y Adán.:

*Entonces se les abrieron a entrambos los ojos y se dieron cuenta de que estaban desnudos, y cosiendo hojas de higuera se hicieron unos ceñidores.*

#### REFERENCIAS:

- Bonnet P., 1971.- Un cas intéressant de nomenclature: le vrai nom et la véritable nationalité de Christophe Colomb. Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle de Toulouse, 107 : 357-392.
- Franco H., 2006.- Entre la figue et la pomme: l'iconographie romane du fruit défendu. Revue de l'Histoire des Religions. Volume 223 1/2006.
- Kislev M.E., Hartmann A. & Bar-yosef O., 2006.- Early Domesticated Fig in the Jordan Valley. Science, 312 (5778): 1273-1275.
- Machado C.A., Herre E.A., Mac cafferty S & Bermingham E., 1996.- Molecular phylogenies of fig pollinating and non-pollinating wasps and the implication on the origin and evolution of the fig-wasp mutualism. Journal of Biogeography, 23 :531-542.

**Excavaciones arqueológicas en la ciudad más antigua de la Tierra, Jericó, donde probablemente se inició la agricultura hace 11400 años. Al fondo, la fértil vega, aún en plena producción.**

Imagen cedida por el autor.

## Los Árboles del Edén: pequeña incursión en la Botánica mítica

En este texto aparece pues, de manera muy clara, la vinculación entre la higuera y la expulsión del Paraíso.

### LA HIGUERA

No quisiera terminar sin profundizar un poco en las peculiaridades de la higuera. Las higueras constituyen un grupo fascinante, estudiado desde la Antigüedad y con todo en parte desconocido. El género *Ficus*, que agrupa las higueras, es notable en primer lugar por su variedad, pues cuenta con más de 800 especies aceptadas. Y se trata de un número mínimo, porque la mayoría de las especies son propias de la selva tropical, y muchas aún no se han descrito; de hecho el número de especies propuestas se acerca a las 3000. Esto implica una compleja trayectoria evolutiva de diversificación que dista mucho de haberse desentrañado. Pero la evolución del género es aún más complicada si hubo de dar lugar a otras peculiaridades, como la morfología o la extraña reproducción de sus especies.

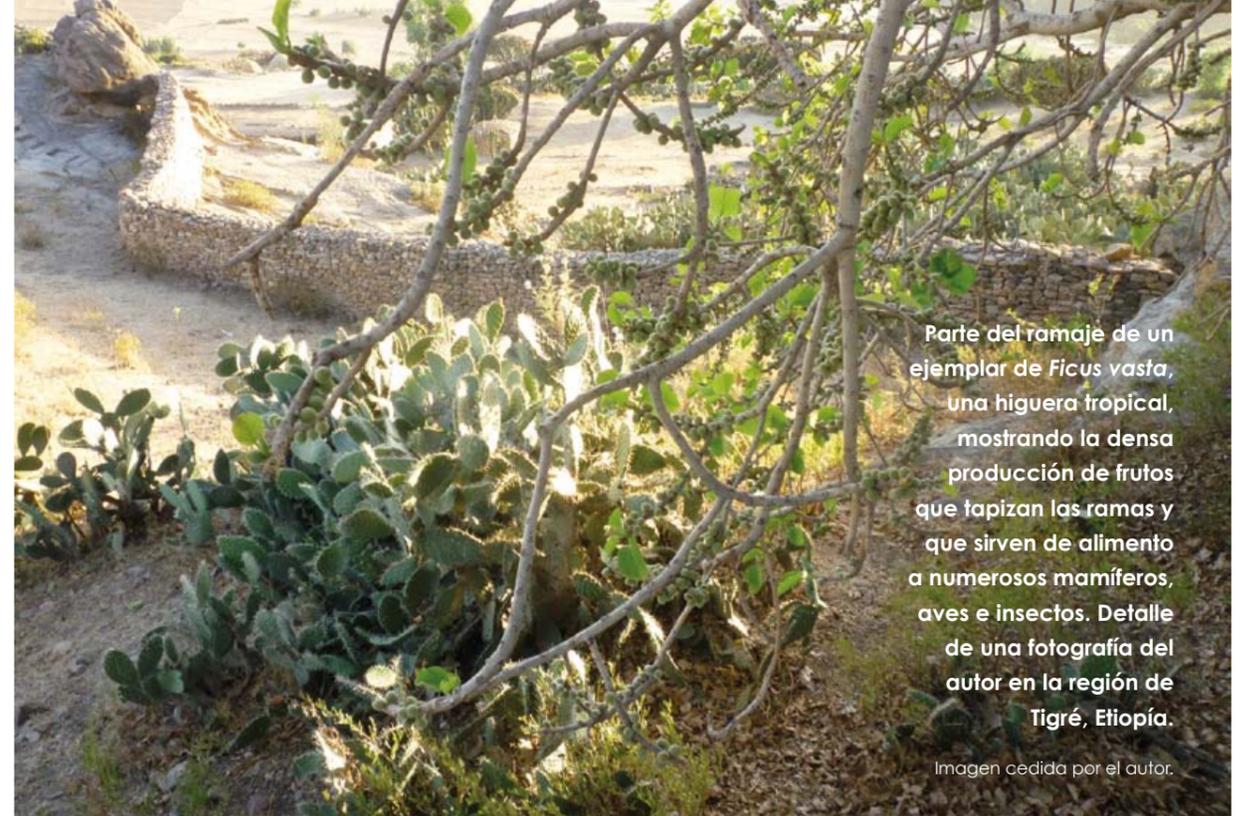
El género *Ficus* se incluye en la familia moráceas, que recibe su nombre de la morera, cuyas hojas alimentan al gusano de seda. Pero si comparamos este árbol con las higueras nos asombrará la gran diferencia que encontraremos en las respectivas morfologías: La morera tiene corteza agrietada, madera dura, vasos sin látex, flores visibles y frutos recubriendo exteriormente el pedúnculo hipertrofiado de las inflorescencias. Las higueras han adquirido una corteza generalmente lisa, madera blanda y flexible, vasos con látex y unas inflorescencias en las que el pedúnculo se hipertrofia también,

**“Lo que conocemos de la higuera es complicado y lo que desconocemos es mucho”.**

pero se torna cóncavo, en forma de copa; las flores tapizan su cara interna, que se cierra luego totalmente y las aísla del exterior, hasta el punto de que parecen carecer de flores (en realidad fueron consideradas inicialmente como plantas criptógamas, es decir, sin flores). Su forma de crecimiento es peculiar, pues muchas especies tienen raíces aéreas que se forman en las ramas y descienden al suelo, donde arraigan y se engruesan formando troncos suplementarios. Un solo árbol puede así adquirir multitud de troncos y extenderse formando un verdadero bosque. Y en la selva esos troncos adventicios suelen aplicarse a los de otros árboles, a los que envuelven como serpientes constrictoras y a los que acaban estrangulando.

Esta adaptación podría considerarse muy perjudicial para el ecosistema de selva, pero de hecho las higueras tropicales constituyen un grupo de especies claves de dicho ecosistema, y ayudan a mantenerlo. Su importancia ecológica, especialmente en el sostenimiento de poblaciones suficientes de aves y mamíferos forestales no tiene parangón. Ello se debe a la abundante y permanente producción de frutos comestibles, muy apreciados por los animales. Quien haya visto las ramas densamente tapizadas de frutos de algunas especies como *Ficus microcarpa* o *Ficus vasta* no necesitará más argumentos para convencerse del papel esencial de las higueras en el entramado de las redes alimentarias de la selva.

Estas peculiaridades palidecen, sin embargo, ante las complejas y sutiles interacciones ecológicas implicadas en la reproducción de las higueras, un proceso conocido desde hace milenios, pero que permanece oscuro en algunos detalles. Para empezar, la reproducción suele implicar la colaboración de un insecto, que es específico para cada una de las higueras. Este insecto es usualmente una avispa minúscula que



Parte del ramaje de un ejemplar de *Ficus vasta*, una higuera tropical, mostrando la densa producción de frutos que tapizan las ramas y que sirven de alimento a numerosos mamíferos, aves e insectos. Detalle de una fotografía del autor en la región de Tigré, Etiopía.

Imagen cedida por el autor.

media en la oculta polinización de las flores en el interior de los higos. Como además son varios los insectos que interfieren con cada especie de higuera, tenemos aquí uno de los más intrincados ejemplos de coevolución entre plantas y animales (MACHADO et al., 1996).

No es posible describir aquí esta interacción, que merece y ha obtenido ya tratados específicos para ella. Solo se ilustrará brevemente con el caso de la higuera común, *Ficus carica*, casi la única especie que resiste lejos de los trópicos y que, por lo tanto, se halla en nuestras tierras. Esta especie es ginodioica, es decir posee árboles hermafroditas, con flores masculinas y femeninas, y árboles unisexuales, que tienen nada más que flores femeninas. La determinación del sexo es muy diferente a la que se da en otras plantas, y desde luego en los humanos; pues la herencia es poligénica y además los cromosomas sexuales no se distinguen de los otros. La avispa polinizadora en este caso es un agaónido, *Blastophaga psenes*, cuyas hembras son poco mayores que este punto. Los machos son todavía menores y jamás ven la luz, no solo porque tienen los ojos atrofiados, sino porque nunca salen del interior de los higos. La polinización, cuando se da, consiste en el transporte

por parte de las avispas del polen de los cabrahigos, higueras silvestres hermafroditas, a las flores femeninas de las higueras hembras. Esto resulta en la formación de once posibles genotipos diferentes, cada uno de ellos correspondiente a una “población sexual” característica. Si a esto añadimos la posibilidad de la partenocarpia, o fructificación sin fecundación, y que esta puede presentarse de forma natural, por mutación de un gen, o de forma artificial por inducción forzada de la maduración, no solo por parte del hombre sino también por parte de insectos no polinizadores, tendremos una idea de la complejidad del proceso.

Lo que aquí se ha esbozado en una quincena de líneas requeriría para una comprensión mediana, al menos otras tantas páginas. Lo que conocemos de la higuera es complicado y lo que desconocemos es mucho. Pero ¿no es lógico esperar del supuesto Árbol de la Ciencia que proporcione, como poco, una buena colección de enigmas y desafíos científicos?

Juan Pablo Martínez Rica  
Academia de Ciencias de Zaragoza

# CRISTALES EN LOS ALIMENTOS

“Los fenómenos relacionados con la cristalización son esenciales para obtener el producto con las propiedades deseadas”.

**POR MIGUEL ÁNGEL CUEVAS-DIARTE,  
LAURA BAYÉS-GARCÍA  
Y TERESA CALVET**

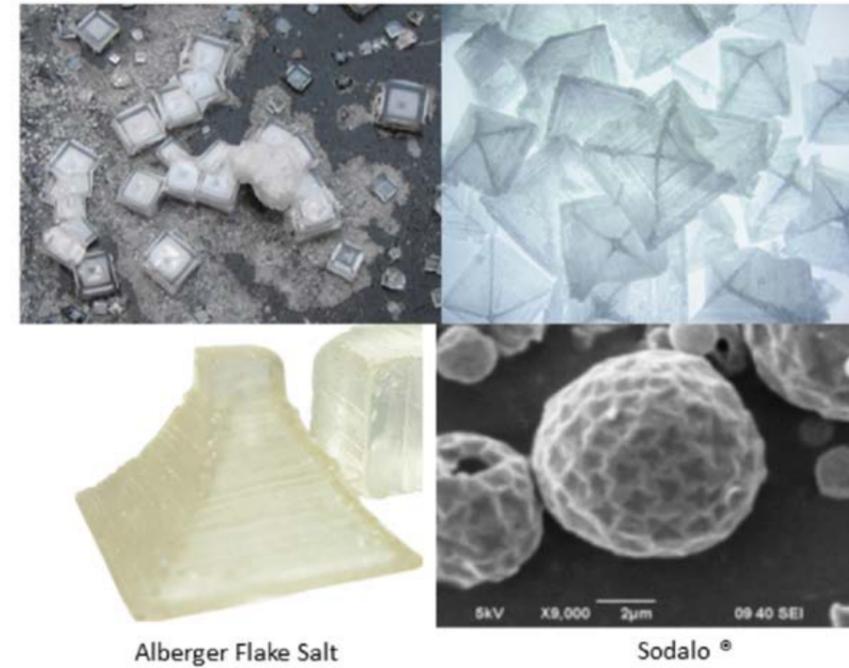
# Cristales en los alimentos

La Asamblea General de las Naciones Unidas, en su sesión de 15 de junio de 2012, declaró 2014 como Año Internacional de la Cristalografía. La Unión Internacional de Cristalografía y las sociedades que de ella dependen estableció un amplio y ambicioso programa de actividades que se desarrollaron por todo el mundo para divulgar la Cristalografía y sus aplicaciones.

En este contexto este artículo pretende acercar al lector a la Cristalografía de los alimentos, o como mínimo de algunos de ellos. No siempre somos conscientes de la importancia de los cristales en nuestra alimentación y del esfuerzo científico y tecnológico que hay detrás.

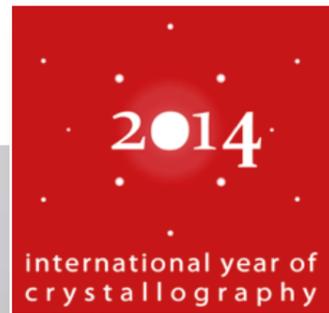
## LA SAL COMÚN

Cuando se trata de relacionar los cristales con los alimentos resulta inmediato pensar en la sal común y en el azúcar. A todos nos consta que son dos alimentos cristalizados. A simple vista diremos que en ambos casos se trata de una sustancia en polvo. Pero si miramos algunos granos con ayuda de una lupa, veremos que se trata de cristales, en el caso de la sal cubos más o menos perfectos. Si los observamos al microscopio los podremos ver con mucho más detalle y si realizamos una difracción de rayos X obtendremos un diagrama típico de una sustancia ordenada (cristalina) a partir del cual podremos determinar la posición de los átomos o iones en el espacio. La estructura cristalina del cloruro sódico fue confirmada por William Henry Bragg (1862-1942) y William Lawrence Bragg en 1913 en uno de los trabajos pioneros en la difracción de rayos X por los cristales<sup>1</sup>. Las distancias entre



## Diferentes morfologías de la sal común.

Imágenes cedidas por el autor.



Logo del Año Internacional de la Cristalografía.

sodios y cloros son del orden del Angstrom ( $\text{\AA}$ ). Recuerden, un metro son diez mil millones de Angstroms. Estamos hablando de una realidad inalcanzable al ojo humano.

¿Y qué importancia tiene todo esto en cuanto a la sal común como alimento? Pues mucha. Resulta que en los cristales la morfología o forma externa es un reflejo de la estructura interna y de su simetría. Por eso vemos a la lupa cubos, porque la estructura interna es cúbica, está formada por millones de cubos de sodio y cloro de algún Angstrom de arista. Estamos habituados a comernos estos diminutos cubos de sal aderezando las ensaladas, carnes o pescados y nos produce placer siempre y cuando no suframos algún problema médico que nos lo impida. La humanidad lo ha hecho desde tiempos muy remotos y la sal común ha sido en muchas ocasiones centro de un comercio muy prospero e incluso motivo de guerras por su posesión.

Pero desde hace un cierto tiempo los grandes cocineros nos hablan de otros tipos de sal que parecen incrementar las sensaciones organolépticas y en los supermercados encontramos una oferta variada de diferentes productos. Se trata siempre de sal común, pero en algunos casos con algunos componentes adicionales y en otros con una variación de la morfología externa de los cristales. La "flor de sal" por ejemplo, tiene una morfología en forma de láminas de cristales más grandes que los que forman la sal común. Cristaliza en la superficie del agua de mar de las salinas, formando una fina capa de diminutos cristales y se recoge manualmente utilizando unas pértigas provistas de una fina malla en su extremo. Se dice que su sabor es menos salado que el de la sal común, no se apelmaza, es suave al paladar y se utiliza siempre vertiéndola en la última fase del emplatado, justo antes de servirse, ya que suele disolverse fácilmente con los jugos de los alimentos.

Por otra parte, aunque a un precio más alto, se utiliza también la sal Maldon. Wikipedia explica que procede del estuario del río Blackwater, en el municipio de Maldon, en el condado de Essex (Inglaterra). Suele formar unos cristales suaves en forma de escamas (a veces se la denomina *escamas de sal* por esta razón) ideales para emplear en los asados de carne (al salir de la parrilla y justo antes de servir). Para su recolección es necesario que existan unas condiciones climatológicas especiales y su obtención es laboriosa. Durante las épocas de tiempo seco, la hierba y la tierra de las marismas que bordean el estuario del río Blackwater se cubren de una fina capa de sal marina. Las grandes mareas de primavera inundan las marismas arrastrando hacia el río aguas con un alto contenido salino, lo que convierte el río Blackwater al final de su recorrido en uno de los más salados de Inglaterra. Esa agua, que se bombea desde el centro del cauce del río, es el origen de la sal de Maldon. La salmuera extraída del río se

deja decantar primero en grandes contenedores metálicos, donde se procede a su filtrado. Luego es conducida hasta las llamadas "sartenes de evaporación", unos grandes recipientes cuadrados de poca altura donde se calienta la salmuera hasta el punto de ebullición. La cocción aumenta la salinidad mediante evaporación del agua, formándose poco a poco los cristales de sal en la superficie. Se mantiene el hervor durante 15 o 16 horas, hasta completa evaporación del agua.

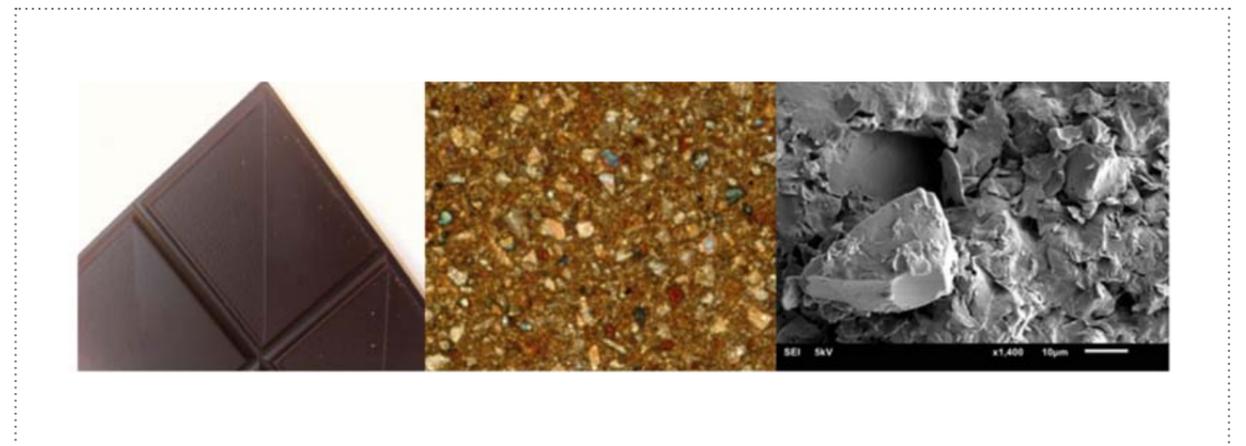
Otros tipos de sal son más exóticos y provienen de lugares lejanos como la sal mineral negra o Sanchal que se encuentra en la India. Se trata de una sal de color gris rosado. Su coloración se debe a la presencia de una pequeña proporción de minerales ferruginosos. No es excesivamente salada y posee un sabor sulfuroso particular.

En Internet podemos encontrar empresas que comercializan sal común con otros tipos de morfología: por ejemplo en pirámides o en esferas huecas<sup>2-3</sup>.

Hay que tener en cuenta que la sal común se utiliza en una variedad inmensa de alimentos: aperitivos, embutidos, frutos secos, bollería, bombones, etc. ¿A qué viene ese interés en la diversificación de la morfología de la sal? Pues parece ser que se trata de evitar el consumo excesivo de sal para prevenir problemas de salud. Ingerir partículas de sal con una mayor superficie puede aportarnos el gusto salado sin necesidad de consumir la cantidad que requeriría la utilización de la sal tradicional. Ya ven que la Cristalografía puede ayudar a mejorar nuestra salud no tan solo con los fármacos.

**“La Cristalografía puede ayudar a mejorar nuestra salud no tan solo con los fármacos”.**

en.wikipedia.org



### EL CHOCOLATE

La materia prima del chocolate es el cacao, cuyo nombre genérico es *Teobroma* que significa "alimento de los dioses". Muchos somos los adictos al chocolate. Sus propiedades beneficiosas varían según los autores pero, sin duda, el chocolate es objeto de interés desde muchos puntos de vista y mueve cantidades enormes de dinero alrededor del mundo.

Originario de América, donde era utilizado incluso como moneda de cambio, procede del fruto de un árbol imposible de cultivar en Europa, por lo que fue importado en forma de grano, originando un activo comercio de cacao que generó importantes beneficios. Hasta llegar a las formas que consumimos actualmente, inicialmente era una bebida amarga, reservada fundamentalmente a la aristocracia, que se obtenía por disolución del cacao en agua añadiéndole algunas especias.

El chocolate se trata, básicamente, de una mezcla de pasta de cacao (cacao en polvo y manteca de cacao), azúcar y otros aditivos, en función del chocolate que queramos obtener. Cuando el etiquetado de una tableta de chocolate nos indica que contiene un 70% de cacao, éste se refiere al porcentaje de pasta

**Chocolate visto macroscópicamente, al microscopio óptico y al microscopio electrónico.**

Imagen cedida por el autor.

de cacao (constituida por manteca de cacao y cacao en polvo) y manteca de cacao adicional. De este modo, un chocolate de estas características contendrá aproximadamente un 60% de pasta de cacao y un 10% de manteca de cacao adicional, que constituyen el 70% que se especifica en el envase. El 30% restante es azúcar. Así mismo, se entiende que un chocolate con leche contenga menos pasta de cacao y, por tanto, menos cacao en polvo. En cambio, en un chocolate blanco no encontraremos pasta de cacao y su composición aproximada será de un 30% de manteca de cacao, un 25% de leche en polvo y un 45% de azúcar.

La manteca de cacao es una suspensión de partículas sólidas estables (cristales) de grasa en aceite. La proporción de partículas sólidas proporciona una textura frágil por debajo de 20°C, y pasa a ser blanda cuando se aumenta la temperatura para ser totalmente fluida cuando funde completamente (45-50°C). Estos cristales son de triglicéridos, también de



**“Cuando la manteca de cacao se enfría, los triglicéridos que contiene pueden cristalizar de diferentes formas en función de la temperatura y de la velocidad de enfriamiento”.**

nominados triacilgliceroles, que son componentes mayoritarios, así mismo, de otros aceites y grasas alimentarias.

¿Dónde están los cristales en el chocolate? La escala de observación es importante. Como muestra la figura, una tableta de chocolate, a simple vista parece totalmente lisa, brillante y homogénea. Si hacemos un corte y la observamos al microscopio, nos aparecen diferentes componentes, una base que lo llena todo donde están insertados los cristales de azúcar y de triglicéridos que resaltan por sus colores cuando se observan entre nicóles cruzados. Para verlos mejor deberemos utilizar un microscopio electrónico en donde los cristales aparecen con todo su esplendor. Parece magia. Hemos hecho un viaje ampliando cada vez la escala de observación.

Las moléculas de los triglicéridos son bastante complejas. Consisten en una estructura de glicerol esterificado con tres ácidos grasos. La diversidad de ácidos grasos existentes y la posibilidad de que estos ocupen distintas posiciones en el grupo glicerol, da como consecuencia una gran variedad de triglicéridos. La nomenclatura que se utiliza para designar e identificar los triglicéridos se basa en la secuencia de ácidos grasos que los forman. Por ejemplo, el triglicérido POS es el que contiene ácido palmítico (P), ácido oleico (O) y ácido esteárico (S). Los triglicéridos presentes en la manteca de cacao son numerosos, pero mayoritariamente (entre el 85 y el 95%) se trata de tres que forman una mezcla eutéctica de POS, SOS y POP. Esta mezcla está formada por un 34% de ácido oleico, un 36% de ácido esteárico, y un 25% de ácido palmítico<sup>4</sup>. Esta proporción puede variar dependiendo, entre otros factores, de la variedad y origen geográfico del cacao.

Cuando la manteca de cacao se enfría, los triglicéridos que contiene pueden cristalizar de diferentes formas en función de la temperatura y de la velocidad de enfriamiento. Este es un fenómeno bien conocido en Cristalografía, denominado polimorfismo, según el cual una sustancia química, sin cambiar de composición, puede cristalizar en diferentes formas cristalinas por efecto de agentes como la presión o la

temperatura; cada una de ellas con propiedades más o menos diferentes, de gran importancia no tan solo en el cacao sino también en la industria farmacéutica por ejemplo.

El caso del chocolate es bastante complejo. De hecho, son seis las formas posibles de la manteca de cacao. Es importante seleccionar la forma polimórfica adecuada para obtener las propiedades físicas y texturales deseadas por el consumidor en el producto alimentario final. Como ejemplo, cabe destacar el caso de la margarina, en la cual se requiere una forma con un punto de fusión intermedio, que nos aporta la plasticidad que permite untarla fácilmente en una tostada.

Las diferentes formas polimórficas pueden ser distinguibles y caracterizadas utilizando técnicas adecuadas de análisis: fundamentalmente de análisis térmico, difracción de rayos X, y espectroscopia de infrarrojos o Raman en algunos casos. Seamos conscientes de que las diferencias se establecen a escala molecular.

Hay muchos factores que influyen en las propiedades físicas de las grasas: la composición en ácidos grasos, la estructura, la capacidad de mezclarse, la temperatura de fusión,



la solubilidad, velocidad de enfriamiento, fluctuación de la temperatura, aditivos, presión, etc. Por ejemplo, la cinética de cristalización afecta a las formas que cristalizan. Variando las velocidades de calentamiento y/o de enfriamiento, se puede observar que a velocidades rápidas de enfriamiento la tendencia es que cristalicen formas menos estables, mientras que velocidades lentas favorecen la presencia de formas más estables. A velocidades lentas de calentamiento se observan más transiciones entre formas polimórficas<sup>5</sup>.

Las formas que cristalicen jugaran un papel muy importante en las características del chocolate que fabriquemos: brillo, naturaleza crujiente y rotura, textura fina, fusión suave y refrescante en boca, vida útil adecuada, etc. De aquí la importancia de cristalizar correctamente el chocolate. Se trata de un tema fundamentalmente cristalográfico.

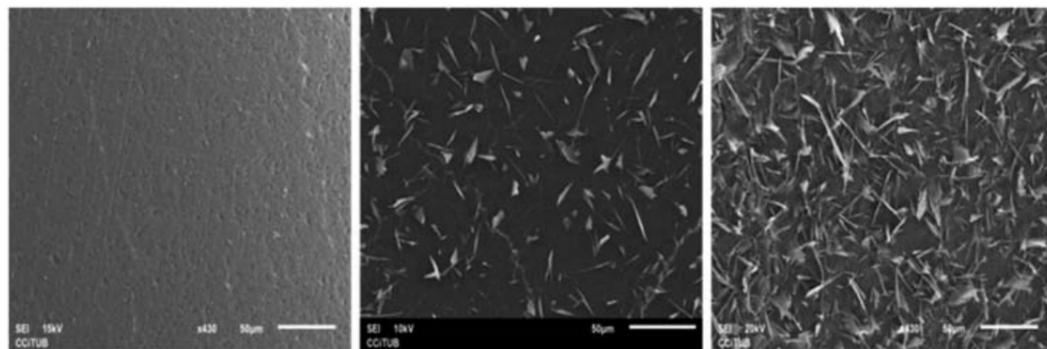
De forma general, para obtener un buen chocolate se pretende cristalizar la forma V. Este es el polimorfo con características más cercanas a los objetivos que se persiguen. Por ejemplo, es la que tiene una temperatura de fusión ligeramente inferior (32-33°C) a nuestra temperatura corporal (recordemos que es de 36-37°C). Los

chocolateros gastan mucho dinero para asegurar este objetivo, y los investigadores muchas horas. El proceso se denomina "temperado". Consiste en calentar el chocolate como mínimo hasta unos 45°C para que funda, enfriar hasta 27°C, temperatura a la que cristalizará la forma inestable IV, calentar hasta los 32°C para conseguir que los cristales de la forma IV se transformen en la forma estable V, y finalmente enfriar a 20 °C para que estos nuevos núcleos cristalinos induzcan la cristalización del líquido restante en forma V. Cada chocolatero introduce su saber hacer, pero básicamente este es el camino térmico a seguir.

Una vez obtenido un buen chocolate, los quebraderos de cabeza no se acaban. Su conservación y almacenamiento es crucial para conservar todas sus propiedades. Mantenerlo a temperaturas superiores a 19-20°C, o inducir variaciones bruscas y repetitivas de temperatura producidas, por ejemplo, al tener el chocolate en la nevera (aproximadamente 4°C) y

### Evolución del "fat bloom" con el tiempo.

Imagen cedida por el autor.



sacarlo para consumirlo a una temperatura alrededor de 20°C, pueden deteriorar el chocolate. Pensemos en una pieza de buen chocolate. Imaginemos cómo funde agradablemente en nuestra boca y nos produce una sensación refrescante. Esta sensación refrescante es un fenómeno propio de la fusión en sí misma, ya que para que un material funda necesita absorber energía o calor de su entorno (se trata de un fenómeno *endotérmico*). Si el chocolate nos "roba" calor de nuestra boca, la enfriará ligeramente y nos aportará esa sensación de frescor que nos agrada. La sensación es deliciosa. Ahora, pensemos en la misma imagen, pero en este caso el chocolate está recubierto de una pátina blanquecina en su superficie. Esta pátina se ha producido por una cristalización no deseada cuando el chocolate se ha guardado en las condiciones no adecuadas que comentábamos. La sensación es diferente. No funde tan rápidamente, y notamos una cierta aspereza en la lengua. Este chocolate es menos agradable al paladar, sin duda. No se trata de moho. Se trata del fenómeno conocido como "fat bloom", que representa uno de los problemas más importantes para los chocolateros. El chocolate puede consumirse sin ningún peligro, pero notaremos propiedades organolépticas diferentes que no lo hacen tan placentero. Lo que sucede es que, al conservar el chocolate a una temperatura ligeramente alta, se produce una proporción demasiado elevada de manteca de cacao líquida (aceite), de la que una parte sube por capilaridad entre los intersticios y canales creados por los cristales de azúcar, grasa y partículas

**"Este chocolate es menos agradable al paladar, sin duda. No se trata de moho. Se trata del fenómeno conocido como *fat bloom*".**

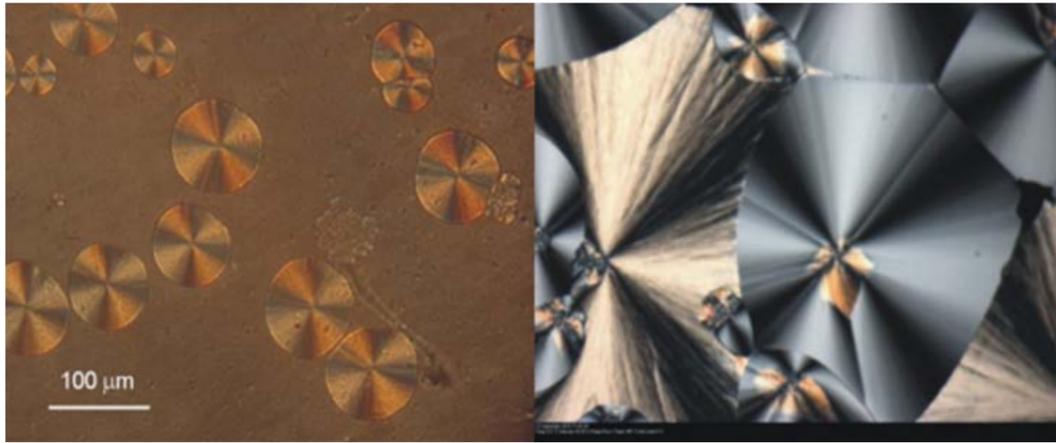
Chocolate con el efecto "fat bloom".

www.chocolatao.com

### REFERENCIAS:

1. Bragg W. L., *The structure of some crystals as indicated by their diffraction of X-rays*. Proc. R. Soc. Lond. A. 1913;89:248-277
2. Ver: <http://www.cargill.com>
3. Ver: <http://www.eminate.co.uk>
4. Smith K. W., K. Bhaggan and Talbot G., *Phase behavior of symmetrical monounsaturated triacylglycerols*. Eur. J. Lipid Sci. Technol. 2013, 115, 838-846
5. Bayés-García L., Calvet T., Cuevas-Diarte M. A., Ueno S., Sato K. *In situ observation of transformation pathways of polymorphic forms of 1,3-dipalmitoyl-2-oleoyl glycerol (POP) examined with synchrotron radiation X-ray diffraction and DSC*. CrystEngComm. 2013, 15, 302-314
6. Bayés-García L., *Sorprementment, mengem cristalls!*. Ciència i Xocolata, Edicions Universitat de Barcelona, Barcelona, 2013.





### Esferulitos de cristales de triglicéridos.

Imagen cedida por el autor.

de cacao existentes en la microestructura del chocolate y, al disminuir la temperatura, esta fracción líquida cristaliza en una forma polimórfica no adecuada<sup>6</sup>. Estamos, pues, comiendo cristales de una forma polimórfica diferente. Se han formado cristales de otro polimorfo tipo VI, que tiene una temperatura de fusión superior y una morfología diferente a los de la forma V. Las diferencias en los cristales no se observan a simple vista, hay que recurrir a imágenes de microscopía electrónica de barrido (SEM). Con el tiempo los cristales de la forma VI cada vez son más abundantes. Son como agujas. No es

**“En muchos otros alimentos, como la leche, el almidón, los helados, etc., la Cristalografía juega igualmente un papel importante”.**

de extrañar que nos rasquen en el paladar. El fenómeno es más complejo de lo que hemos explicado aquí, no está bien conocido y se sigue trabajando para aportar soluciones. Y no es este tan solo el único problema. Pero eso lo dejaremos para otra vez.

Los cristales de triglicéridos de la manteca de cacao, en determinadas condiciones, cristalizan en forma de esferulitos, en particular las formas polimórficas más estables. Se trata de un hábito cristalino que se puede observar en muchos materiales diferentes, naturales como algunos minerales y sintéticos como algunos polímeros, que se obtiene por cristalización a partir de un punto de múltiples agujas que se distribuyen radialmente. En el caso de la manteca de cacao estos esferulitos están formados por cristales de diferentes triglicéridos que se distribuyen de formas particulares según los casos.

En los mismos términos podríamos hablar de otros alimentos como el jamón, los aceites, la margarina, etc. donde el polimorfismo cristalino juega también un papel destacado. En cada uno de estos

alimentos los triglicéridos presentes son radicalmente o ligeramente diferentes y las formas polimórficas pueden variar.

Existen otros alimentos en los que el polimorfismo también es importante y que no están constituidos por grasas con triglicéridos. Por ejemplo, algunas personas echan azúcar al café; este azúcar es sacarosa. Pero también hay azúcares (sorbitol, manitol y otros) que se utilizan como sustitutivos de la sacarosa en pastelería, chicles, caramelos, etc., que también presentan polimorfismo. En muchos otros alimentos, como la leche, el almidón, los helados, etc., la Cristalografía juega igualmente un papel importante.

En definitiva, los fenómenos relacionados con la cristalización, la morfología, el tamaño de los cristales, sus formas polimórficas, su miscibilidad en estado sólido, y muchos otros, son esenciales para obtener el producto con las propiedades deseadas y nosotros debemos ser capaces de obtener los cristales adecuados y favorecer que estos sean estables en el tiempo.

Miguel Ángel Cuevas-Diarte,  
Laura Bayés-García y Teresa Calvet

Dpto. Cristalografía, Mineralogía  
y Depósitos Minerales  
Facultad de Geología  
Universidad de Barcelona

# Los TESOROS de la FACULTAD



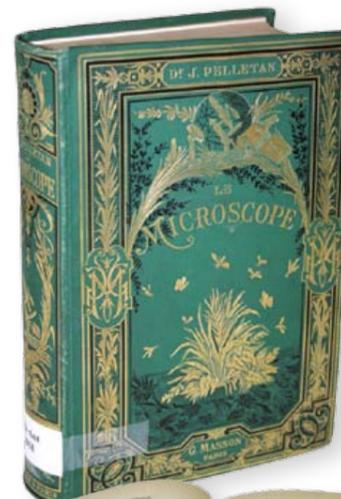
Fondos del antiguo Museo de Biología



INSTRUMENTA:  
colección de instrumentos de laboratorio



BOTÁNICA:  
Murales Antiguos



Fondos bibliográficos de la Facultad de Ciencias



Colección García de Galdeano



Fondos del Museo Paleontológico



# QUÍMICA FORENSE

POR GEMMA MONTALVO Y CARMEN GARCÍA-RUIZ

¿CIENCIA O FICCIÓN?

—printing— 1859 & 1860 — Selected originals; and Enlargements



“Es imposible que un criminal actúe, especialmente en la tensión de la acción criminal, sin dejar rastros de su presencia”.



## Química Forense ¿Ciencia o Ficción?

### LA QUÍMICA FORENSE COMO FICCIÓN

**P**ara abordar los aspectos ficticios de la Química Forense, empezaremos por analizar series televisivas tipo CSI o NCIS. En estas series televisivas, los protagonistas policiales, sirviéndose de herramientas científicas, resuelven casos criminales de una forma entretenida para el espectador. Tienen un gran éxito e incluso están despertando la vocación de policía científico en los jóvenes, que cada vez se interesan más por las ciencias forenses.

Pero, seguramente, muchos de los seguidores de estas series se pregunten ¿trabaja la policía como en estas series televisivas? La realidad es que este es un trabajo creativo y relevante pero, al contrario de lo que vemos en las se-

ries televisivas, donde los científicos resuelven los casos sin intervención del sistema judicial, la realidad es distinta.

Los científicos reciben unas pruebas tomadas en el escenario del delito y las analizan para finalmente redactar sus resultados en un informe, conocido como informe pericial, que es el que se interpreta por el sistema judicial para resolver el caso. Por lo tanto, el policía científico no resuelve el caso en estudio, pero contribuye, y a veces de una forma muy significativa, a su resolución por el sistema judicial. De hecho, en España ya hay alguna sentencia donde se exonera al presunto culpable de una agresión sexual identificado por la víctima porque el informe forense indicaba que el ADN detectado en la víctima no coincidía con el del acusado.

En cuanto a medios, vemos en las series televisivas unos laboratorios muy modernos, bien dotados de medios instrumentales y personales, ¿es esto así en nuestros laboratorios policiales? Aunque la gente puede creer que es normal disponer de laboratorios con los instrumentos más avanzados, eso no es fácil

**“En estas series televisivas, los protagonistas policiales, sirviéndose de herramientas científicas, resuelven casos criminales de una forma entretenida para el espectador”.**

alastairstephens.com

y depende de su infraestructura y la financiación asignada al laboratorio. De hecho, los laboratorios de la Comisaría General de Policía Científica<sup>1</sup>, ubicados en Madrid, son un referente nacional y se han inspirado en los mejores laboratorios europeos. Sin embargo, existe una realidad de escasez de personal, estando este sobrecargado de trabajo, y con pruebas por analizar que se suelen acumular.

Entonces, la Química Forense ¿es ciencia o ficción? La Química Forense es una de las ciencias que se aúnan en las "ciencias forenses". Es una de las subdisciplinas de las ciencias forenses que, junto a la Genética Forense (encargada de los análisis de ADN) y la Informática Forense (enfocada en delitos en el ciberespacio) más ha crecido en la última década. En la Química Forense, las ciencias químicas proporcionan pruebas para aplicar el Derecho en los Tribunales de Justicia. Hay que destacar que mientras que la Química como ciencia intenta entender las pruebas empleando el método científico, el Derecho persigue resolver conflictos empleando un sistema de adversarios en el que dos partes (acusación y defensa) presentan argumentos sobre un caso. Las pruebas químicas pueden apoyar o no los argumentos que finalmente llevan al sistema judicial a resolver el caso.

A estas alturas cabe preguntarnos a qué se debe el interés reciente por la Química Forense: ¿Es una disciplina nueva? ¿Se ha puesto de moda gracias a las series televisivas?

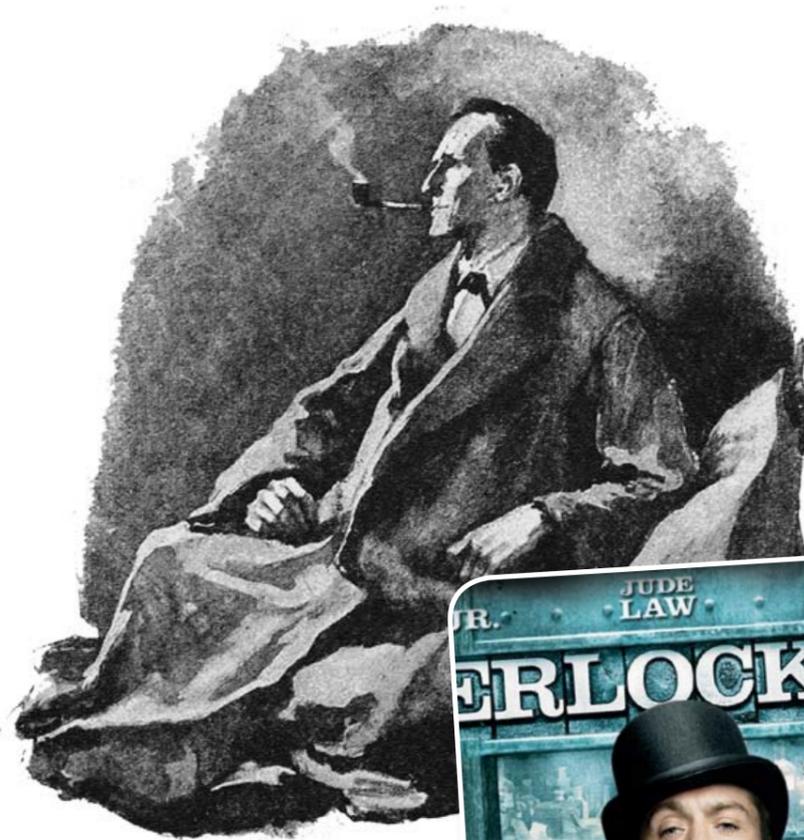
Para saber si es una disciplina nueva, debemos remontarnos a 1752 cuando se tiene constancia del primer caso donde se presentaban pruebas forenses detalladas a los tribunales para juzgar un caso de muerte por envenenamiento. Este es el famoso caso de la señorita Blandy, que en-



La señorita Blandy ejecutada por envenenar a su padre<sup>2</sup>.

www.britishmuseum.org

## Química Forense ¿Ciencia o Ficción?



Distintas visiones de Sherlock Holmes en la ficción literaria o cinematográfica desde su origen en 1887 hasta la actualidad<sup>3-4</sup>.

www.flubu.com (izda.)  
noticias.starmedia.com (dcha.)



venenó a su padre con arsénico porque no autorizaba la boda con su novio. En esos tiempos, aún no era posible analizar trazas de arsénico del cuerpo del fallecido porque no existían los avances científicos y tecnológicos de hoy en día. Sin embargo, el Dr. Anthony Addington probó, mediante observación de los residuos presentes en los alimentos consumidos por el padre y su comparación con el arsénico (método observacional), que el polvo añadido a la comida y bebida de su padre era arsénico. El juicio, que duró 13 h, finalmente acabó con una sentencia de muerte para la señorita Blandy<sup>2</sup>.

Es más, en la ficción hace más de un siglo que existen novelas o series sobre criminalística o ciencias forenses, donde el conocimiento cien-

tífico se emplea para descubrir delitos. A lo largo del tiempo ha destacado y perdurado el famoso Sherlock Holmes.

Sherlock Holmes (1887) ha sido la inspiración de otro detective de ficción, Hércules Poirot (1920), y se ha llevado al cine en forma de animación (1984) o en películas, la más reciente en 2009<sup>3-4</sup>. Sherlock Holmes es un detective ingenioso e intelectualmente inquieto que va acompaña-

do de su ayudante, el Dr. Watson. A pesar de su excentricidad, tiene un gran conocimiento científico, especialmente en química, que le ayuda a entender las pruebas y resolver los casos que le ocupan. La Química Forense, como el resto de ciencias forenses, aplica el conocimiento científico para aportar pruebas que permitan resolver delitos<sup>5</sup>.

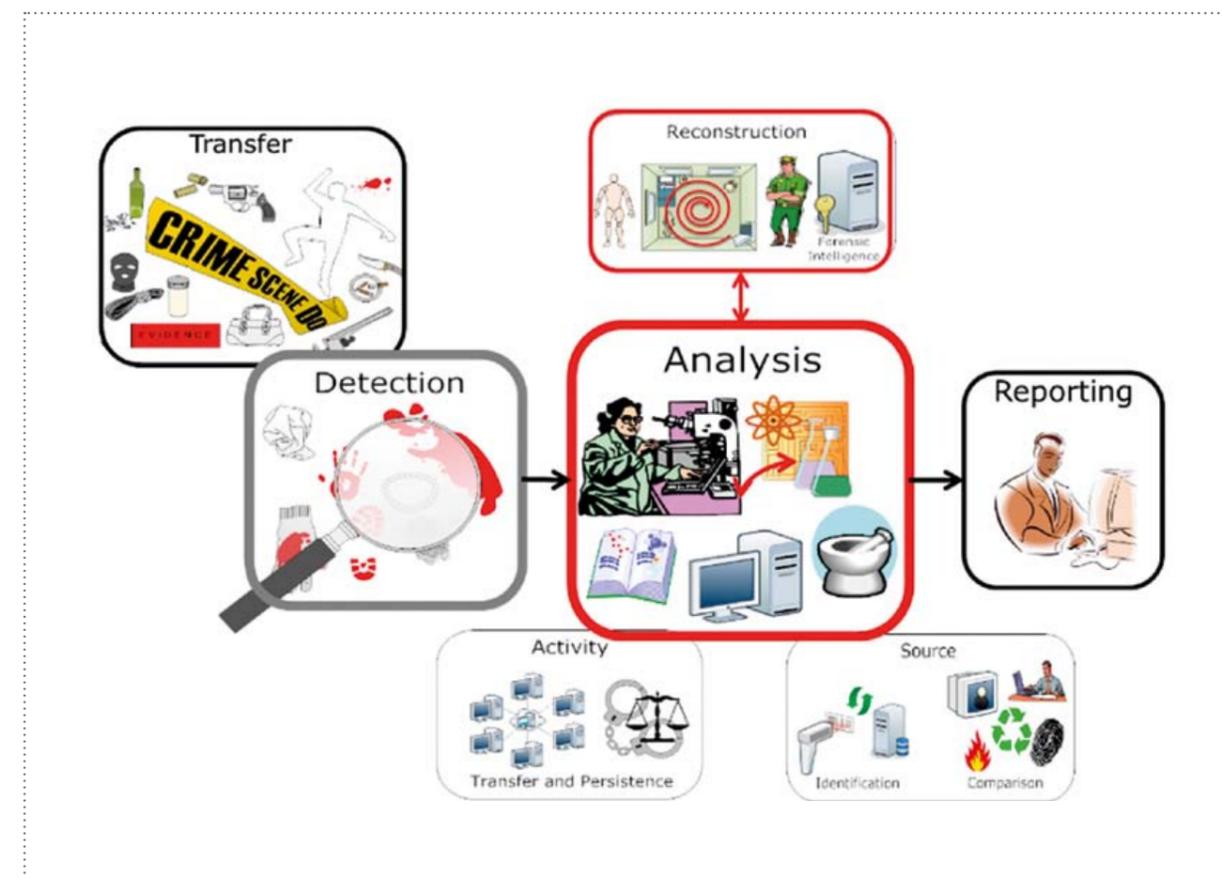
### LA QUÍMICA FORENSE COMO CIENCIA

La Química Forense se basa en el principio de intercambio de Locard definido por "Es imposible que un criminal actúe, especialmente en la tensión de la acción criminal, sin dejar rastros de su presencia", estableciendo las bases de que toda acción criminal deja un rastro<sup>6</sup>.

Partiendo de este intercambio o transferencia entre el delincuente y la escena del delito, el primer paso de todo proceso forense requiere la detección de trazas para encontrar y recuperar los vestigios (o también denominados indicios, muestras o evidencias) de las que se pueda obtener información circunstancial.

Proceso forense, inspirado en la charla de Pierre Margot impartida en el V Encuentro de Investigadores del IUICP.<sup>7</sup>

Imagen cedida por los autores.



## Química Forense ¿Ciencia o Ficción?

Una prueba circunstancial es aquella que no se conoce de forma directa y necesita que se realice una investigación para descubrirla. Un ejemplo sencillo es la presencia de un veneno en un alimento recogido en la escena de un delito. Posteriormente, el análisis de las muestras y su interpretación puede revelar información sobre la fuente y la actividad. La fuente se refiere a la identidad de lo que conduce al delito. En el ejemplo anterior, será el veneno empleado en el alimento sospechoso de envenenar a la víctima. La actividad se refiere al hecho del porqué la traza está donde está, es decir, si hay un veneno en un alimento que no lo contiene es porque alguien lo ha puesto ahí para llevar a cabo el delito perseguido. Finalmente, esa información de qué es y de por qué está donde está, se relaciona con una propuesta de escenario del delito.

Mientras que los análisis comparativos principalmente conducen a la identificación de las trazas recogidas del lugar de los hechos delictivos, el análisis de la transferencia de trazas puede revelar la actividad específica relacionada con un delito. El análisis de los vestigios en los

laboratorios químicos por personal cualificado pretende, en último lugar, contribuir a la reconstrucción de los hechos ocurridos en la escena de un delito.

Finalmente, el proceso forense no acaba con la investigación de las pruebas en los laboratorios, continúa hasta el usuario final de la información, los jueces, que son los encargados de resolver el delito<sup>7</sup>. De hecho, la transferencia de los resultados de la investigación forense representa una etapa crítica para el científico forense, que tiene que transferir al sistema judicial la información obtenida durante el estudio del caso de forma profesional y objetiva.

Aunque la Química Forense se ha definido por algunos autores como una Química Analítica aplicada<sup>8</sup>, presenta diferencias significativas con esta disciplina. El químico forense tiene que abordar problemas que son inusuales en Química Analítica. Por ejemplo, las investigaciones en Química Forense suelen tratar con muestras difíciles que pueden permitir obtener información sobre la fuente (identidad) o actividad (por qué la traza está donde está) y cómo los resultados pueden relacionarse con el escenario de un delito. Los análisis comparativos comprenden principalmente la identificación, mientras que los análisis de trazas transferidas pueden resaltar una actividad relacionada con

**“Una prueba circunstancial es aquella que no se conoce de forma directa y necesita que se realice una investigación para descubrirla”.**

el delito. Este aspecto es altamente distintivo de la Química Forense. La Química Analítica, aunque también es una disciplina multidisciplinar que desarrolla y aplica métodos, instrumentos y estrategias para obtener información sobre la composición y naturaleza de la materia en el espacio y el tiempo, con frecuencia trata muestras (escogidas para ser representativas del todo que se va a analizar) y relaciona resultados en términos de significancia estadística. Sin embargo, en la Química Forense, los resultados provienen de muestras de origen y calidad desconocida (las trazas dejadas por descuido en un delito) y la significancia solo puede probarse mediante razonamiento estadístico.

Otras características propias de la Química Forense destacables son:

- Emplea terminología propia en la que incorporan términos adoptados de las ciencias jurídicas como evidencia inclusiva o exclusiva, directa o circunstancial, cadena de custodia, caso civil o criminal o prueba no destructiva.
- Usa una aproximación científica de ingeniería inversa (*top-down*), es decir, desde el vestigio desconocido hasta las bases de una investigación fundamental, razón por la que es importante proporcionar pruebas presuntivas y de cribado además de herramientas robustas confirmatorias basadas en la identificación y cuantificación.

### ¿QUÉ HACE EL QUÍMICO FORENSE?

El químico forense obtiene información de los vestigios recogidos en la escena del delito (pruebas circunstanciales) y la transfiere al sistema judicial. Es más, en contadas ocasiones se responsabiliza de recoger los vestigios de la escena del delito, tarea que desempeñan los cuerpos policiales dedicados a inspección ocu-



lar, o conoce información detallada del caso. Y lo más importante, no resuelve directamente el caso policial, contribuye mediante su trabajo a proporcionar pruebas que contribuirán a la resolución del caso.

El químico forense, una vez que recibe la prueba a investigar, firmando la documentación para acreditar la cadena de custodia (conjunto de documentos que indica qué y quién ha tenido contacto con la prueba), comienza a analizarla. Suele comenzar realizando análisis no destructivos y, cuando es necesario, sigue con análisis destructivos que consumen parte o la totalidad de la muestra, con lo que existe la posibilidad de que no se puedan realizar análisis futuros de la misma muestra. Los ensayos no destructivos suelen realizarse mediante microscopía y/o espectroscopía y no suelen requerir tratamientos previos de la muestra. Por el contrario, los análisis destructivos suelen necesi-



## Química Forense ¿Ciencia o Ficción?

tar que la muestra se trate previamente a su análisis. Por ejemplo, para identificar la droga de un alijo, primero es necesario disolverla en un disolvente adecuado previo a su inyección en un sistema de cromatografía-espectrometría de masas.

Hoy en día, las áreas de trabajo en Química Forense de los laboratorios policiales se agrupan en tres: General, Toxicológica y Criminalística (ver figura anexa).

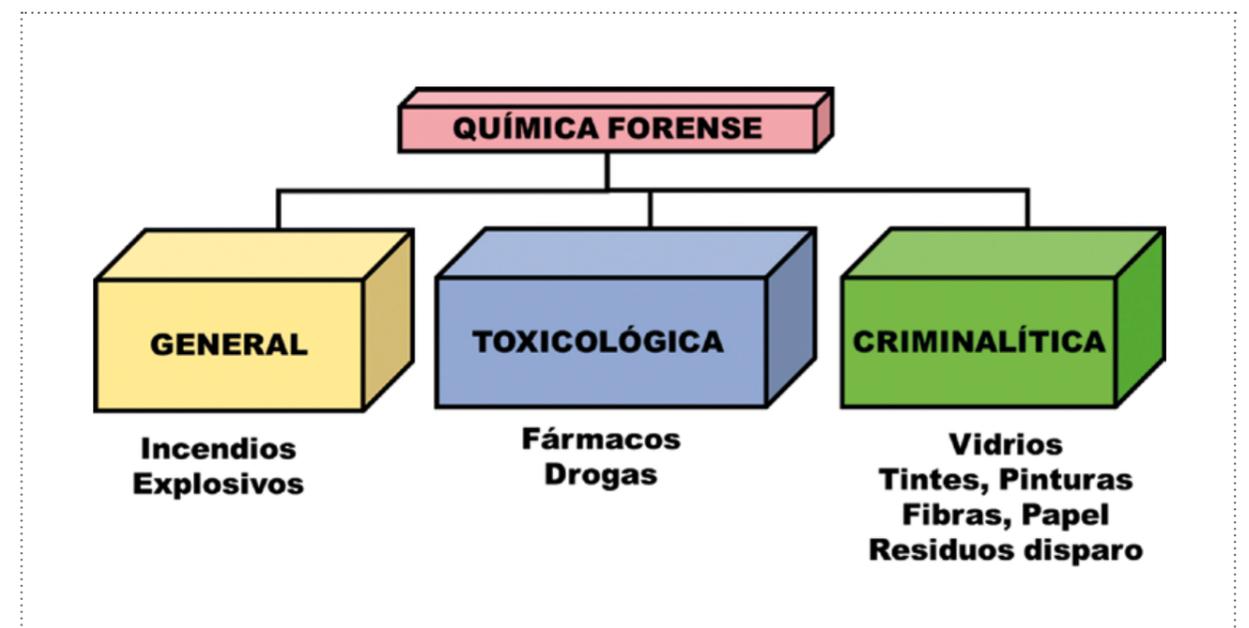
1. Química General, cuyo objetivo es el análisis de las distintas sustancias orgánicas e inorgánicas recogidas en el escenario del delito durante la inspección ocular, así como atender a cualquier otra petición de análisis proveniente tanto de la autoridad judicial como policial. Se enfoca a la investigación de explosivos e incendios principalmente.
2. Química Toxicológica, que estudia los tipos de tóxicos y su origen, así como sus consecuencias en el organismo vivo. Realiza el análisis de drogas en alijos y muestras biológicas (sangre, orina y saliva), entre otros.

3. Química Criminalística, que estudia, desde el punto de vista químico, aquellas materias que pueden ayudar a esclarecer los hechos en el momento del juicio oral. Incluye muestras muy variadas como tintas, papel, pinturas, fibras, residuos de disparo, etc.

### VISIÓN PROSPECTIVA DE LA QUÍMICA FORENSE

Es importante resaltar que, aunque pueda parecer que la mayor parte de las disciplinas forenses están muy avanzadas y emplean tecnología de última generación, aún sigue habiendo ciertas áreas de estudio en las que la Química Forense puede intervenir para dotarlas de herramientas de análisis adecuadas que les permita avanzar desde resultados meramente observacionales, basados en la experiencia del perito, a resultados obtenidos mediante herramientas científicas sujetas a una interpretación probabilística.

Posiblemente, esta realidad, junto con el hecho de su interés y relevancia social, hacen que la Química Forense esté desarrollando cono-



cimiento y herramientas tecnológicas específicas para dar respuesta a las necesidades y retos actuales. Como ejemplo, el desarrollo de nuevas herramientas de análisis no destructivas (que dejen inalterados los vestigios a estudiar) que, además, puedan trasladarse a la escena del delito con el fin de evitar el riesgo que conlleva de posible pérdida de información en el traslado al laboratorio.

Por otro lado, es importante remarcar que, aunque a nivel nacional la Química Forense en los laboratorios policiales se divide en tres áreas de trabajo (General, Toxicológica y Criminalística), una aproximación más práctica es la que actualmente se realiza en la red europea de institutos forenses (ENFSI)<sup>9</sup>. En ENFSI hay constituidos distintos grupos de trabajo enfocados en tratar distintas temáticas como animales, plantas y trazas en suelos; imagen digital; DNA humano; documentos; drogas; explosivos; huellas dactilares; armas y residuos de disparos; investigaciones de incendios y explosiones; tecnología de la información forense; análisis forense del habla y audio; escritura manuscrita; marcas; pinturas y vidrios; accidentes de tráfico; escena del crimen; fibras y pelos.

En este contexto, nuestro grupo de investigación INQUIFOR<sup>10</sup>, es un grupo de investigación universitario en Química Forense que trabaja en el marco del Instituto Universitario de Investigación en Ciencias Policiales (IUICP)<sup>11</sup>. En INQUIFOR apostamos por una química forense interdisciplinar que fomente una in-

Áreas de trabajo en  
Química Forense.

Imagen cedida por los autores.

**“El químico forense obtiene información de los vestigios recogidos en la escena del delito y la transfiere al sistema judicial”.**





investigación científica que contribuya a resolver algunos de los retos y problemáticas actuales de los distintos grupos de trabajo forense.

Para ello, el grupo reúne, por una parte, la capacidad formativa e investigadora de los miembros de la Universidad de Alcalá y, por otra, los medios científico-técnicos, instrucciones técnicas de trabajo y capacidad científica de los miembros de las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado Español (Servicio de Criminalística de la Guardia Civil y Policía Científica del Cuerpo General de Policía, ambas instituciones del Ministerio del Interior), así como una excelente colaboración con el Instituto Nacional de Toxicología y Ciencias Forenses o la Fiscalía General del Estado como instituciones de justicia.

El intercambio de información, opiniones y medios ha hecho posible que, en muy poco tiempo, se hayan abordado problemáticas actuales relacionadas con artefactos explosivos e incendiarios improvisados, residuos de disparo, drogas en bebidas y fluidos orales, o tintas en documentos de interés judicial. Así, algunas de las líneas de investigación actuales de INQUIFOR son:

- La identificación, por espectroscopia Raman, de explosivos improvisados, antes y después de explosionar.
- El diseño de una base de datos científica sobre explosivos que proporcione información científica a expertos forenses.
- El desarrollo de estudios de trazabilidad entre los residuos de disparo y el arma empleada para aportar nueva información científica a los informes periciales.
- El estudio de artefactos incendiarios improvisados (cócteles Molotov con iniciación química) y fuegos artificiales para aportar nueva información científica que permita apoyar los informes periciales.
- El desarrollo de estudios preliminares para la identificación de fluidos biológicos en mezclas complejas mediante herramientas espectrales.
- El estudio del potencial de electroforesis capilar en formato portátil o comercial con capilares inteligentes microestructurados para resolver problemáticas forenses.
- El estudio espectroscópico de tintas en documentos de interés judicial.

- El desarrollo de estrategias espectroscópicas innovadoras para la determinación de drogas en bebidas o fluidos orales.

Las propuestas de investigación futuras de INQUIFOR se centran en el desarrollo de nuevas herramientas científicas que ayuden a obtener pruebas fiables en delitos de drogas, económicos o relacionados con la corrupción. En el tema de drogas, coordinamos una propuesta para llegar a criterios objetivos que permitan confirmar legalmente que un individuo conduce bajo la influencia de drogas.

Adicionalmente, se está trabajando en una propuesta para el desarrollo de una herramienta de reconocimiento automático de texto manuscrito para la identificación del autor en documentos relacionados con delitos económicos o corrupción. Para ello, se está estableciendo contactos con distintas instituciones de reconocido prestigio en varios campos forenses y no forenses para avanzar en los conocimientos específicos requeridos.

Nuestro objetivo final es dar respuesta a problemas científicos reales y actuales en el campo forense. Además, procuramos que nuestros trabajos sean útiles para apoyar la elaboración de informes periciales con destino al sistema judicial, encargado de resolver los casos reales en estudio.

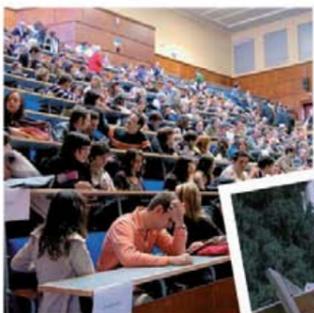
Gemma Montalvo y Carmen García-Ruiz  
Dpto. de Química Analítica,  
Química Física e Ingeniería Química  
Facultad de Biología,  
Ciencias Ambientales y Química  
Instituto Universitario de Investigación  
en Ciencias Policiales  
Universidad de Alcalá

### REFERENCIAS

1. Comisaría General de Policía Científica. Servicio General de Análisis Científicos. [www.policia.es/org\\_central/cientifica/servicios/ac\\_serv\\_central\\_analis.html](http://www.policia.es/org_central/cientifica/servicios/ac_serv_central_analis.html) (Consultada el 21 de julio de 2014).
2. Mary Blandy. [murderpedia.org/female.B/b/blandy-mary.htm](http://murderpedia.org/female.B/b/blandy-mary.htm) (Consultada el 21 de julio de 2014).
3. Sherlock Holmes Quotes. [www.sherlockholmesquotes.com](http://www.sherlockholmesquotes.com) (Consultada el 21 de julio de 2014).
4. Wikipedia. [en.wikipedia.org/wiki/Sherlock\\_Holmes\\_\(2009\\_film\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Sherlock_Holmes_(2009_film)) (Consultada el 21 de julio de 2014).
5. Chalmers, J. M.; Edwards, H. G. M.; Hargreaves, M. D. Infrared and Raman Spectroscopy in Forensic Science; John Wiley & Sons: West Sussex, England, 2012.
6. Locard's Exchange Principle [www.forensichandbook.com/locards-exchange-principle/](http://www.forensichandbook.com/locards-exchange-principle/) (consultada el 21 de julio de 2014).
7. V Encuentro Investigadores del IUICP (15,16 y 17 de noviembre de 2011) [www3.uah.es/iuicp/files/ckFiles/files/trip-v-encuentro-iuicp-definitivo.pdf](http://www3.uah.es/iuicp/files/ckFiles/files/trip-v-encuentro-iuicp-definitivo.pdf). (Consultada el 21 de julio de 2014).
8. Bell, S. Forensic Chemistry; Pearson Prentice Hall, New Jersey, 2006.
9. European Network of Forensic Science Institutes [www.enfsi.eu](http://www.enfsi.eu) (Consultada el 21 de julio de 2014).
10. Grupo de Investigación en QUÍmica FORense. [www.inquifor.com](http://www.inquifor.com) (Consultada el 21 de julio de 2014).
11. Instituto Universitario de Investigación en Ciencias Policiales. [www.uah.es/IUICP](http://www.uah.es/IUICP) (Consultada el 21 de julio de 2014).

*Construyendo...*

*...el Espacio Europeo  
de Educación Superior*



**Grado en Biotecnología**  
**Grado en Física**  
**Grado en Geología**  
**Grado en Matemáticas**  
**Grado en Óptica y Optometría**  
**Grado en Química**

**GRADOS**



**Máster en Biología Molecular y Celular**  
**Máster en Física y Tecnologías Físicas**  
**Máster en Geología: Técnicas y Aplicaciones**  
**Máster en Modelización e Investigación Matemática,  
Estadística y Computación**  
**Máster en Investigación Química**  
**Máster en Química Industrial**  
**Máster en Química Molecular y Catálisis Homogénea**  
**Máster en Nanotecnología Medioambiental  
(ENVIRONNANO)**  
**Máster en Materiales Nanoestructurados para  
Aplicaciones Nanotecnológicas (NANOMAT)**  
**Máster Erasmus Mundus en Ingeniería de Membranas**

**MÁSTERES**



*¡Matricúlate!*

[ciencias.unizar.es/web](http://ciencias.unizar.es/web)

