



con CIENCIAS.digital

Revista de divulgación científica de la Facultad de Ciencias de Zaragoza

<http://ciencias.unizar.es/web/conCIENCIASnumero14.do>

Nº 14 NOVIEMBRE 2014



**OBJETIVO:
SABER**

Redacción

DIRECCIÓN:

- Ana Isabel Elduque Palomo

SUBDIRECCIÓN:

- Concepción Aldea Chagoyen

DISEÑO GRÁFICO Y MAQUETACIÓN:

- Víctor Sola Martínez

COMISIÓN DE PUBLICACIÓN:

- Luis Alberto Anel Bernal
- Enrique Manuel Artal Bartolo
- 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

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: fotografía participante del Premio San Alberto Magno, edición 2013
(Juan Miguel Ángel Mandado Collado - *Vénulas*).

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

Editorial	2
El día que el universo creció enormemente Vicent J. Martínez	4
Baade y Zwicky, la extraña pareja Miguel Pérez Torres	14
Leiden: más lecciones de Ciencia y Universidad Fernando Bartolomé	22
La Colección de Minerales de la Facultad de Ciencias de Zaragoza Miguel Calvo	42
El último ser vivo Miguel Ángel Sabadell	56
35 años del Seminario Rubio de Francia Manuel Alfaro	66
¿Es 4+1 igual a 3+2? Ana Isabel Elduque	82
IAESTE: un puente hacia el mundo laboral Eduardo Rísquez y Ricardo Garzo	94
¿Estás preparado para trabajar en el extranjero? Gustavo Gracia y Marisa Sarsa	102
Noticias y actividades	112



Objetivo: Saber

Querido lector, nos encontramos una vez más. El texto es el punto de encuentro entre lectores y escritores, o editores en este caso. Afortunadamente, podemos volver a reunirnos una vez más, a pesar de la crisis, a pesar de que las publicaciones conforme maduran y disminuye su frescura pierden algo de interés. Pero parece que lo vamos superando y, permíteme la afirmación, creo saber por qué. Porque nuestros escritores no cejan en el empeño de seguir divulgando. Cada vez recibimos más colaboraciones y de mayor variedad. Es alentador que esto sea así. Nuestra labor, de escritores y editores, se cumple con cada nuevo número. Esperamos que el atractivo para el lector no decaiga y se cumpla el objetivo para el que nació conCIENCIAS: divulgar y entretener.

Y este número, como no puede ser de otra forma, también hace gala de este sentido ecléctico que nos ha caracterizado desde el inicio. Hay un poco de muchas cosas, pero todas ellas muy interesantes.

La Astronomía nos llega desde una doble vertiente pero con algo muy en común en los artículos publicados: la vertiente humana del trabajo.

También podemos continuar aprendiendo más acerca de la importancia de la dedicación continuada y a largo plazo para lograr metas complejas, y la segunda parte de la historia de Leyden es un magnífico ejemplo.

En este número pueden verse dos formas diversas, pero en el fondo complementarias, de co-

menzar a aceptar la insignificancia del tiempo de una vida humana dentro del enorme reloj del Universo. La Geología siempre nos ha enseñado que su tiempo es otro, pero también podemos hacer un ejercicio hacia el futuro, describiendo fenómenos que ninguno podremos contemplar. Pero la Ciencia sí es capaz de prever.

También es objeto de interés de nuestros colaboradores, y espero que también de nuestros lectores, la figura de nuestros maestros e investigadores. José Luis Rubio de Francia lo fue y merece su propio espacio.

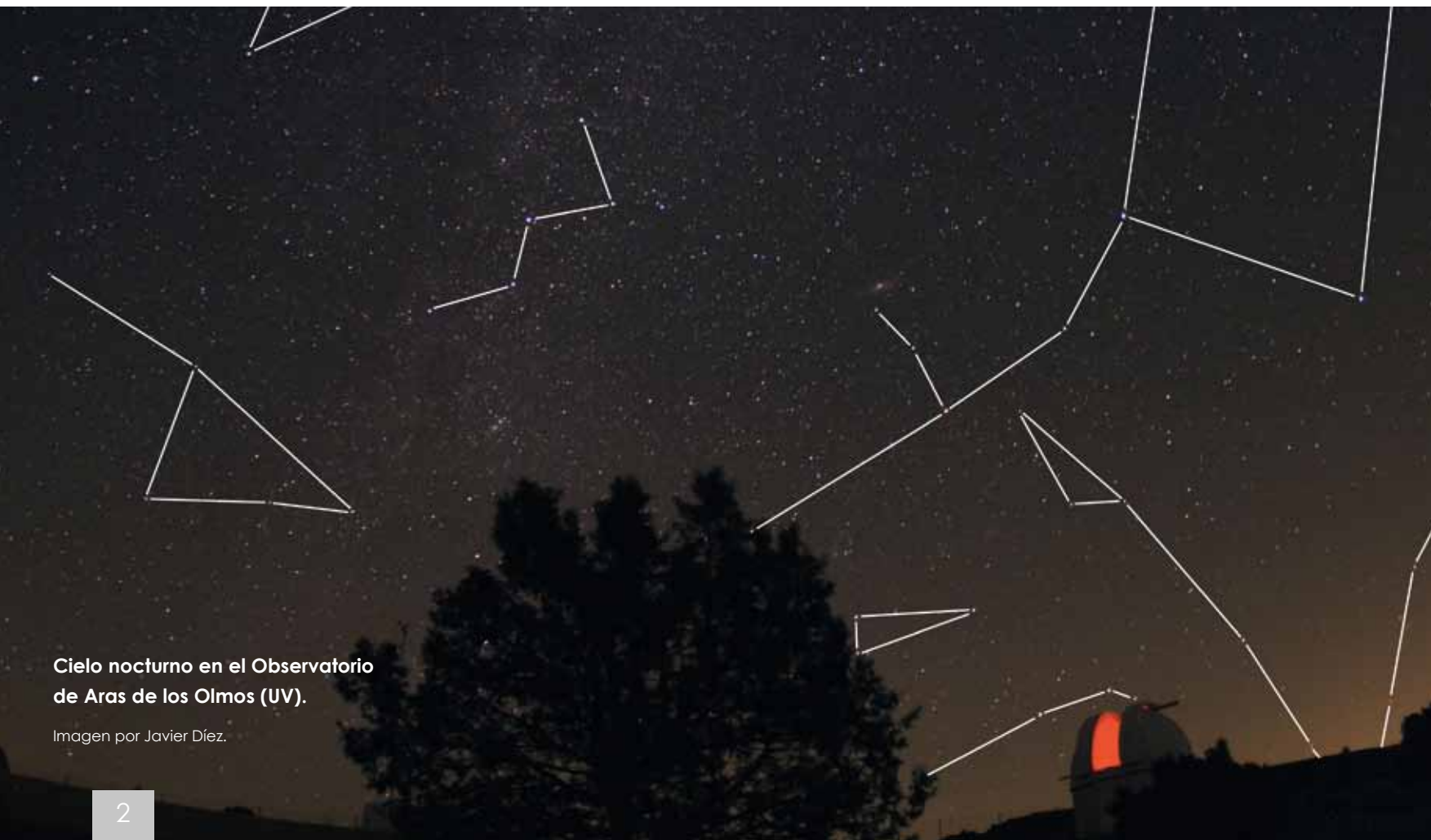
Finalmente hemos querido dedicar algunas líneas a algo que no suele ser frecuente, pero sí muy necesario. Pensar qué y cómo formamos a nuestros alumnos, qué les mostramos para que puedan elegir, cómo nos integramos en un entorno cada vez mayor y qué hacemos para que esta expresión de que vivimos en una aldea global sea accesible a nuestros alumnos. Todos tenemos nuestras propias ideas y experiencias. Lo importante es contrastarlas, cotejarlas y ponerlas en común. Alumnos, exalumnos y profesores tenemos nuestras opiniones. Y los alumnos las necesitan para sacar sus propias conclusiones. Este es el objetivo.

Como ves lector, el número es variado. Nuestra revista nació así, y así quiere continuar. Materia prima no nos falta. Voluntad tampoco. Recursos no sobran, pero los vamos encontrando. Pero lo que sí es necesario para todos y cada uno de sus números es un público interesado. Y ese, querido lector, eres tú. Que disfrutes de este nuevo número.

Ana Isabel Elduque Palomo
Directora de conCIENCIAS



“Esperamos que el atractivo para el lector no decaiga y se cumpla el objetivo para el que nació conCIENCIAS: divulgar y entretener.”



Cielo nocturno en el Observatorio de Aras de los Olmos (UV).

Imagen por Javier Díez.

EL DÍA QUE EL UNIVERSO CRECIÓ ENORMEMENTE

“Los cielos habían hablado. La llave la aportó Miss Leavitt, Hubble solo tuvo que ponerla en la cerradura y girar, y al hacerlo, el Universo se abrió y creció enormemente”.

POR VICENT J. MARTÍNEZ

Galaxia de Andrómeda.

www.wikipedia.org (NASA/JPL-Caltech)

El día que el universo creció enormemente

La noche del 26 de abril de 1920, Harlow Shapley caminaba solo, con las manos en los bolsillos, por la avenida de la Constitución de Washington D.C. Regresaba al hotel donde se había instalado dos días antes procedente de California. Estaba relajado, después de haber pasado los últimos días en tensión. Por primera vez se encontraba satisfecho consigo mismo. Tenía la sensación de haber derrotado al viejo Curtis en el debate que esa misma tarde había tenido lugar en la sede de la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos. Había cumplido con su plan: no arriesgar y evitar las controversias. A fin de

cuentas, él defendía la postura conservadora que tan contundentemente había reflejado la historiadora de la ciencia británica Miss Agnes Mary Clerke en su libro *The System of Stars* reeditado unos años antes:

La cuestión de si las nebulosas son o no galaxias externas no necesita más discusión. Ha encontrado respuesta con el progreso de los descubrimientos. Ante el conjunto de las evidencias, ningún pensador competente podría mantener que las nebulosas son sistemas de estrellas de rango comparable a la Galaxia. Podemos afirmarlo con seguridad. Hemos llegado a la certeza práctica de que todos los contenidos de la esfera celeste, estelares o nebulosos, pertenecen a una única y vasta congregación.

Shapley se había planteado el debate con el objetivo principal de impresionar a los directivos de la Universidad de Harvard que se encontraban en Washington. Habían acudido al Gran Debate con la intención de escuchar al joven candidato que optaba a la dirección del Observatorio universitario (el Harvard College Observatory). El anterior director, Edward Pickering, que ocupó el cargo durante más de cuarenta años, había muerto hacía algo más de un año. La dirección en ese momento estaba ocupada de manera interina por el astrónomo más senior, de 67 años, Solon I. Bayley,

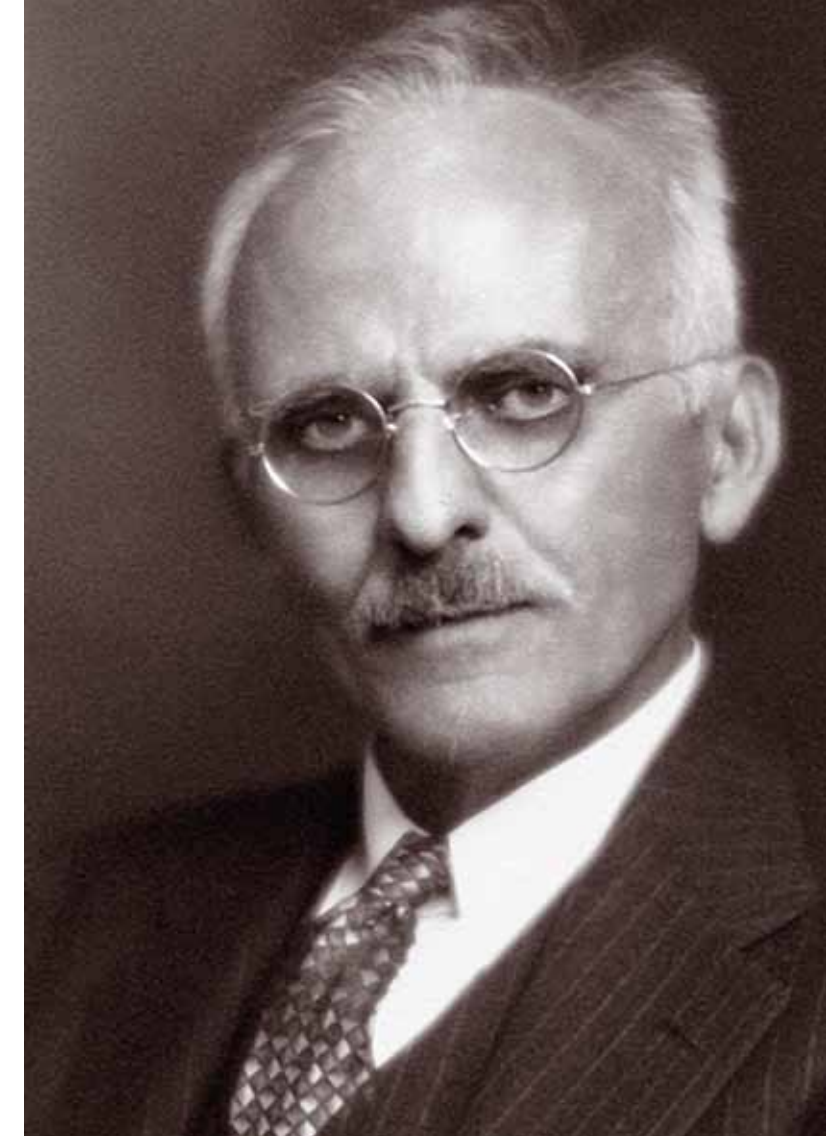
.....
Los protagonistas del Gran Debate de Washington: Harlow Shapley (izquierda) y Heber Curtis (derecha).

incubator.rockefeller.edu (izquierda)
www.lib.umich.edu (derecha)

pero los responsables universitarios tenían claro que el centro debía estar dirigido por algún joven y prometedor astrónomo que hubiese llevado a cabo aportaciones importantes en el campo de la Astrofísica. Harlow Shapley, con sus 35 años, era un buen candidato.

Siempre había dicho que su vocación por la astronomía había sido casual. Inicialmente, y ya con 22 años, intentó matricularse en Periodismo en la Universidad de Missouri -de más joven trabajó como reportero de un periódico local cubriendo las noticias de crímenes-. Al llegar a la secretaría de la Universidad, se encontró con que la Facultad de Periodismo no iniciaría su actividad hasta el curso siguiente. A su edad no era cuestión de perder un año más. Harlow miró el panel de los cursos que sí que se ofrecían ese año académico. Aparecían listados por orden alfabético. Rechazó Arqueología, porque pensó que no podría jamás pronunciar correctamente el nombre de esa disciplina. Eligió el siguiente de la lista: Astronomía. Cuando se graduó, consiguió una beca en la prestigiosa Universidad de Princeton para hacer el doctorado bajo la supervisión de Henry Norris Russell. Harlow trabajó duro, y sus investigaciones que explicaban la razón de las variaciones de brillo de las estrellas variables cefeidas por pulsaciones internas habían tenido una gran repercusión en la comunidad científica. Además Shapley había contribuido de manera notable a continuar con el programa copernicano, ya que, hasta ese momento, la mayoría de los astrónomos pensaban que el Sol ocupaba un lugar central en nuestra galaxia, la Vía Láctea. Shapley se había dado cuenta de que el Sol y el Sistema Solar estaban más bien en los suburbios, bastante alejados del centro galáctico.

La noche del debate, mientras regresaba al hotel, se fijó en el curioso triángulo que dibujaban en el cielo la Luna, Saturno y Júpiter: sonrió y se alegró de ser astrónomo. Se fue a dormir con el convencimiento de que la dirección del Harvard College Observatory era suya. No se equivocaba. A final del año tomaría posesión del cargo que ocuparía durante más de treinta años.



“Shapley Estaba relajado. Tenía la sensación de haber derrotado al viejo Curtis en el debate que esa misma tarde había tenido lugar en la sede de la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos”.



El día que el universo creció enormemente



Henrietta Leavitt en su mesa de trabajo del Harvard College Observatory.

Harvard College Observatory

Cuando llegó a Harvard conoció a las astrónomas que su predecesor, Pickering, había ido contratando en las últimas tres décadas para llevar a cabo cálculos rutinarios. Trabajaban bajo su directa supervisión sobre placas fotográficas y espectros estelares. Eran mujeres con una formación excelente que, por los condicionamientos sociales, tenían vetada la progresión académica y científica que cualquier hombre hubiera conseguido. Debían conformarse con ese trabajo, obviamente mal pagado y peor reconocido. Hay quien llamaba al grupo el “harén de Pickering”. Cada una de estas astrónomas tenía una historia personal en la que se mezclaban anhelos y frustraciones.

Harlow estaba profundamente agradecido a una de ellas, Miss Henrietta Swan Leavitt, ya que el trabajo original que había llevado a cabo esta “calculadora” de Harvard era la base de

“Henrietta tenía la gran virtud de saber apreciar todo lo que era digno y amable en los otros”.

Solon Bailey

la medición de las distancias a las estrellas que le llevaron a diseñar un extraordinario mapa de nuestra galaxia, desplazando al Sol de su centro y colocándolo en el exterior. A su llegada a Harvard, Harlow Shapley quiso recompensar a Miss Leavitt nombrándola jefa de la sección de fotometría del Observatorio. Desgraciadamente Henrietta murió de cáncer a los pocos meses de su nombramiento. Tenía 52 años. Su muerte prematura fue una tragedia para muchos de sus colegas, no solo por el reconocimiento que tenían sus descubrimientos científicos, sino por su extraordinario carácter y valor humano. So-

lon Bailey, su anterior director, escribió en su obituario: “Henrietta tenía la gran virtud de saber apreciar todo lo que era digno y amable en los otros”.

Igual que otras de sus colegas femeninas, Henrietta Leavitt llevó a cabo una contribución personal a la Astronomía muy importante. En su caso, fue decisiva para el conocimiento de las escalas en el universo. Afortunadamente, Pickering, en la circular que publicó y firmó el 3 de marzo de 1912 en el boletín del Harvard College Observatory, dejaba clara la autoría de este importante trabajo científico ya en la primera frase: “La siguiente declaración sobre los periodos de 25 estrellas variables en la Pequeña Nube de Magallanes ha sido preparada

por Miss Leavitt”. Lo que venía a continuación era el resultado de un estudio pormenorizado de estrellas de brillo variable en esta pequeña galaxia satélite de la Vía Láctea.

La luz que emiten las estrellas variables no es constante, de ahí su nombre. El joven astrónomo inglés John Goodricke fue el primero en observar en 1784 que el brillo aparente de algunas estrellas variaba periódicamente: au-

.....
Las calculadoras de Harvard (entre las que se encuentra Henrietta Leavitt). Mr. Pickering está de pie, al fondo a la izquierda.

Harvard College Observatory



El día que el universo creció enormemente

mentaba para alcanzar un máximo y posteriormente disminuía más lentamente hasta llegar a un mínimo para volver a repetir una y otra vez ese patrón de comportamiento. John fue nombrado miembro de la Royal Society por este descubrimiento a los veintidós años. Desgraciadamente, murió solo catorce días después de su nombramiento a causa de una neumonía consecuencia de las largas y frías noches de observación soportando las inclemencias de la meteorología británica.

Henrietta Leavitt era realmente una experta a la hora de medir las variaciones de brillo de estas estrellas sobre las placas fotográficas que se habían obtenido en la estación de observación astronómica que Harvard tenía en Perú. Una tarde de octubre de 1907, Leavitt escribió con pulcra caligrafía en su cuaderno de no-

tas personal: "Al parecer las estrellas variables más brillantes tienen periodos de variabilidad más largos". Esta idea le rondó por la cabeza varios años, y en 1912 tenía ya suficientes evidencias para concluir que existía una relación directa entre la duración de los periodos y el brillo intrínseco -la cantidad de luz emitida- por la estrella. Leavitt acababa de proporcionar a todos los astrónomos del mundo la piedra clave que iba a sostener la arquitectura cósmica: les había dado las varas de medir el universo. Los astrónomos solo tendrían que encontrar estrellas variables, observarlas varios días (o semanas) consecutivas, trazar sus curvas de luz para medir sus periodos y finalmente aplicar la relación descubierta por Leavitt entre el periodo y la luminosidad para determinar la cantidad de luz emitida por la estrella, el verdadero brillo absoluto. Comparándolo con su brillo aparente podían estimar con precisión la distancia a la que se encuentra la estrella.

Harlow Shapley asistió al funeral de Miss Leavitt el 12 de diciembre de 1921 con la convicción de que la mujer que ese día iba a ser enterrada había contribuido enormemente tanto al conocimiento del universo como a su propio éxito profesional, pues no le cabía duda de que su propia habilidad para aplicar el descubrimiento de Leavitt -la relación periodo-luminosidad- había sido crucial para descubrir la verdadera posición del Sol en nuestra galaxia. El descubrimiento, que le dio la reputación que finalmente le llevó a la

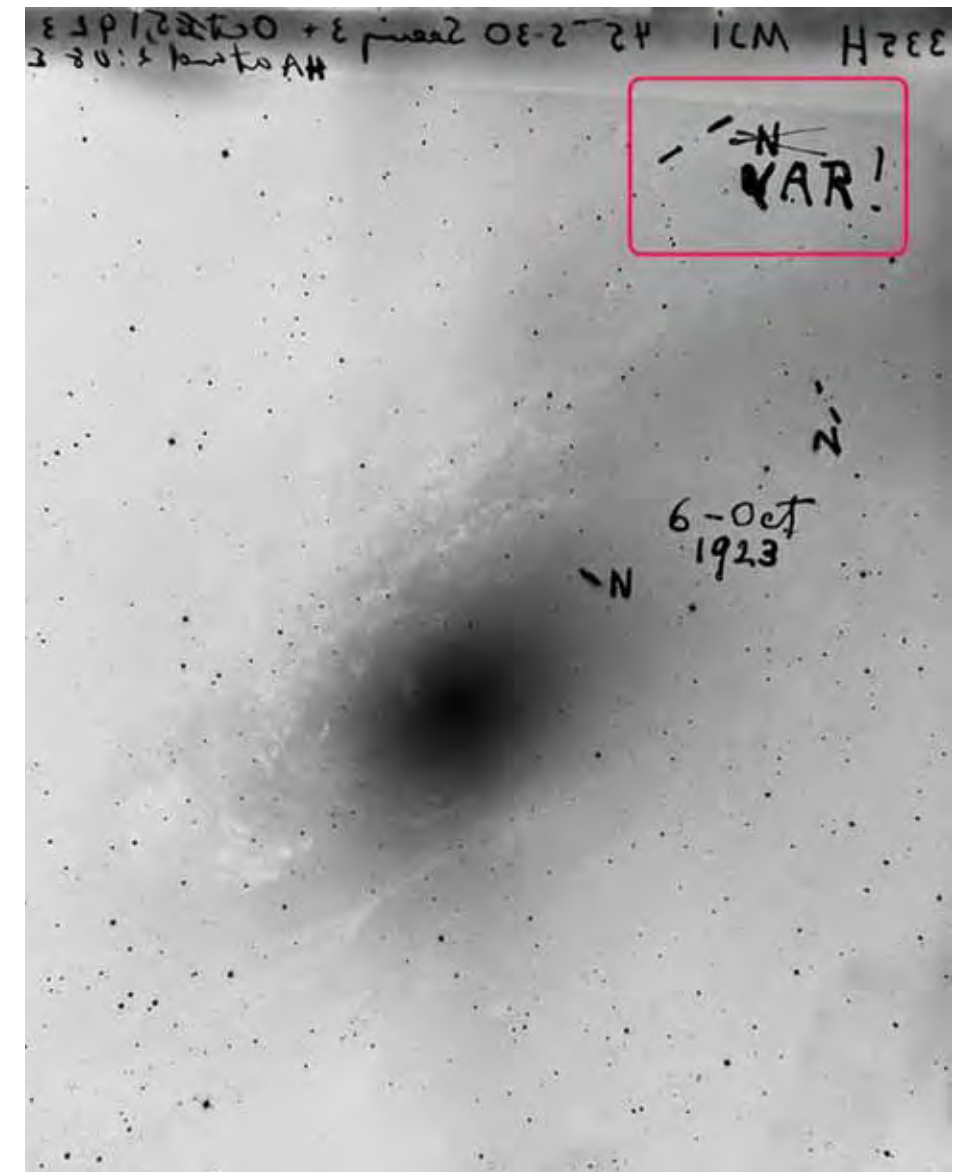
.....
Edwin Hubble (1889-1953).

life.time.com



Placa fotográfica de la galaxia de Andrómeda tomada por Hubble en 1923 con la indicación VAR!.

Carnegie Observatories,
Carnegie Institution of
Washington



dirección del Observatorio de Harvard, lo había llevado a cabo un par de años antes, cuando vivía en Pasadena (California) y trabajaba en el Observatorio del Monte Wilson. Harlow había dudado mucho a la hora de mudarse a la costa este del país, ya que intuía que el Observatorio que iba a abandonar dispondría de mejores medios en el futuro (como así fue), pero la idea de apartarse de aquel jovencuelo repelente que hacía poco tiempo había vuelto de Europa y que se empeñaba en vestir traje militar le animaba. Se trataba de Edwin Powell Hubble, también nacido como el propio Shapley en el estado de Missouri. Era un abogado convertido a astrónomo, que llegó al Observatorio de Monte Wilson el mismo año que se puso en funcionamiento el telescopio Hooker de 100 pulgadas -el más grande del mundo en el mo-

mento-. Shapley era hijo de un granjero y nunca hizo ningún esfuerzo por perder su acento de Missouri, estaba en contra de la participación americana en la guerra de Europa y había optado por posiciones políticas cercanas a los demócratas. No soportaba el conservadurismo de Hubble, ni esa forma de vestir tan cursi con modelos de Londres con los que se dejaba ver fuera de horas de trabajo, encandilando a las chicas con su acento de estudiante de Oxford.

Hubble acabó con prisas su tesis doctoral, para enrolarse como voluntario en el ejército de los Estados Unidos. Participó en la división 86 de infantería que estuvo presente -pero no entró en combate- en la Primera Guerra Mundial. Al firmarse el armisticio en noviembre de 1918 no regresó inmediatamente a los Estados Unidos sino

El día que el universo creció enormemente

que pasó un año en el Instituto de Astronomía de Cambridge en Inglaterra. Harlow y Edwin nunca se llevaron bien. Pero ambos basaron gran parte de su trabajo y de su éxito profesional en el resultado que silenciosamente había aportado una década antes Henrietta Leavitt. Ella les unía profundamente y fue sin duda la responsable indirecta de uno de los mayores descubrimientos de Hubble, que además acabó literalmente con el modelo de universo que Harlow Shapley tan ardorosamente había defendido en el Gran Debate de Washington en abril de 1920.

La noche del 5 al 6 de octubre de 1923, Edwin Hubble había llevado a cabo una exposición de 40 minutos de la nebulosa de Andrómeda con el telescopio Hooker. Al revelar la placa fotográfica descubrió tres estrellas que anteriormente no estaban y las marcó directamente en la placa con una "N", de nova. Tenía una extraordinaria memoria y reconocía rápidamente objetos nuevos si aparecían en

las placas fotográficas sin necesidad de recurrir a la revisión de las antiguas. Las novas son estrellas que experimentan un incremento repentino y extraordinario de brillo. En cuestión de días, su luminosidad puede aumentar en más de 10.000 veces. Al revisar la región del cielo con placas anteriores, se encontró con la agradable sorpresa de que una de esas estrellas no era en realidad una nova sino una potente estrella variable. Tachó la "N" y puso "VAR!" en la placa. Empezaba el trabajo. Desde esa misma noche empezó a estudiar con detenimiento esa estrella variable para averiguar su periodo. Durante las siguientes semanas fue completando la curva de luz y finalmente pudo determinar cuándo se completaba el ciclo. La estrella mostraba un periodo de 31 días. Aplicando la relación periodo-luminosidad de Henrietta Leavitt, obtuvo que la estrella debería de estar situada a una distancia de casi un millón de años luz. Este resultado era sorprendente. Ni el tamaño que Shapley asignaba a la gran galaxia, la Vía Láctea, era tan enorme. Shapley había defendido

durante el debate que el diámetro de nuestra galaxia era 300000 años luz frente a la décima parte que sostenía su oponente, Heber Curtis. Si la estrella variable que Hubble había encontrado en Andrómeda estaba a un millón de años luz, no podía, de ninguna manera, pertenecer a nuestra galaxia. Curtis tenía razón. Andrómeda era otra galaxia distinta, un universo-isla como Emmanuel Kant, el gran filósofo y visionario alemán, había postulado hacía más de 160 años. Durante el año siguiente Edwin Hubble estuvo estudiando variables cefeidas tanto en Andrómeda como en otras galaxias cercanas. Los resultados todos apuntaban en la misma dirección. Sus nebulosas anfitrionas eran otras galaxias como la nuestra. El joven Hubble escribió a Shapley con quien nunca había congeniado: "Estará usted interesado en saber...", y a continuación le detallaba los resultados. La carta le llegó a Shapley en febrero de 1924, la abrió cuando se encontraba en su despacho la inglesa Cecilia Payne, que pronto obtendría el primer doctorado en Astronomía que Harvard

otorgara a una mujer. Después de leer la carta un poco en diagonal y con nerviosismo, se la entregó a Cecilia mientras le decía:

Esta es la carta que ha destruido mi universo.

Hubble, contra el consejo de muchos, publicó primero sus resultados en el *New York Times*. Fue el 24 de noviembre de 1924. Justo un mes más tarde, Hubble envió sus resultados en forma de artículo científico a Henry Norris Russell para que los leyera el 1 de enero de 1925 en la reunión conjunta de la Asociación Americana para el Avance de la Ciencia y la Asociación Americana de Astronomía. Russell había sido el mentor de Shapley y su director de tesis. El escenario era el más propicio. Mientras en Pasadena Edwin Hubble fumaba su pipa, a 4000 kilómetros de distancia, Russell leía el documento de Hubble, en su ausencia. En la audiencia estaban presentes Harlow Shapley y Heber Curtis. Los cielos habían hablado. La llave la aportó Miss Leavitt, Hubble solo tuvo que ponerla en la cerradura y girar, y al hacerlo, el universo se abrió y creció enormemente.

Harlow deportivamente felicitó a Curtis, y este le dijo con una amplia sonrisa:

No crea que ha perdido, en realidad, lo que su antiguo colega de California y compatriota de Missouri ha presentado hoy aquí completa el trabajo que le ha dado a usted más prestigio. Hace años, usted demostró que el Sol no estaba en el centro de nuestra galaxia, ahora sabemos que nuestra galaxia no es más que una entre miles, quizá millones, que pueblan este vasto universo. Hemos aprendido, siguiendo los pasos que inició Copérnico hace siglos, que no ocupamos ninguna posición privilegiada en el universo.

Vicent J. Martínez

Director del Observatorio Astronómico de la Universidad de Valencia

Galaxia de Andrómeda tomada con un telescopio de 20 cm desde Javalambre (Teruel).

Imagen de José Luis Lamadrid y Vicent Peris.



BAADE Y ZWICKY, LA EXTRAÑA PAREJA

“La rompedora propuesta de Baade y Zwicky resolvía de golpe todos los problemas y carencias de las hipótesis anteriores”.

POR MIGUEL PÉREZ TORRES

Walter Baade (izquierda) y Fritz Zwicky (derecha).

www.phys-astro.sonoma.edu (Baade)
astronet.ge (Zwicky)
imgur.com (fondo)

Baade y Zwicky, la extraña pareja

Si el director de cine Gene Saks hubiera decidido hacer una versión de la excelente comedia "La extraña pareja" (1968) protagonizada por científicos, sin duda habría escogido a Walter Baade en el papel de Félix (Jack Lemmon) y a Fritz Zwicky para el de Óscar (Walter Matthau). Fritz Zwicky (Bulgaria 1898 - EE.UU. 1974), físico especialista en Materia Condensada, llegó al Instituto de Tecnología de California (el famoso CalTech), en los años veinte del siglo pasado, procedente de Suiza, donde se crió y cursó estudios universitarios. Era brillante y polifacético, pero su corrosiva y neurótica personalidad, así como su arrogancia sin límites, lo convirtieron en poco más que un bufón para muchos de sus colegas de CalTech. En una ocasión, en el colmo de la arrogancia, Zwicky llegó a afirmar que él y Galileo eran las dos únicas personas que sabían utilizar correctamente un

telescopio. Un ejemplo de su bufonería neurótica estaba relacionado con el fanatismo que Zwicky profesaba por el deporte. No era raro encontrarlo en el suelo del recibidor del comedor de CalTech haciendo flexiones con un solo brazo, demostrando así su virilidad ante cualquiera que, en opinión de Zwicky, la hubiera puesto en duda. Asimismo, era tan agresivo, y sus modales tan intimidatorios, que incluso su colaborador más cercano, Walter Baade (Alemania 1893 - 1960), el otro protagonista de este artículo, y que tenía una personalidad tranqui-



De izquierda a derecha,
Walter Baade (1893-1960) y
Fritz Zwicky (1898-1974).

www.allposters.com
plus.google.com (perfil de 林昱衡)

la, llegó a negarse a que lo dejaran solo con Zwicky entre las cuatro paredes de un despacho o laboratorio. En un más que probable acceso de paranoia, Zwicky llegó a acusar a Baade de ser nazi, lo cual era completamente falso. Y, al menos en una ocasión, Zwicky amenazó con matar a Baade, que trabajaba en el observatorio de Mount Wilson, colina arriba del CalTech, si alguna vez lo veía en el campus de CalTech. En fin, Zwicky era un científico que la mayoría no querría tener como compañero de despacho, pero cuya brillantez y colaboración con Baade iban a resultar fundamentales para explicar la aparición de unas novas extremadamente brillantes, y que habían traído de cabeza a los astrónomos durante décadas.

En marzo de 1934, hace ahora 80 años, Baade y Zwicky enviaron dos comunicaciones a la Academia de Ciencias de los Estados Unidos que marcarían un antes y un después en la Astrofísica. En la primera de esas comunicaciones, titulada "On Super-novae" ¹, los autores proponían la existencia de un nuevo tipo de estrellas "nova", las "super-novas". Las novas, estrellas que aumentaban su brillo enormemente durante periodos típicos de días o semanas, eran conocidas al menos desde el siglo anterior, y quizá por ello habían dejado de llamar la atención de los astrónomos. Sin embargo, la aparición de una nova excepcionalmente brillante en la nebulosa de Andrómeda, el año 1885, renovó el interés de los científicos por las novas. Sin embargo, nadie había propuesto una explicación satisfactoria a fenómenos como el de la nova del año 1885. En su trabajo, Baade y Zwicky proponían que las super-novas serían un fenómeno general en las nebulosas (en aquella época, el término "galaxias" no estaba todavía asentado, y se continuaba hablando de nebulosas o universos-isla). Además, estas "super-novas" ocurrirían con mucha menor frecuencia que las novas, de ahí que se hubieran descubierto tan pocas. Baade y Zwicky utilizaron como

"Era tan agresivo, y sus modales tan intimidatorios, que incluso su colaborador más cercano, Walter Baade, llegó a negarse a que lo dejaran solo con Zwicky entre las cuatro paredes de un despacho".

supernova-patrón el objeto descubierto el 1885 en la galaxia de Andrómeda, y calcularon que su luminosidad en el máximo debió ser unas 70 millones de veces la de nuestro sol, compitiendo así con la luminosidad total de una galaxia. Posiblemente, esta colosal luminosidad fue decisiva para que Baade y Zwicky propusieran el nombre de "super-novas". Baade y Zwicky también estimaron que la estrella tuvo que haber perdido una fracción significativa de su masa inicial, incluso varias veces la masa del sol. La conclusión principal del trabajo era que las supernovas representaban la transición de una estrella ordinaria a (cf.) un objeto con una masa mucho menor. Aunque expresada con ciertas reservas, ya que la presencia de objetos como la "super-nova" de 1885 en Andrómeda era todavía muy escasa, la hipótesis de Baade y Zwicky se vio plenamente confirmada por observaciones posteriores.

En la segunda comunicación, titulada explícitamente "Cosmic Rays From Super-Novae" y publicada en las páginas siguientes a la primera comunicación, Baade y Zwicky sugerían que los rayos cósmicos se producían en las supernovas (¡cuya existencia habían propuesto en la página anterior!) y explicaban satisfactoriamente las observaciones de rayos cósmicos existentes en la época.

La hipótesis de Baade y Zwicky chocaba de plano con las hipótesis todavía en boga en la época, y propuestas por alguna de las vacas sagradas de la Astrofísica de la primera par-



Baade y Zwicky, la extraña pareja



Nebulosa de Andr6meda.

www.wikipedia.org

te del siglo XX. Por ejemplo, el cura-astrofísico Lemaître, padre del modelo cosmológico que lleva su nombre, sostenía que los rayos cósmicos, bien se originaban en el espacio intergaláctico, bien eran reminiscencias de una época del universo cuando las condiciones físicas fueron completamente distintas a las actuales. En ambos casos había que suponer la existencia de extraños, si no fantásticos, procesos de creación de los rayos cósmicos. Además, estas hipótesis no podían explicar por qué en todo el espacio extragaláctico la intensidad de los rayos cósmicos era mucho mayor que la de la luz visible, mientras que en nuestra galaxia ocurría justo lo contrario.

La rompedora propuesta de Baade y Zwicky resolvía de golpe todos los problemas y carencias de las hipótesis anteriores. La intensidad de los rayos cósmicos se podía explicar por la

“La aparición de una nova excepcionalmente brillante en la nebulosa de Andr6meda, el año 1885, renovó el interés de los científicos por las novas”.

enorme cantidad de radiación y energía generada durante el fenómeno “super-nova”. Como las supernovas ocurrían en (todas) las galaxias, esto explicaba la diferencia en la razón de las intensidades de rayos cósmicos frente a la luz visible observadas para nuestra galaxia y fuera de ella. Además, al ser un fenómeno que habría ocurrido desde la formación de las galaxias, no era necesario presuponer que las condiciones físicas del universo temprano hubieran sido muy distintas de las actuales.

Estos resultados habrían bastado, por sí solos, para ganarse una reputación de por vida, como así fue por otra parte. Pero Baade y Zwicky fueron más allá en su segundo trabajo y, “con todas las reservas”, Baade y Zwicky avanzaron (y justificaron someramente) la hipótesis de que las supernovas representaban la transición de una estrella ordinaria a una “estrella de neutrones”. Hay que tener en cuenta que James Chadwick había descubierto el neutrón apenas año y medio antes, en 1932. Baade y Zwicky entendieron que ese nuevo “estado de la materia” en las estrellas las haría estables, pero quisieron ser especialmente cautos. Solo así también se entiende que separaran sus resul-

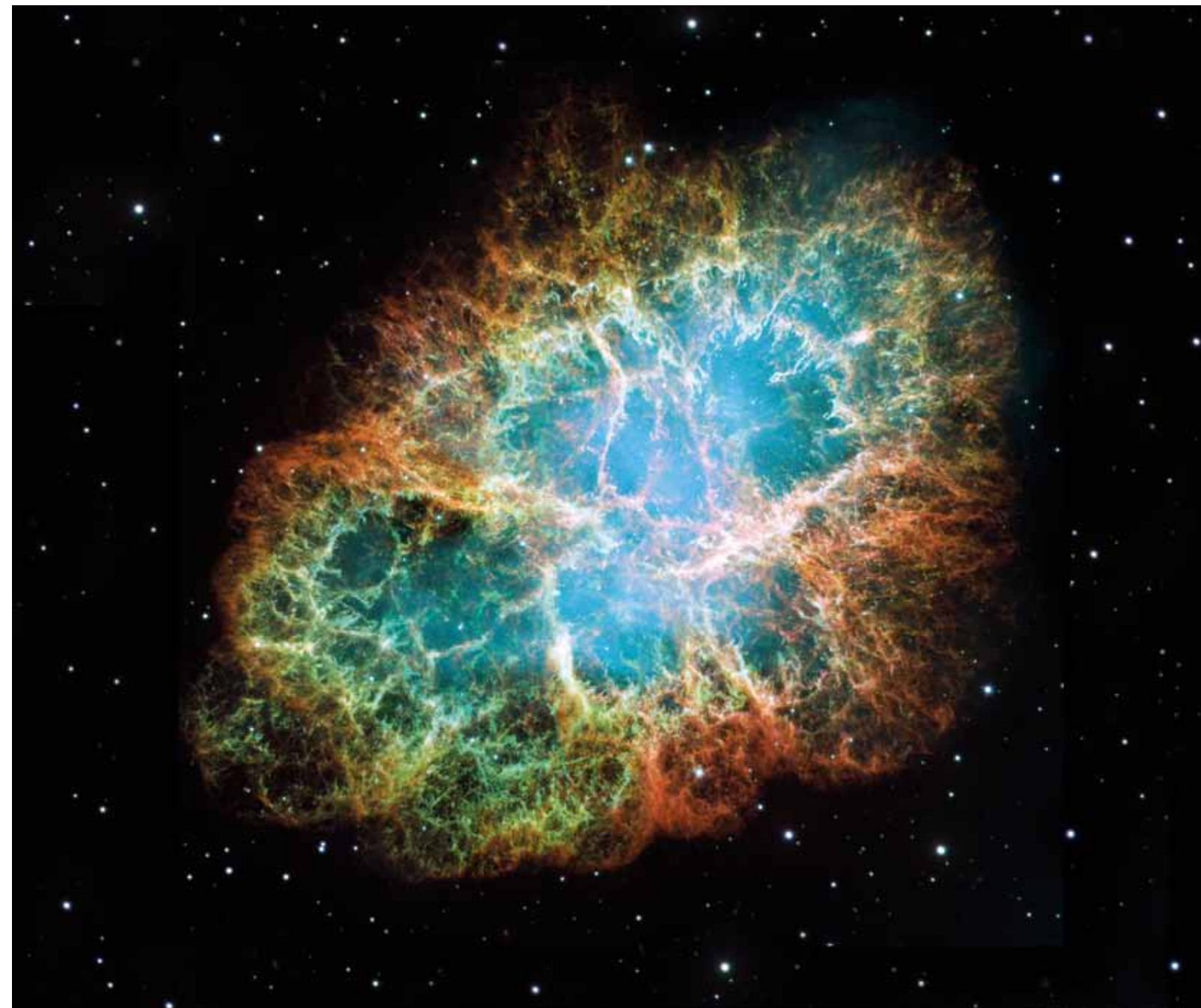
tados sobre las supernovas en dos comunicaciones, en lugar de publicarlas como un único artículo.

En un tercer trabajo³, a menudo citado err6neamente como el trabajo relevante, Baade y Zwicky presentaron esencialmente los mismos resultados de las comunicaciones anteriores, algo que habría tenido sentido hacer desde un principio. En cualquier caso, son muy pocos los trabajos en astrofísica que, como estos de Baade y Zwicky, pre-

“Baade y Zwicky avanzaron (y justificaron someramente) la hipótesis de que las supernovas representaban la transición de una estrella ordinaria a una estrella de neutrones”.

.....
Nebulosa del Cangrejo (Crab Nebula).

Imagen cedida por el autor.



Baade y Zwicky, la extraña pareja

sentan tantos conceptos nuevos, incluso revolucionarios, al tiempo que dan con la solución a problemas que habían permanecido largo tiempo sin respuesta satisfactoria alguna. La presentación de estos resultados en dos breves, concisos y muy claros artículos, propició su rápida difusión, no sólo entre los astrofísicos, sino también entre el público en general.

El nuevo término, super-nova (que años más tarde se escribiría ya definitivamente sin el guión), ganó rápidamente aceptación entre la comunidad científica, aunque algunos colegas, entre los que se encontraba Edwin Hubble, ignoraron por completo estos hitos científicos obtenidos por colegas que trabajaban prácticamente bajo el mismo techo. Sin duda, la personalidad de Zwicky no ayudó. Quizá tampoco ayudó que la visión de Hubble sobre la expansión del universo no fuera compartida en los años trein-

ta del siglo XX por todos los astrónomos, Baade y Zwicky incluidos. En efecto, en los trabajos arriba mencionados, Baade y Zwicky proponían que las estrellas progenitoras de estas “supernovas” podrían haber vivido al menos durante mil millones de años, y posiblemente mucho más. Sin embargo, algunas de las cosmologías propuestas en la época predecían una edad del universo de mil millones de años como mucho. En su artículo², Baade y Zwicky afirman que sus resultados no están en contradicción con un universo tan joven, y que ellos mismos “no están para nada convencidos de que el Universo esté en expansión”. Es de imaginar que este comentario no debió gustar a Hubble.

Hoy día, todos los estudiantes de Astrofísica aprenden en los libros de texto que la muerte de una estrella masiva da como resultado una supernova, que a su vez deja como remanente una estrella de neutrones (o quizá un agujero negro, como hoy sabemos). También aprenden que las supernovas representan la principal fuente de rayos cósmicos en el universo. Todo esto se lo debemos a los estudios pioneros

realizados por Baade y Zwicky en los años 1930. Insisto, a “Baade y Zwicky”, ya que es muy habitual citar solamente a Zwicky como la persona que realizó estas gestas científicas, algo que posiblemente se deba a su peculiar personalidad, que contrastaba con la del tranquilo y caballeroso Baade.

Es cierto que Zwicky realizó, individualmente, contribuciones muy importantes en este y otros campos de la Astrofísica. Por ejemplo, fue el primer impulsor de una búsqueda sistemática de supernovas en galaxias. En 1974, a la muerte de Zwicky, 380 supernovas se habían descubierto gracias a búsquedas sistemáticas, de las que Zwicky, solo, había descubierto 122 (entre febrero de 1937 y enero de 1974). Asimismo, sus estudios sobre la materia oscura, cuyo término él mismo acuñó, son merecedores de los mayores halagos. Pero tampoco Baade se quedó atrás en alcanzar logros científicos de modo individual, como trataremos en otro artículo más adelante. Sería por tanto muy injusto no dar el debido crédito a Baade, primer autor de los tres artículos, en los trabajos que asentaron las bases de una rama de la Astrofísica que, aún hoy, sigue siendo muy relevante.

1. Baade W. y Zwicky F. (1934), “On Super-Novae”, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 20 (5): 254–259.
2. Baade W. y Zwicky F. (1934), “Cosmic Rays from Super-novae”, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 20 (5): 259–263.
3. Baade W. y Zwicky F. (1934), *Phys. Rev.* 45, 138.

.....
Caricatura de Baade y Zwicky (abajo).

Por Daniel García Nieto.

Miguel Pérez Torres

Profesor visitante del Dpto. de Física Teórica
Universidad de Zaragoza

Instituto de Astrofísica de Andalucía
CSIC



“El nuevo término, super-nova, ganó rápidamente aceptación entre la comunidad científica, aunque algunos colegas, incluyendo Edwin Hubble, ignoraron por completo estos hitos científicos”.

.....
Edwin Hubble (1889-1953).

oneminuteastronomer.com



DANI

LEIDEN: MÁS LECCIONES DE CIENCIA Y UNIVERSIDAD

“Tras unas décadas en las que los resultados de las ciencias en Leiden no hacían justicia a su pasado, dos jóvenes profesores van a ocupar sendas cátedras de Física, y a contribuir significativamente a cambiarla para siempre.”

**POR FERNANDO
BARTOLOMÉ**

Leiden: más lecciones de Ciencia y Universidad

En la primera parte de este relato sobre la Historia de las Ciencias en la Universidad de Leiden, se puso de manifiesto cómo la apuesta decidida de los responsables académicos y políticos por una Universidad en la que la docencia y la investigación de excelencia pudiesen florecer sin obstáculos ideológicos, religiosos o administrativos dio lugar a algunos de los hitos de la Ciencia entre el siglo XV y el XVIII.

Tan solo un par de nubes amenazaban con esconder la "claridad luminosa" en que se había convertido la Física de finales del XIX. O al menos eso pensaba Lord Kelvin², quien demostró tener muy buena vista y, al tiempo, no tan buena. Identificó de maravilla las dos nubes

(la naturaleza del éter y la radiación del cuerpo negro) en su discurso "Nineteenth-Century Clouds over the Dynamical Theory of Heat and Light" ante la Royal Institution en abril de 1900. Pero no vio que eran dos nubarrones muy negros y que las dos tormentas que provocaron se iban a cruzar muy pronto, a principios del S. XX. De hecho, las primeras gotas cayeron solo unos meses después de su discurso, con la hipótesis de Planck, el 14 de diciembre de ese mismo año 1900. La Física se dio la vuelta y las dos revoluciones (una por nube) inundaron no solo los patios de las facultades de Ciencias, sino que han acabado conformando la sociedad y la Historia. En este segundo artículo pretendo repasar brevemente el papel de la Universidad de Leiden en la Física de principios del S. XX,

tal vez menos conocido que el desarrollado en otros centros científicos de aquel tiempo, pero no menos brillante. Leiden recogió la cosecha de una siembra realizada durante siglos, basada en la adecuada selección de personal docente e investigador y una decidida apuesta por el trabajo bien hecho.

EL HIJO DEL CARPINTERO Y LA CÁTEDRA DE FÍSICA TEÓRICA

Desde mediados del S. XIX disponía la Universidad de Leiden de un Laboratorio de Ciencias, que ocupaba un moderno edificio frente a la rama sur del Rapenburg, uno de los canales por los que el "Viejo Rin" cruza la ciudad. De hecho, fue la tremenda explosión de un barco cargado con pólvora en el canal lo que "liberó" accidentalmente el solar en el que se instaló el Laboratorio. Se construyó un moderno edificio y un parque frente a él, dedicado a Van der Werf, el burgomaestre que lideró la resis-



Paul Ehrenfest (en el centro) con algunos de sus estudiantes y visitantes en Leiden en 1925 (de izda. a dcha.: G. H. Dieke, S. Goudsmit, J. Tinbergen, R. Kronig, y E. Fermi).

Imagen cedida por el autor.

"Desde mediados del S. XIX disponía la Universidad de Leiden de un Laboratorio de Ciencias."

tencia de la ciudad durante el sitio español que dio comienzo a nuestra historia. Tras unas décadas en las que los resultados de las ciencias en Leiden no hacían justicia a su pasado, dos jóvenes profesores van a ocupar sendas cátedras de Física, y a contribuir significativamente a cambiarla para siempre.

El primero de ellos, Hendrik Antoon Lorentz, había sido estudiante de Física y Matemáticas en Leiden. Tras su graduación, y mientras daba clases nocturnas de Matemáticas en su Arnhem natal, trabajó bajo la dirección de P. Rijke, catedrático de Física Experimental, en su tesis doctoral "Sobre la teoría de la reflexión y la refracción de la luz" que defendió en Leiden en 1875, a la edad de 22 años. Dos años después se crea en Leiden la cátedra de Física Teórica, que es ofrecida al anterior estudiante de Rijke, Johannes D. van der Waals, quien había leído su tesis en Leiden en 1873. Van der Waals era el mayor de los diez hijos de un carpintero de Leiden. Debido a la economía familiar, no cursó la educación secundaria conducente a la Universidad (cosas del XIX y tal vez del XXI). Su aventura académica estaba predestinada a terminar a los quince años. Solo su tesón y su genio hicieron de él un profesor de primaria a la edad de 24 años (poco más que un bachiller). Poco después se matriculó



Heike Kamerlingh Onnes (dcha.) con el responsable técnico del laboratorio, Gerrit Flim, ante el licuador de helio.

Imagen cedida por el autor.



De izda. a dcha.: George Uhlenbeck, Hendrik Kramers y Samuel Goudsmit, hacia 1928 en la Universidad de Michigan (Ann Arbor, MI), donde Uhlenbeck fue profesor durante ocho años, antes de volver a Holanda por una temporada, para después asentarse en Boulder (Colorado) hasta el fin de su carrera.

Imagen cedida por el autor.

en Física y Matemáticas en Leiden, aunque la falta de Latín y Griego clásicos en su currículum, entonces obligatorios, le impidió matricularse al ritmo normal necesitando dispensas en cada curso. A los 30, tras años de compaginar estudio y trabajo docente, consiguió su graduación y una posición de profesor de Física en un instituto de secundaria en La Haya. Vivía lo suficientemente cerca de Leiden como para plantearse preparar los exámenes de ingreso en los estudios de doctorado. La suerte se alió con él: el Ministerio de Educación cambió las reglas de admisión al doctorado y las lenguas clásicas dejaron de ser condición indispensable para el doctorado en Holanda. Con casi 36 años, van der Waals defendió su tesis "Sobre la con-

tinuidad de los estados líquido y gaseoso" bajo la supervisión de Rijke. Su tesis fue reconocida desde un principio como un trabajo fundamental en Termodinámica: el propio J. C. Maxwell la reseñó en Nature en los términos más elogiosos, animando a aprender holandés para leerla³.

Como parece costumbre, el hijo del carpintero no fue profeta en su tierra, sino que optó por la cátedra de Física en la recién creada Universidad de Amsterdam, en la que se mantuvo hasta su jubilación en 1908, a los 70 años. Van der Waals recibió el Premio Nobel de Física de 1910 por su trabajo en la ecuación de estado de gases y líquidos, y tuvo una influencia capital en el desarrollo del Departamento de Física

en Leiden, no solo por la inspiración que su trabajo teórico ejerció en Heike Kamerlingh Onnes (el sucesor de Rijke) sino por el hueco que dejó al elegir Amsterdam, que fue ocupado por Lorentz con tan sólo 24 años.

En 1878, Lorentz dio su lección inaugural como primer catedrático de Física Teórica de la Universidad de Leiden, "Las teorías moleculares en la Física". Ocupó ese cargo hasta 1912, en que con 58 años aceptó el puesto de conservador del Gabinete de Física del Museo Teylers en Haarlem, una pequeña ciudad cercana a Leiden. Esta modesta ocupación le permitió seguir investigando sin más encargo docente en Leiden que una clase semanal, cada lunes por la mañana. Mantuvo esa doble vinculación hasta su muerte a los 74 años.

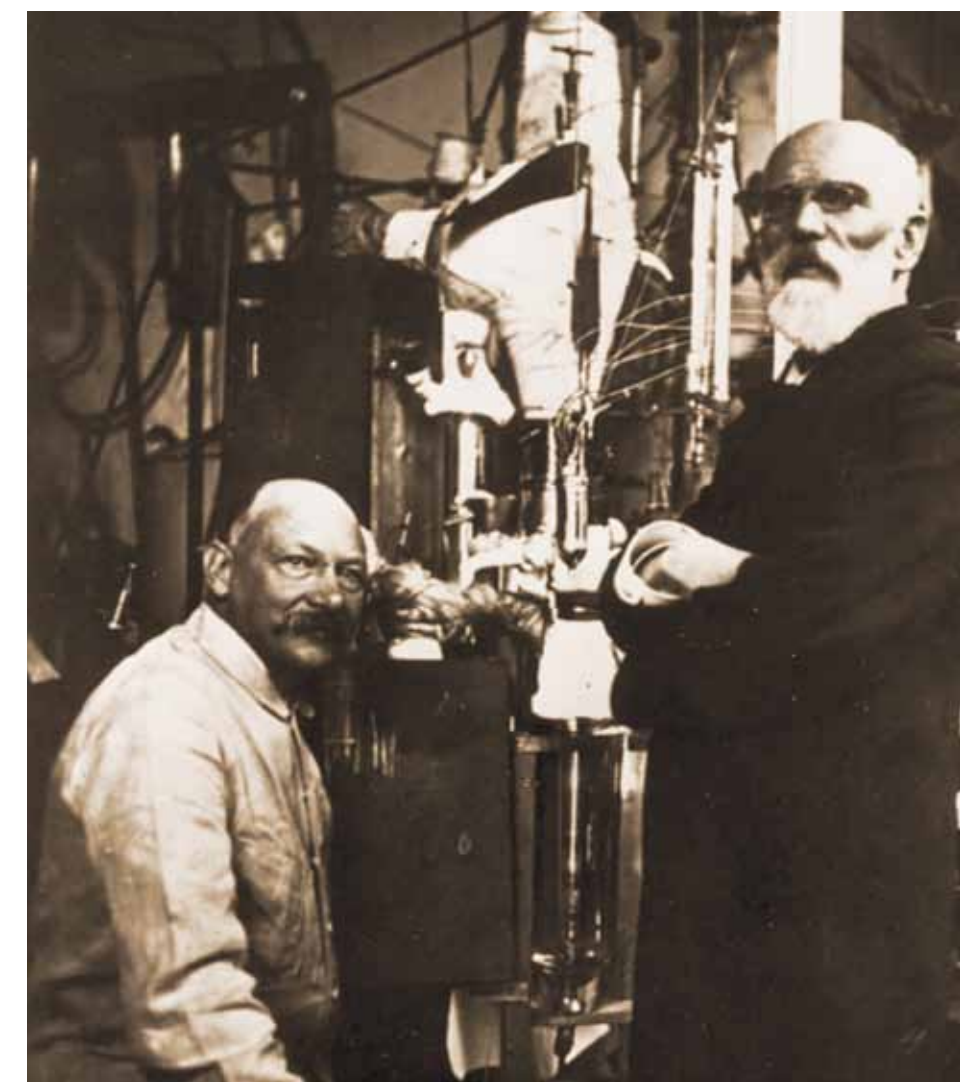
TRANSFORMACIONES, ELECTRONES Y MAREAS

La obra de Lorentz fue un programa centrado en completar y aplicar la Electrodinámica Clásica. Por una parte, Lorentz formuló en una expresión la fuerza que los campos eléctricos y magnéticos ejercen sobre una carga en movimiento, aunando y corrigiendo las contribuciones de Heaviside y FitzGerald. La fuerza de Lorentz establece la relación dinámica entre campos y materia. Pudo desde allí formular una "óptica de los cuerpos cargados en movimiento", lo que le exigió una descripción apropiada del éter, que Lorentz postuló totalmente inmóvil. Para describir los resultados del experimento de Michelson y Morley, Lorentz se ve forzado a introducir la hipótesis de la contracción de la longitud de los objetos en la direc-

"Van der Waals defendió su tesis *Sobre la continuidad de los estados líquido y gaseoso* bajo la supervisión de Rijke. Su tesis fue reconocida desde un principio como un trabajo fundamental en Termodinámica."

.....
Heike Kamerlingh Onnes y Johannes van der Waals junto al licuador de helio en Leiden.

Imagen cedida por el autor.



Leiden: más lecciones de Ciencia y Universidad

ción del movimiento en 1892, llegando a una expresión cuantitativa. Además de la contracción de la longitud de los cuerpos (que podría entenderse como un efecto del movimiento en las distancias de enlace químico) Lorentz introduce el “tiempo local”, destrinando el tiempo Newtoniano universal e independiente del estado de movimiento de los cuerpos. Con todo ello, Poincaré formula las transformaciones de coordenadas en la forma que conocemos hoy y les da el nombre “de Lorentz”. A ambos les falta únicamente dar el salto de achacar la contracción relativista al propio espacio y no a los cuerpos (lo que como es bien sabido hace Einstein en 1905).

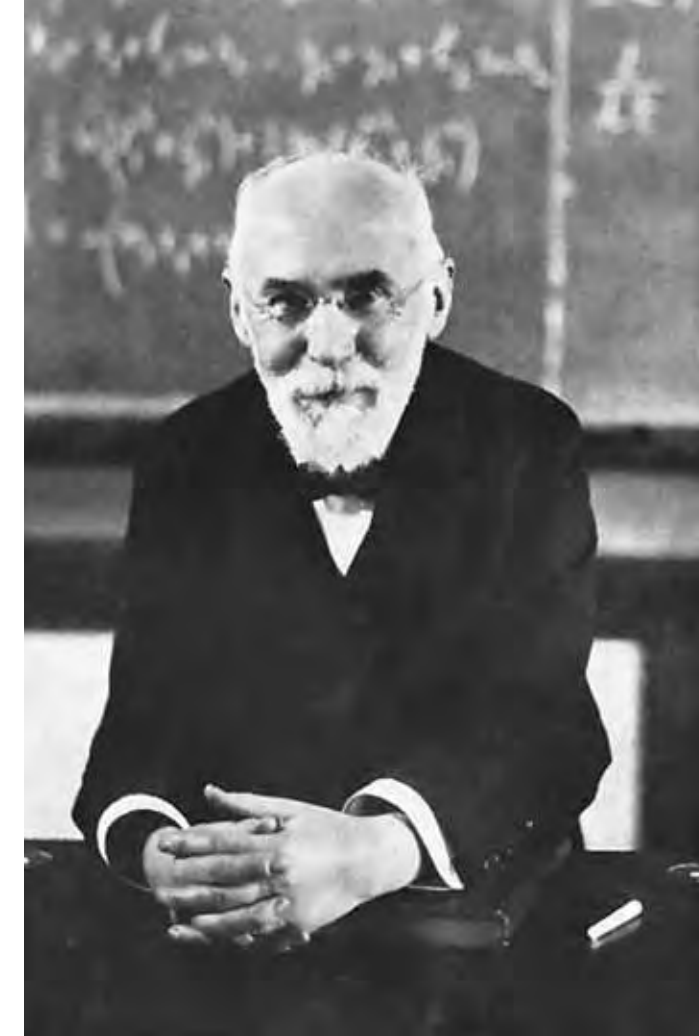
A lo largo de los años, Lorentz fue construyendo lo que él llamaba “la teoría de los electrones”: la materia es un reservorio de electrones “qua-

si-libres” en torno a posiciones de equilibrio. La descripción del electrón, la partícula constituyente de los rayos catódicos que descubrió J. J. Thomson en 1897, le lleva a darse de bruce con una descripción clásica llena de problemas, que solo encontrarán un marco teórico satisfactorio en la Mecánica Cuántica. Es notable la hipótesis de Lorentz de que la masa del electrón pueda ser un efecto puramente electromagnético (preguntándose por la existencia o no de una componente “material” a la masa del electrón) lo que le lleva a plantear problemas que solo la Electrodinámica Cuántica resolverá medio siglo más tarde. Esta “teoría de los electrones” tuvo su gran éxito en la explicación de un experimento crucial: en 1896, uno de sus asistentes, el entonces *privaatdocent* Peter Zeeman, repetía por enésima vez un experimento que Faraday y él mismo habían inten-

tado múltiples veces sin éxito: observar cómo un campo magnético afectaba la luz emitida por llamas de diversos gases. Pero Zeeman utilizó esta vez un nuevo espectrómetro; un espejo cóncavo, grabado con más de 500 líneas por milímetro que el Laboratorio había comprado a H. Rowland, de la U. Johns Hopkins en Baltimore. El nuevo espectrómetro le permitió observar y cuantificar el desdoblamiento bajo campo magnético de cada línea de emisión en dos o tres líneas espectrales (dependiendo de la dirección del campo con respecto a la de propagación de la luz emitida).

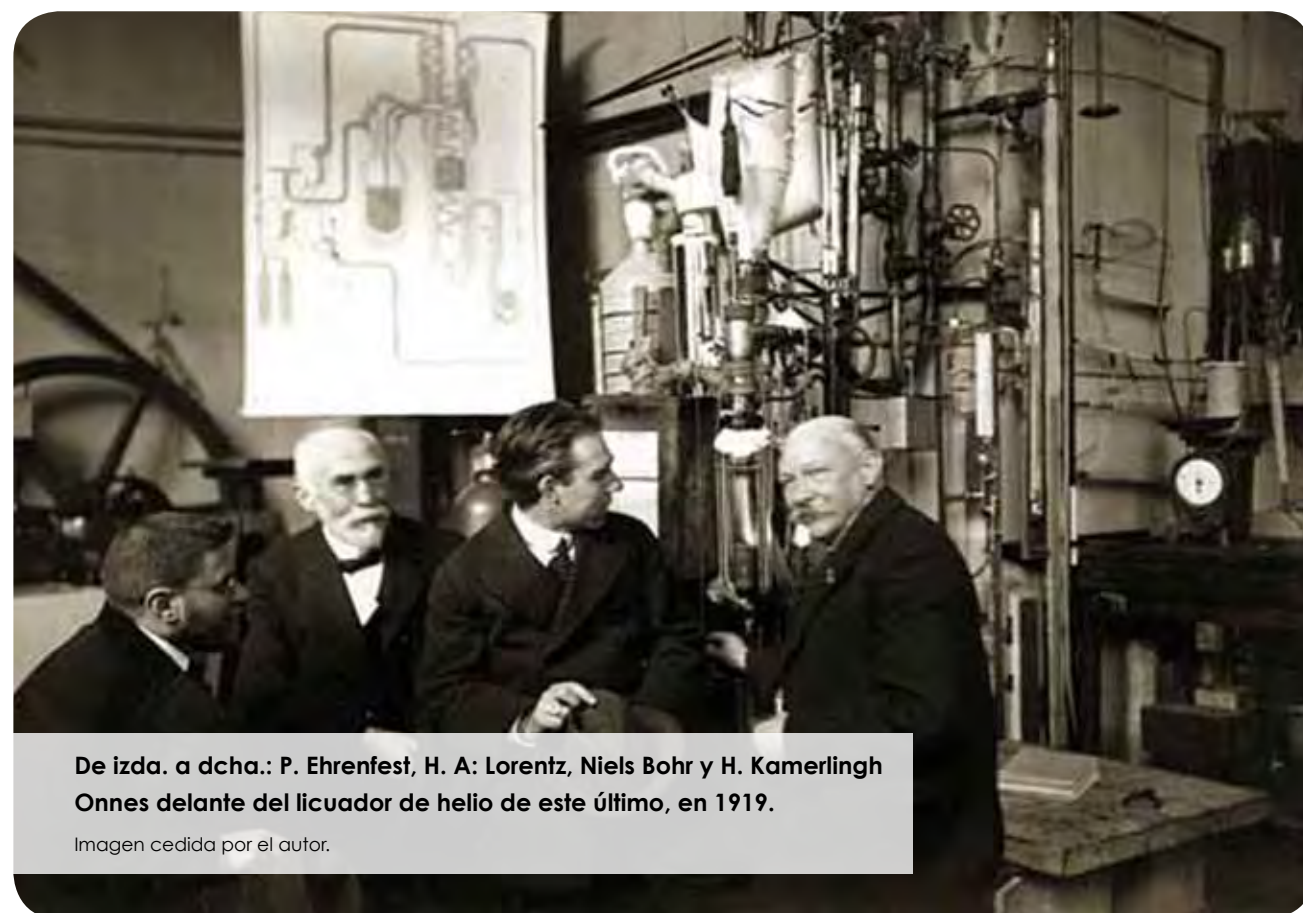
La “teoría de los electrones” de Lorentz explicaba clásicamente el efecto, basándose en la acción del campo magnético sobre los “electrones oscilantes” de la fuente, que en su modelo eran el origen de la emisión. La relación entre la dirección del campo y la polarización de la emisión concordaba con sus predicciones. Lorentz propuso realizar el experimento inverso, de absorción, y el resultado coincidió también magníficamente con la predicción teórica. La importancia del descubrimiento era enorme: demostró la naturaleza negativa de la carga del electrón y su relación carga/masa, inesperadamente alta frente a la del ion hidrógeno. Lorentz y Zeeman recibieron conjuntamente el Premio Nobel de Física en 1902 por este trabajo. Experimentos posteriores pusieron de manifiesto el “efecto Zeeman anómalo” cuya explicación completa no sería posible hasta el desarrollo de la Mecánica Cuántica. En cierto modo, Zeeman y Lorentz tuvieron suerte de experimentar con una llama de sodio, un caso relativamente simple que admitía un tratamiento clásico. En 1906, Lorentz impartió unas lecciones en la Universidad de Columbia, de las cuales hay una copia disponible *online*⁴, en las que da una detallada explicación del efecto Zeeman en el marco de su modelo precuántico.

Lorentz nunca esquivó los problemas prácticos. En particular, es muy reconocida en Holanda su participación en el diseño del dique (Afsluitdijk) de 30 km de largo que transformó un mar abierto (el Zuiderzee, que no es sino Mar del Norte)



H. A. Lorentz (1853-1928).

Imagen cedida por el autor.



De izda. a dcha.: P. Ehrenfest, H. A. Lorentz, Niels Bohr y H. Kamerlingh Onnes delante del licuador de helio de este último, en 1919.

Imagen cedida por el autor.

“A lo largo de los años, Lorentz fue construyendo lo que él llamaba *la teoría de los electrones*: la materia es un reservorio de electrones *quasi-libres* en torno a posiciones de equilibrio.”

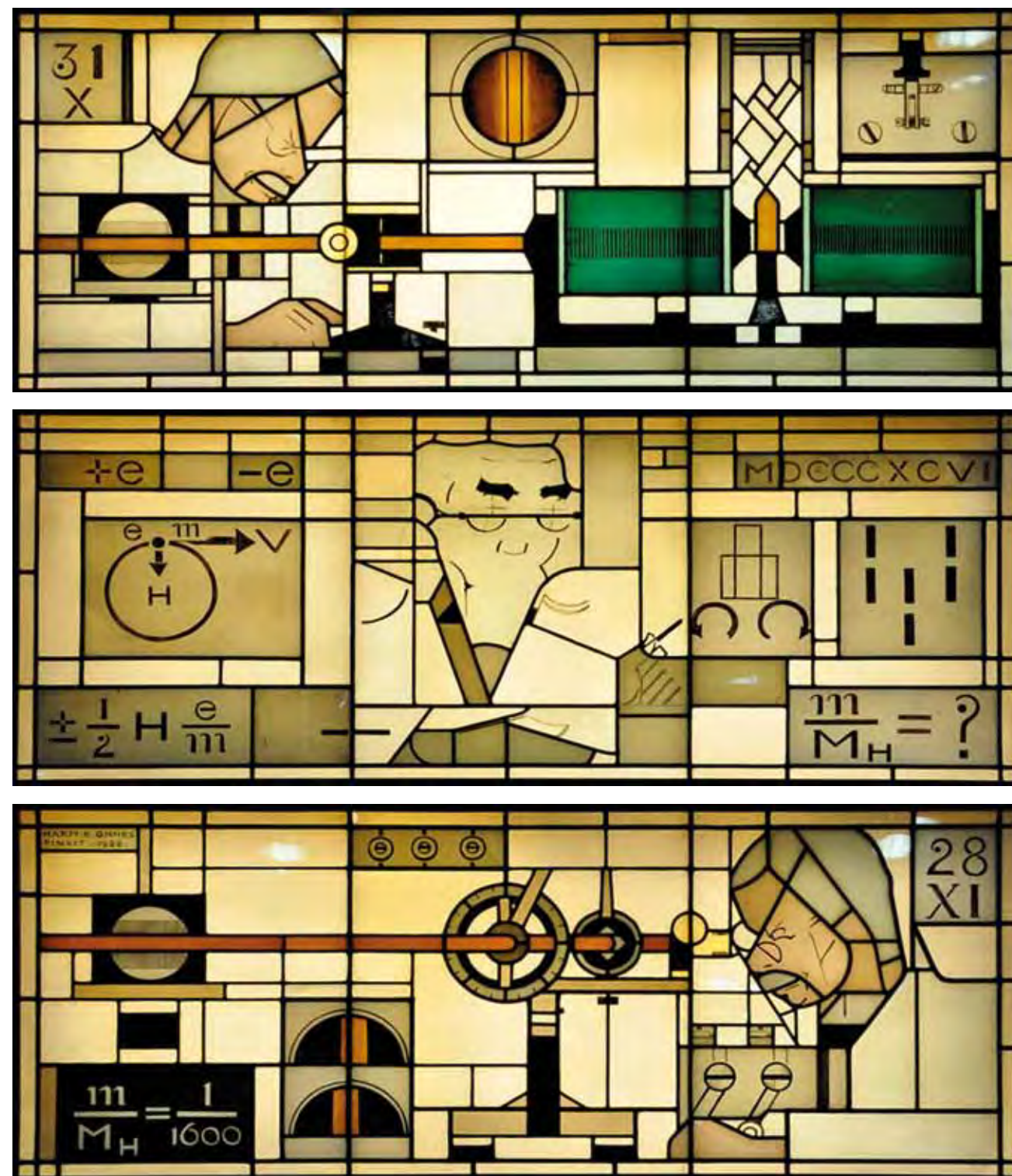
en un lago cerrado (el IJsselmeer). El objetivo fundamental era proteger las zonas habitadas de grandes inundaciones esporádicas, aunque el Afsluitdijk también ha facilitado ganar más terreno al mar. Sin embargo, construir el dique conllevaría una variación en las alturas de las mareas a lo largo de la cercana costa de Frisia. Era imperativo calcular no solo la altura del nuevo Afsluitdijk, sino también cuánto había que elevar los diques preexistentes para mantener la seguridad de pueblos y ciudades. En 1918, se nombró un comité nacional, con Lorentz a la cabeza, para calcular las nuevas alturas máximas esperables en pleamar a lo largo de la costa. La ingeniería hidráulica era básicamente empírica y, como las perturbaciones en los flujos podían ser enormes, los métodos basados en pequeñas perturbaciones no eran aplicables (las estimaciones variaban ¡de 15 cm a 4 m!). Lorentz introdujo un nuevo método: aproximó el flujo de agua en las costas holandesas del Mar del Norte con un modelo unidimensional de canales interconectados (un "grafo"), que se resolvió mediante técnicas numéricas (y "computadores humanos"). Lorentz y su comisión trabajaron durante ocho años en los cálculos, entregando un informe final en 1926. El Afsluitdijk se acabó de construir en 1933 y las predicciones del comité Lorentz resultaron ser de gran precisión. Lorentz murió en 1928, así que no vivió para ver este último éxito de su trabajo. Durante su funeral, los servicios telegráficos y telefónicos de Holanda se suspendieron durante tres minutos "en homenaje al hombre más grande que Holanda ha producido en nuestro tiempo".

"(Kamerlingh Onnes) Estaba dotado de un gran talento organizativo, un carácter persuasivo y una voluntad de hierro, virtudes que fueron la clave de su éxito."

DOOR METEN TOT WETEN (POR LA MEDIDA AL CONOCIMIENTO)

La cátedra de Física Experimental de Rijke fue ocupada por Heike Kamerlingh Onnes. A sus 29 años, había estudiado Química en Groningen, para después trabajar un año en Química con Bunsen y otro en Física con Kirchhoff. Parece que la aversión por la teoría y las Matemáticas de Bunsen le empujaron a abrazar la Física. Estaba dotado de un gran talento organizativo, un carácter persuasivo y una voluntad de hierro, virtudes que fueron la clave de su éxito. En 1882, cuando llega a Leiden, tiene claro su programa científico: verificar experimentalmente la teoría molecular de líquidos y gases de su admirado van der Waals. Nótese que la misma existencia de las moléculas no era aceptada por todo el mundo en aquel entonces. El Laboratorio que se encontró era una institución que estaba muy lejos de permitirle plantearse este objetivo, así que Kamerlingh Onnes hubo de reorganizarlo desde el principio. En sus primeros años en Leiden, consigue abundante financiación, amplía notablemente el edificio y facilita el traslado de administrativos y de sus colegas de otras ramas científicas a otras dependencias, de modo que puede planificar a lo grande. Funda la famosa "Escuela de constructores de instrumentos de Leiden" (LIS, que todavía funciona) como parte del Laboratorio. Unos años después, la escuela le procurará los mejores mecánicos y sopladores de vidrio del momento. Con esos mimbres, Kamerlingh Onnes pone en marcha el laboratorio criogénico de Leiden, que llegó a ser, durante muchos años del S. XX, el rincón más frío del planeta. Durante sus diez primeros años en Leiden, Kamerlingh Onnes no publicó ni un solo artículo.

Para verificar las teorías de van der Waals, Onnes se centró en gases simples: oxígeno e hidrógeno. En 1889 instaló una cadena de refrigeradores de ciclo cerrado de tamaño casi industrial, de modo que



La pared del laboratorio donde se descubrió el efecto Zeeman se decoró con estas cristaleras conmemorativas, en las que se puede ver a Zeeman haciendo los dos experimentos (el de emisión el 31 de octubre y el de absorción el 28 de noviembre) y a Lorentz calculando entre ambos. Nótese la firma de Harm Kamerlingh Onnes, afamado artista holandés y sobrino del científico.

Imagen cedida por el autor.

Leiden: más lecciones de Ciencia y Universidad

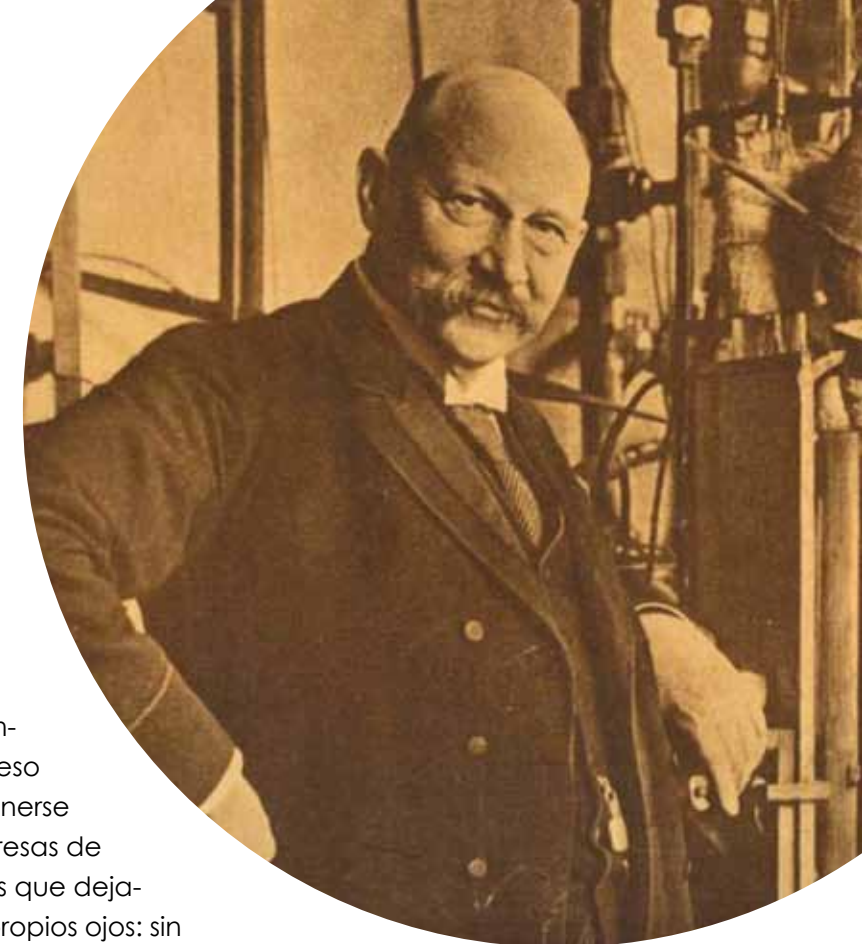
la temperatura de ebullición del gas licuado en la etapa previa era la temperatura inicial de la siguiente. En 1892 fue capaz de licuar las primeras gotas de oxígeno (-183 °C), usando clorometano (-90 °C) y etileno (-145 °C) como pasos intermedios. En 1894 se licuaban litros por hora de oxígeno, pudiendo usar un gran volumen del mismo como foco frío para el siguiente paso; el hidrógeno (-253 °C). Ese salto no se podía alcanzar con un ciclo de compresión-expansión puesto que la mínima temperatura alcanzable reduciendo la presión del oxígeno líquido está 20 grados por encima de la temperatura crítica del hidrógeno. Para salvar esta dificultad, Kamerlingh Onnes echó mano del efecto Joule-Thomson, haciendo pasar hidrógeno gas previamente enfriado con O₂ líquido por un estrangulamiento a entalpía constante, lo que le permitió licuarlo. Las temperaturas críticas y los volúmenes necesarios en cada etapa se calculaban a priori gracias a la ley de estados correspondientes de van der Waals, eligiendo los gases y optimizando el diseño de los

licuadores de acuerdo a los cálculos. Aunque Dewar, en la Royal Institution, ganó la carrera por ser el primero en licuar H₂ (1898), nunca consiguió volúmenes suficientes para encarar con garantías el siguiente reto: la licuefacción del helio. El equipo de Leiden necesitó largos años para afianzar su método, pero en 1906 lograron licuar litros de H₂ por hora. Eso fue el trampolín que permitió licuar helio, usando de nuevo Joule-Thomson con H₂ líquido como reservorio térmico inicial: el 10 de julio de 1908 se obtuvieron las primeras gotas de helio, cuya temperatura de ebullición, 4.2 K solo era un poco más baja que la predicción de la teoría de van der Waals. Reduciendo la presión mediante una bomba de vacío, la temperatura del líquido bajó hasta 1.8 K, aunque curiosamente, el helio no se solidificó.

Aquello fue un hito internacional. Se abrió un nuevo mundo de bajas temperaturas, un territorio inexplorado de frío extremo, lleno de sorpresas. El camino estaba trazado para el

descubrimiento de la superconductividad, que siguió en 1911. Durante años, Leiden fue el lugar más frío en la Tierra. El Laboratorio de Física fue el único instituto en licuar helio hasta 1923, a pesar de que Kamerlingh Onnes publicó cada detalle de su método. ¿Cómo se puede entender? En 1922 uno de sus ayudantes decía: "La victoria debe atribuirse al diseño meticuloso de cada componente, sin saltarse ni un paso y en progreso constante en el camino elegido, sin detenerse a "probar cosas" por el camino". Las sorpresas de la Física de bajas temperaturas eran tantas que dejaron pasar algunas, aún viéndolas con sus propios ojos: sin duda, la superfluidez del helio fue provocada el mismo día en que licuaron helio por primera vez, puesto que bajaron sobradamente de 2.17K, pero aunque la transición es visualmente bastante escandalosa, si no mides la capacidad calorífica del helio no es trivial identificarla como una transición de fase, de origen fundamentalmente cuántico.

En 1911 Kamerlingh Onnes y su estudiante de doctorado Gilles Holst estaban estudiando la resistividad de los metales a baja temperatura para dilucidar qué modelo de comportamiento de los electrones en metales era correcto de los tres en disputa en aquel momento: uno de osciladores cuánticos a la Einstein, otro debido a dispersión con impurezas, o un tercero, de Lord Kelvin, que predecía un aumento al infinito de la resistividad conforme la temperatura se acercase al cero absoluto, por recombinación de los electrones de la nube metálica con los átomos constituyentes. Tras observar que la resistividad del oro parecía dominada por impurezas, eligieron un metal que se podía purificar mejor que el oro: el mercurio. El 8 de abril de 1911, Onnes y Holst observaron que la resistencia de un cable de Hg sólido se anulaba a una temperatura de aproximadamente 4 K. En un principio atribuyeron el hecho a un cortocircuito pero incluso con las conexiones invertidas, el cortocircuito se reparaba solo, de modo reproducible, cada vez que la temperatura del baño se elevaba por encima de 4,2 K. Holst mejoró la técnica de medida de resistividad en 3 órdenes de



Heike Kamerlingh Onnes junto al licuador, tras recibir el Premio Nobel.

Imagen cedida por el autor.

“Aquello fue un hito internacional. Se abrió un nuevo mundo de bajas temperaturas, un territorio inexplorado de frío extremo, lleno de sorpresas. El camino estaba trazado para el descubrimiento de la superconductividad.”



Una imagen de la Escuela de Constructores de Instrumentos fundada por Kamerlingh Onnes.

Imagen cedida por el autor.



Einstein, profesor visitante en Leiden, y H. Kamerlingh Onnes.

Dibujo de Menso Kamerlingh Onnes, hermano del científico.

.....
“Ehrenfest hizo grandes aportaciones en Física, como la teoría de invariantes adiabáticos, sus trabajos en transiciones de fase, y el famoso Teorema de Ehrenfest.”

magnitud, encontrando que la resistividad del mercurio a 3 K era menor que 10^{-7} veces su valor a temperatura ambiente. En el otoño de ese mismo año habían establecido que la caída de la resistencia en 4,2 K era demasiado abrupta como para ser explicada por el modelo de Einstein, adoptando el nombre de *superconductividad* para el nuevo fenómeno (nombre que se ha mantenido en francés, pero no en español ni en inglés, en los que ha prevalecido el prefijo *súper*-).

El resultado fue presentado por primera vez por Kamerlingh Onnes en la primera Conferencia Solvay, celebrada en Bruselas del 30 de octubre al 3 de noviembre de 1911. Como era su costumbre, firmaba él solo los trabajos de su laboratorio, sin coautores. Holst, aunque nunca consiguió su parte del crédito por el descubrimiento de la superconductividad, tuvo una

exitosa carrera en los laboratorios Philips en Eindhoven. En 1913 el mismo efecto se descubrió en estaño y plomo, a diferentes temperaturas críticas, y en 1914 lograron mantener una corriente persistente en una espira superconductora. La importancia del descubrimiento se hizo evidente en seguida, y aunque Kamerlingh Onnes recibió el Premio Nobel en 1913 sobre todo por sus investigaciones sobre el helio, Onnes subrayó la naturaleza inesperada y abrupta de la desaparición de la resistencia en su lección de aceptación del premio. En 1913 ya estaba establecido que el fenómeno se producía también en plomo y estaño, pero no en oro o platino. En 1914, había “peregrinaciones” a Leiden para observar una corriente persistente en un aro de alambre superconductor, interactuando con una aguja de imán común. Sin embargo, otros acontecimientos que se produjeron en Europa en 1914 eclipsarían temporalmente el descubrimiento de la superconductividad.

Kamerlingh Onnes hizo verdad su lema, “por la medida al conocimiento”. Llegó a conseguir temperaturas aún más bajas reduciendo la presión de un recipiente con helio líquido con sumo cuidado, alcanzando $T_{\min} \approx 0.8$ K. En las décadas posteriores, su legado se hizo patente, gracias a que se rodeó siempre de los mejores y a que planificó muy bien lo que se proponía. Entre sus sucesores encontramos a Keesom, que fue el primero en solidificar helio, y a de Haas (famoso por el efecto de Haas-van Alphen). Las décadas posteriores vieron llegar a grandes científicos (Jos de Jongh, Giorgio Frossati, entre otros) que siguieron manteniendo a Leiden en la vanguardia de la Física de bajas temperaturas.

TÍO SÓCRATES

Con ocasión de su retiro a Haarlem en 1912, Lorentz había propuesto como su sucesor a Einstein, pero éste optó por Zurich. La cátedra fue finalmente ocupada por Paul Ehrenfest, un físico vienés de origen judío, cuya tesis doctoral fue dirigida por Boltzmann, a quien reverenciaba. Ehrenfest hizo grandes aportaciones en Física, como la teoría de invariantes adiabáticos, sus trabajos en transiciones de fase, y el famoso Teorema de Ehrenfest, que relaciona la variación temporal de un operador cuántico con el conmutador de dicho operador con el Hamiltoniano, y que permite recuperar en cierto modo la Física Clásica a partir de la Mecáni-



Jan Hendrik Oort con su telescopio, a mediados de S. XX.

Imagen cedida por el autor.

Leiden: más lecciones de Ciencia y Universidad

ca Cuántica. Ehrenfest, como Einstein, siempre tuvo objeciones epistemológicas con el carácter paradójico e "incomprensible" de la Mecánica Cuántica que, en su caso, llegaron a afectarle gravemente.

Ehrenfest tenía un temperamento inquieto, y le gustaba debatir, casi con un enfoque socrático, tanto los temas científicos como los no científicos. Sorprendido por la ausencia de seminarios en el Laboratorio de Leiden que reuniesen a estudiantes, profesores e investigadores, instauró un coloquio, que se mantiene hasta hoy en día. El renombre de Leiden hizo que por allí pasasen (y que sigan pasando) grandes científicos. Los Colloquium Ehrenfestii tienen lugar uno o dos miércoles de cada mes, a las 19:30 h., después de una cena a la que debe apuntarse todo el que quiera asistir a la charla, según una tradición impuesta por el propio Ehrenfest. Los conferenciantes eran invitados a firmar en una pared del laboratorio, en la que, tras casi cien años, han firmado la mayoría de los grandes físicos del S. XX, y del XXI. Cuando el Laboratorio se trasladó del antiguo edificio al actual, más moderno y espacioso, el muro fue trasladado con extremo cuidado. Se puede explorar en internet con cierto detalle⁵.

Además, Ehrenfest era un gran profesor. Einstein dijo de él: "No solo era el mejor profesor en nuestra profesión que yo haya conocido, también estaba apasionadamente preocupado por el desarrollo y el destino de las personas, y muy especialmente de sus estudiantes". La lista de sus discípulos es impresionante, e incluye entre otros a Kramers (famoso por el teorema que lleva su nombre, por la relación de Kramers-Kronig, por la fórmula de dispersión de Kramers-Heisenberg, el método de aproximación WKB, y un largo etc.), Casimir (conocido por el efecto que lleva su nombre y el modelo de dos fluidos en superconductividad), Kuiper (que da nombre al cinturón de asteroides) y J. Tinbergen,

quien aplicó los métodos de la Física Teórica en Economía y estableció el primer modelo macroeconómico cuantitativo siendo el pionero de la Econometría, por lo que recibió el primer premio Nobel de Economía en 1969. Mención aparte merecen Uhlenbeck y Goudsmit, quienes siendo aún sus estudiantes de doctorado propusieron, para explicar la estructura de los espectros atómicos de absorción y emisión, que el electrón tenía un cuarto grado de libertad: el electrón rotaba sobre sí mismo, y esa rotación le confería un momento angular de medio magnetón de Bohr. Juntos escribieron un artículo con su hipótesis y se lo pasaron a Ehrenfest para recabar su opinión ante esa "idea loca". Uhlenbeck pensó que Lorentz estaría interesado en un electrón girando sobre su eje, y decidió enseñarle también el manuscrito. Inmediatamente, Lorentz calculó que ese electrón rotatorio (necesariamente no puntual) era inestable, su autoenergía generaba problemas irresolubles y por tanto, la hipótesis no podía ser cierta. Uhlenbeck se apresuró a decirle a Ehrenfest y Goudsmit que no podían enviar el artículo porque todo estaba mal. ¡Pero Ehrenfest ya lo había enviado! "Sois muy jóvenes y no tenéis una reputación que mantener, así que os podéis permitir un error". Los recuerdos de Goudsmit⁶ y Uhlenbeck⁷ acerca de todo el asunto son de deliciosa lectura. Ehrenfest siempre animó a sus estudiantes y colaboradores a ser creativos y críticos con lo que se les enseñaba. Sus alumnos lo apodaron "Tío Sócrates".

Ehrenfest y Einstein fueron muy amigos hasta la trágica muerte de Ehrenfest. Onnes, Ehrenfest y Lorentz lucharon lo indecible para atraer a Einstein a Leiden, primero con una cátedra muy bien pagada, que Einstein rechazó en 1919 por lealtad a Max Planck, que le había roga-

do que se quedase con él en el misérrimo Berlín de posguerra. Tras eso, Onnes consiguió financiación para un puesto de Profesor Invitado para Einstein, que esta vez sí aceptó. Einstein pasaba unas semanas en Leiden cada año, alojado en la habitación de invitados de la casa de Ehrenfest. El inquilino de la casa en 1994 me dejó ver (pero no fotografiar) las firmas en una de las paredes de la espartana habitación (Einstein, Bohr, Fermi, Dirac...) al estilo del muro del Laboratorio. Por allí había pasado la flor y nata de la

"Onnes consiguió financiación para un puesto de Profesor Invitado para Einstein, que esta vez sí aceptó."

Física. La clase inaugural de Einstein en Leiden tuvo lugar en 1920, con el título "El éter y la teoría de la relatividad" a sugerencia de Lorentz. En 1921, Einstein presentó su modelo de superconductividad, un problema cuya adecuada



Conrado Rillo, Javier Sesé y parte del equipo (ICMA - INA - Quantum Design) en el Kamerlingh Onnes Laboratorium, haciendo entrega al personal del KOL del nuevo licuador ATL (en rojo, bajo la foto de Kamerlingh Onnes) hace unos meses. Door meten tot weten!

Imagen cedida por el autor.



Observatorio Astronómico de Leiden.

www.strw.leidenuniv.nl

explicación se le resistió por siempre (como a Feynman y a tantos otros). Einstein acudió siete veces a cumplir con su obligación docente en Leiden. La última de ellas fue en 1930, y nunca regresó, tras instalarse en Princeton en 1932 huyendo de la barbarie nazi.

Ehrenfest sufrió una severa depresión desde 1931, a la que contribuían tanto el deterioro de su matrimonio como la enfermedad de su hijo menor, Vasily, que nació con síndrome de Down. Además, la huida de Einstein, la muerte de Lorentz y, en buena medida, según él mismo cuenta en sus cartas de despedida, su sentimiento de incompreensión de la Física Cuántica contribuyeron a hundir su ánimo. Einstein estaba tan preocupado que escribió al Consejo de Dirección de la Universidad de Leiden, sugirién-

doles que rebajasen su carga docente. El 25 de septiembre de 1933, Ehrenfest recogió a Vasily de la institución de Amsterdam donde lo cuidaban, y tras quitarle la vida de un disparo, se suicidó. Kramers, que había vuelto a Holanda tras trabajar durante 10 años en el instituto Bohr, ocupó la cátedra de Física Teórica de Leiden tras la muerte de Ehrenfest.

EL OBSERVATORIO ASTRONÓMICO

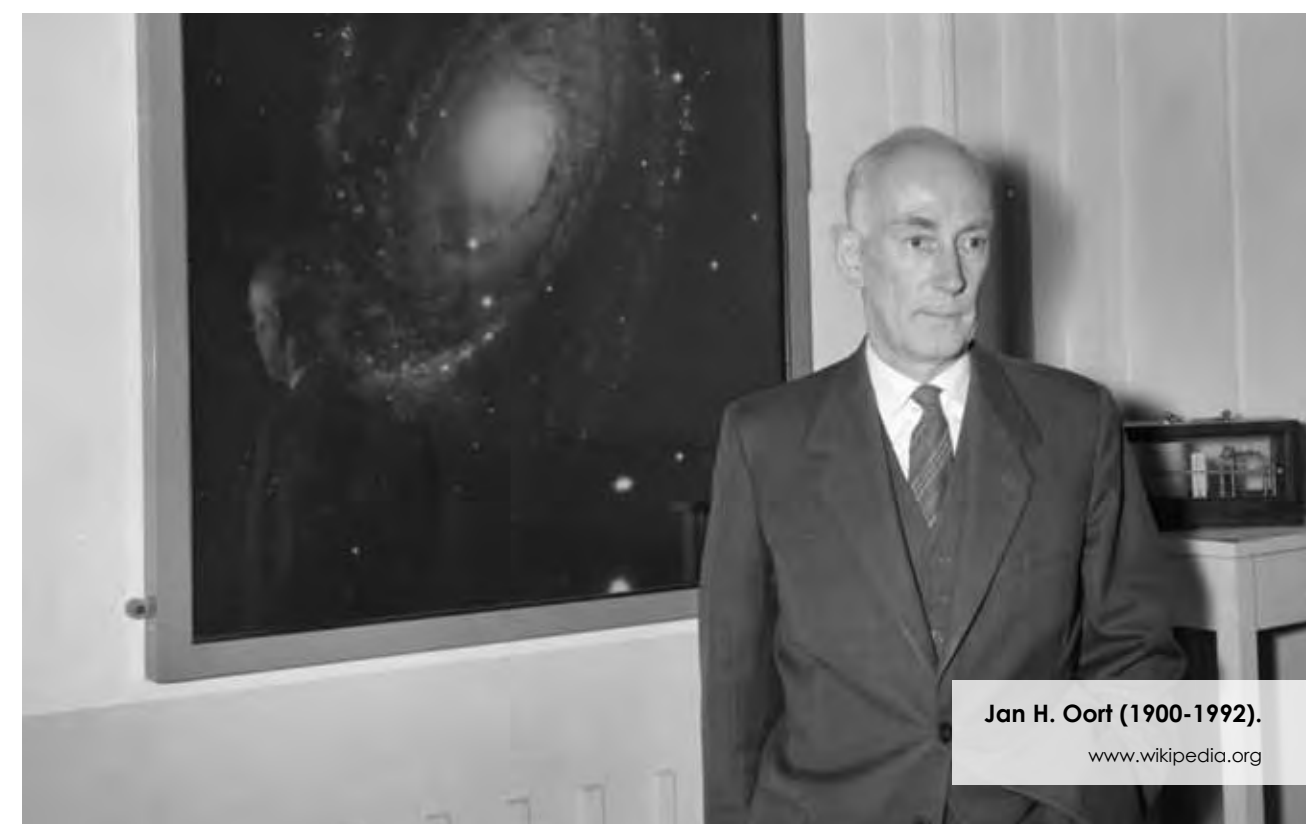
Sería tremendamente injusto olvidar las contribuciones de los científicos de Leiden en Astronomía y Astrofísica. El Observatorio Astronómico de Leiden data de 1633, en que la Universidad lo estableció para acomodar el enorme cuadrante de Snell¹, aunque en 1861 se construyó un nuevo edificio con una moderna cúpula

de observación. El director del observatorio en aquellos años dorados era Willem de Sitter. Sus principales contribuciones fueron en Relatividad General (el “espacio de de Sitter” es la solución más simple de las ecuaciones de Einstein: plano, con materia y una constante cosmológica positiva) y su nombre sigue ligado a la métrica, el horizonte de sucesos de agujeros negros, etc. Amplió el Observatorio, inaugurando las secciones de Astrofísica Espectral y de Teoría. Su sucesor fue E. Hertzsprung, famoso como co-inventor del diagrama estelar de Hertzsprung-Russell que muestra la luminosidad de las estrellas en función de su color y permi-

te el estudio de la evolución estelar. De Sitter había fichado en 1924 a un joven que acabaría siendo el más relevante de los astrónomos de Leiden; Jan H. Oort. En su dilatada carrera (fue director del observatorio de 1945 a 1970, sucediendo a Hertzsprung) sus intereses fueron desde los cometas y el sistema solar (la nube de Oort), la dinámica de las galaxias (las constantes de Oort), las estrellas y la estructura a gran escala. Propuso a su estudiante H. C. van de Hulst estudiar si el hidrógeno neutro podría emitir radiación observable y el trabajo resultante, que predice la línea hiperfina de 21 cm^{-1} , es la concepción de la radio astronomía espectral

en la que Oort jugó un papel fundamental más tarde. En los años 50, Oort estuvo muy interesado por la Nebulosa del Cangrejo: junto con el sinólogo de Leiden J. J. L. Duyvendak, que estudió los archivos originales de la dinastía Sung, documentaron la hipótesis de Hubble acerca de

“Sería tremendamente injusto olvidar las contribuciones de los científicos de Leiden en Astronomía y Astrofísica.”



Jan H. Oort (1900-1992).

www.wikipedia.org



Facultad de Ciencias
(Universidad de Zaragoza).

Imagen de la Facultad de Ciencias.

“También fue un regalo de Leiden el refrigerador de desimanación adiabática que utilicé durante mi tesis doctoral.”

que la Nebulosa del Cangrejo no era sino el “lo que queda” de la nova observada por astrónomos chinos en 1054. Aún más, dado que la emisión se trata de radiación sincrotrón, lo que comprobó experimentalmente con Teo Walraven midiendo el alto grado de polarización de su emisión⁸, demostró que el origen de la nebulosa era una supernova. Oort también fue uno de los fundadores del European Southern Observatory. Cuatro de los siete directores electos del ESO han sido catedráticos de Leiden, incluido el actual, Tim de Zeeuw. Hoy en día, el Observatorio de Leiden ocupa el nuevo “edificio Oort”.

UNA PICA EN FLANDES

No querría terminar sin una pequeña mención a la relación de nuestra sección de Física con la Universidad de Leiden. Dicha relación se remonta a los años 70, con la estancia postdoctoral de Domingo González en el Kamerlingh Onnes Laboratorium, que se puede considerar como el disparo de salida de la Física de Bajas Temperaturas en Zaragoza. Después pasaron por Leiden dos experimentales (Juan Bartolomé y Fernando Palacio) y un teórico (Rafael Navarro Linares), que perfilaron algunas de las líneas de trabajo de los entonces recién creados Departamento de Física de la Materia Condensada e Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón (Universidad de Zaragoza - CSIC) y de la Física que en ambos se ha hecho. Aunque el viejísimo licuador de Zaragoza fue una donación americana, de Leiden vinieron (en coche y de regalo) los primeros criostatos de vidrio, termómetros y otro equipamiento que permitieron medir capacidades caloríficas y susceptibilidades magnéticas con un helio casi tan difícil de conseguir como el de Kamerlingh Onnes en su día. También fue un regalo de Leiden el refrigerador de desimanación adiabática que utilicé durante mi tesis doctoral, en el que se podía ver a ojo la transición superfluida, un privilegio cada vez reservado a menos físicos de bajas temperaturas “gracias” a los criostatos metálicos. Zaragoza ha sido desde entonces un referente nacional en bajas temperaturas, aunque el acceso a equipos comerciales “ha democratizado” este área. Para acabar, una guinda: hace unos años, intentando resolver el problema de suministro de helio en la Facultad, Conrado Rillo, del ICMA, ideó y patentó un novedoso licuador de helio, basado en una tecnología que permite licuar, mantener, y recuperar helio líquido en cantidades óptimas para laboratorios de tamaño medio. El equipo es comercial (ATL Quantum Design), y uno de los 50 laboratorios que en el mundo han comprado un ATL recientemente es el Kamerlingh Onnes Laboratorium, como se puede ver en la foto. Esto sí es poner, literalmente, una pica en Flandes.

Fernando Bartolomé

Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón

Dpto. de Física de la Materia Condensada

Facultad de Ciencias

CSIC-Universidad de Zaragoza

REFERENCIAS:

1. Fernando Bartolomé, *Con-Ciencias* 12, 96 (2013).
2. Discurso de William Thomson (Lord Kelvin) ante la Royal Institution, viernes 27 de abril de 1900, “Nineteenth-Century Clouds over the Dynamical Theory of Heat and Light,” *Phil. Mag.* S6; vol 2 N° 7, 1901.
3. Maxwell J. C., *Nature* 10, 477-480 (1874)
4. archive.org/details/electronstheory00lorerich
5. www.lorentz.leidenuniv.nl/history/colloquium/muur_heel.html
6. www.lorentz.leidenuniv.nl/history/spin/goudsmit.html
7. G. E. Uhlenbeck, *Physics Today*, June 1976, 43.
8. Oort J. H. and Walraven T., *B. A. N.* 12, 285 (1956).

LA COLECCIÓN DE MINERALES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE ZARAGOZA

“Las colecciones geológicas de la Facultad de Ciencias actualmente representan un valioso material histórico y científico, acumulado a lo largo de más de 150 años, tanto por su antigüedad como, en algunos casos, por la calidad y rareza de los ejemplares”.

POR MIGUEL CALVO

La Colección de Minerales de la Facultad de Ciencias de Zaragoza

Entre el patrimonio histórico mueble de la Facultad de Ciencias de Zaragoza se encuentran varias colecciones geológicas, destinadas inicialmente a la docencia, que actualmente representan un valioso material histórico y científico, acumulado a lo largo de más de 150 años, tanto por su antigüedad como, en algunos casos, por la calidad y rareza de los ejemplares. La colección de minerales está actualmente expuesta dentro de un conjunto de vitrinas situadas en un aula del Área de Cristalografía y Mineralogía del Departamento de Ciencias de la Tierra. Los ejemplares están situados sobre soportes de madera, en su mayoría antiguos, pero funcionales y bien conservados, de los que se han fabricado otros semejantes para ampliar la exposición; la orga-

nización y etiquetado se ha renovado recientemente, aunque la iluminación todavía deja que desear.

Al parecer, los materiales e instrumentos científicos con que pudo contar la Universidad de Zaragoza antes de 1808 fueron destruidos durante la Guerra de la Independencia. En 1848, su gabinete de Historia Natural disponía solamente de unos cientos de ejemplares de animales conservados por diversas técnicas, pero no de ejemplares de minerales. En cambio, en 1860, ampliado notablemente en cuanto a animales, contaba también con un herbario y con 350 ejemplares de minerales, además de algunos fósiles aragoneses, estalactitas, etc. (Anónimo, 1860); algunos de esos ejemplares pueden todavía identificarse entre los conservados ac-

Algunos ejemplares de fluorita de la colección, con los viejos soportes y el nuevo etiquetado. En primer término, un ejemplar antiguo de Hiendelaencina y dos aportaciones modernas (arriba).

Lámina de mica procedente de Bohemia, donada a la Universidad de Zaragoza por Eduardo Ruiz Pons en 1857. Tamaño del ejemplar, 37x24 cm (abajo).

Imágenes por Jesús Fraile.

tualmente. Sin embargo, la mayor parte de los ejemplares existentes proceden de la antigua Comisión del Mapa Geológico de España (hoy Instituto Geológico y Minero de España), en Madrid. El trabajo de los profesores de la Universidad puede seguirse también en diversas piezas estudiadas por ellos. Finalmente, en época reciente, con motivo de la reorganización y puesta al día de la colección, se han integrado en ella diversas donaciones de ejemplares modernos.

EJEMPLARES ANTIGUOS

Posiblemente el ejemplar más relevante de toda la colección, desde el punto de vista histórico, sea una lámina de mica moscovita de un tamaño inusualmente grande, 37 x 24 centímetros, pero que es especialmente notable por el hecho de que el donante aprovechó la blandura del mineral para inscribir en ella a buril "Mica de Bohemia. Regalada a la Universidad de Zaragoza por Eduardo Ruiz Pons el 24 de diciembre de 1857". Aunque es más conocido por su actividad política, como activo dirigente liberal y republicano, exiliado y encarcelado en repetidas ocasiones, Ruiz Pons fue también una persona muy interesada en las ciencias. A pesar de que su formación de partida era la de abogado, estudió por su cuenta Ciencias Naturales, y en 1853 obtuvo la cátedra de Historia Natural



Parte de las vitrinas con la colección de minerales del área de Mineralogía de la Facultad de Ciencias.

Imagen por Jesús Fraile.



Detalle de la lámina de mica de la figura anterior, con la etiqueta grabada.

Imagen por Jesús Fraile.

“Posiblemente el ejemplar más relevante de toda la colección, desde el punto de vista histórico, sea una lámina de mica moscovita de un tamaño inusualmente grande”.

en el Instituto de Segunda Enseñanza de Zaragoza. En 1861 fue expulsado de su cátedra y encarcelado por publicar el programa político del Partido Demócrata Aragonés, teniendo finalmente que exiliarse definitivamente en 1862, y falleciendo en Oporto en 1865.

Otro ejemplar histórico es una muestra con dos etiquetas manuscritas pegadas en ella, una de las cuales la clasifica como “bromuro y yoduro de plata”, procedente de la mina Santa Cecilia en Hiendelaencina, donada por Pedro Esteban Górriz con la fecha del 2 de junio de 1844. El ejemplar, un bloque de esquisto típico de la localidad, con masas y costras de color negro y amarillo, merece un estudio analítico detallado. Desde el punto de vista histórico, hay que señalar que Górriz fue el descubridor del yacimiento de plata de Hiendelaencina (Guadalajara), y que el registro de esta mina, la primera del distrito, y que dio origen a un auténtico delirio minero, se produjo el mes de junio de 1844. Este es probablemente el ejemplar extraído de las minas de Hiendelaencina más antiguo que se conserva. También forma parte de la colección un grupo de ejemplares de minerales de plata no identificados con detalle, procedentes de la mina Tres Amigos, tal como se señala



en etiquetas muy antiguas adheridas a los mismos. Aunque en España se explotaron muchas minas con el nombre de Tres Amigos, el tipo de roca encajante del mineral indica que se trata muy probablemente de la mina de ese nombre situada también en Hiendelaencina.

Entre los minerales extranjeros se encuentran bastantes ejemplares que no forman parte del lote de la Comisión del Mapa Geológico de España, y que probablemente son anteriores a la llegada de esta colección, aunque en la mayor parte de los casos no existe documentación sobre ellos. Se conservan algunos ejemplares con etiquetas de dos famosos comerciantes de minerales, F. Krantz, de Bonn (Alemania) y Dr. L. Eger, de Viena (Austria). Por el modelo concreto de etiqueta utilizada, podrían datarse a finales del siglo XIX. De Krantz procede una colección de microcristales en tubitos de

vidrio, con su caja, casi completa, y otra colección de pseudomorfois. Con etiqueta de Eger existe un ejemplar de tetradimita con cuarzo de Carrock Fells, Cumberland (Gran Bretaña). Los ejemplares más importantes no conservan su etiqueta original, de modo que no puede saberse quien los proporcionó. Entre los más notables pueden señalarse un ejemplar de egirina y otro de eudialita, dos silicatos raros que según sus etiquetas proceden de Groenlandia, sin más detalles. El ejemplar de egirina consiste en un cristal incompleto, de 7 cm. de longitud. Con estas características, su origen casi seguro es la localidad de Narsarsuk, la única conocida en Groenlandia en la que aparecen cristales de este mineral de gran tamaño (hasta 20 centímetros de largo), y que ya era bien conocida en la época probable de adquisición de estos ejemplares (Boggild, 1953). El ejemplar de eudialita consiste en un grupo de cristales de



Etiqueta de una pieza de mineral de plata, en la que indica que procede de la mina Santa Cecilia, en Hiendelaencina (Guadalajara), y la fecha de 2 de junio de 1844 (arriba).

Cristal de egirina procedente de Narsarsuk (Groenlandia). Longitud, 7,4 cm. (abajo).

Imágenes por Jesús Fraile (arriba) y Antonia Royo (abajo).

La Colección de Minerales de la Facultad de Ciencias de Zaragoza

tamaño centimétrico, del color rojo oscuro habitual en este mineral. En Groenlandia existen dos localidades en las que aparecen ejemplares de este tipo, la citada de Narsarsuk y la de Kangerdluarssuk (Boggild, 1953). La procedencia del ejemplar de la colección de la Facultad es probablemente la segunda, donde es conocida desde principios del siglo XIX, mientras que en la primera se encontró solamente a finales de ese siglo, en una fecha demasiado próxima (o posterior) a la de adquisición del ejemplar. Otro ejemplar notable es un cristal prismático de fenaquita, un silicato de berilio poco común, de color blanco, terminado por uno de los extremos, en matriz, procedente de la localidad de Kragero (Noruega), probablemente de la cantera Tangen, que ya era conocida a finales del siglo XIX por la calidad y tamaño de los cristales de fenaquita obtenidos en ella.

LA COLECCIÓN DE LA COMISIÓN DEL MAPA GEOLÓGICO DE ESPAÑA

A finales del siglo XIX y principios del XX esta institución preparó una serie de colecciones geológicas destinadas a los distintos centros de enseñanza superior de España, de modo que en un momento dado entre 1890 y 1910 la Universidad de Zaragoza (y es de suponer que también las otras nueve universidades que entonces existían) recibió al menos una colección de varios cientos de ejem-

plares de minerales, y otra colección con un número semejante de rocas, en este segundo caso con los ejemplares, todos de la misma forma y tamaño, tallados a martillo. Ambas colecciones se conservan substancialmente intactas en cuanto a los ejemplares, aunque se hayan perdido, por el comprensible deterioro del tiempo y por los traslados, las cajas de cartón y las etiquetas originales. Sin embargo, los ejemplares procedentes de este lote pueden trazarse en su gran mayoría sin problemas dentro de la actual colección, ya que las etiquetas posteriores contienen las siglas CMGE. La pérdida más sensible es la de las fichas individuales que acompañaban a cada uno de los ejemplares. En ellas aparecían precisiones sobre el yacimiento que no se encontraban en las etiquetas, y detalles sobre las características peculiares del ejemplar.



.....
Cristal de fenaquita procedente de Kragero (Noruega) Tamaño del cristal, 4,8 cm.

Imagen por Faustino Rodríguez.

Plancha de cobre nativo procedente de las minas de Biel (Zaragoza). Tamaño del ejemplar, 9 cm.

Imagen por Jesús Fraile.



Los ejemplares de minerales que forman la colección se eligieron indudablemente con varios criterios: el primero, y más evidente, la representación de los minerales útiles, como las menas metálicas, y los minerales con utilidad industrial, como el yeso. Llama la atención la abundancia de ejemplares de "fosforita", variedad microcristalina de apatito. También es evidente la presencia prioritaria de ejemplares de yacimientos españoles (obviamente las razones económicas también cuentan en este caso), y especialmente de los regionales. La colección entregada a Zaragoza incluye piezas procedentes de los yacimientos aragoneses más conocidos, así como de otros yacimientos españoles, como las minas de plata de Hiendelaencina, las de plomo de Linares y las de cinc de Cantabria. Entre los ejemplares se encuentran varios cuya calidad indica que su destino es el examen visual, mientras que en otros casos, incluidos duplicados de los primeros, parecen más bien ejemplares que aceptarían la "manipulación agresiva", como examen de dureza, color de la raya, etc.

Entre los minerales españoles merecen destacarse en primer lugar los tres ejemplares de cobre nativo de las minas de Biel (Zaragoza). Uno de ellos se muestra en la figura. Llama la atención su (para el yacimiento) enorme tamaño. En esta localidad, en la que los minerales de cobre aparecen diseminados en areniscas y conglomerados, el cobre nativo es bastante frecuente, pero raramente es visible a simple

“Entre los minerales españoles merecen destacarse en primer lugar los tres ejemplares de cobre nativo de las minas de Biel (Zaragoza)”.

vista. Lo mejor que puede encontrarse actualmente son granos y laminillas de tamaño milimétrico

Las minas de plata de Hiendelaencina, todavía activas en la época en la que se montó esta colección, son el origen de un buen número de ejemplares con las sulfosales características del yacimiento, pirargirita y freieslebenita, además de alguna otra cuya identidad debería revisarse con tecnología analítica moderna. Como especie poco habitual para la localidad, puede destacarse un ejemplar con cristales cúbicos de fluorita de alrededor de un centímetro de arista.

La colección de la Comisión del Mapa Geológico incluye también varios ejemplares de hidrocincita de Comillas (Cantabria), clasificados como "zinconisa", nombre antiguo de este mineral, con la superficie brillante y aspecto de porcelana, lo que es poco frecuente en este mineral, pero característico de los ejemplares encontrados en algunas minas de Cantabria a finales del siglo XIX. También es característico

La Colección de Minerales de la Facultad de Ciencias de Zaragoza

el relieve vermiforme que presentan algunos ejemplares, recordando a un grandes muelas fósiles. Estos ejemplares son actualmente muy raros, ya que solamente se conservan unos pocos ejemplares en colecciones antiguas. Por su rareza y extraordinaria calidad, uno de los de la colección de la Universidad de Zaragoza fue escogido para aparecer en una de las láminas del libro de Minerales y Minas de España (Calvo, 2012).

Otros ejemplar notable es la "piedra de San Isidro", o "diamante de San isidro", canto rodado de cuarzo, de la variedad conocida habitualmente como "cristal de roca", pero que en este caso, arrancado del yacimiento primario y arrastrado por las corrientes de agua, ha perdido la forma cristalina por la abrasión, quedando con la superficie con aspecto esmerilado pero manteniendo la transparencia interior. Estos ejemplares aparecían con relativa frecuencia en el siglo XIX en los niveles inferiores de las canteras explotadas en el Cerro de San Isidro para obtener arcilla para tejas, pero eran ya conocidos al menos desde mediados del siglo XVI. Jacobo Trezzo, lapidario al servicio de Fe-

lipe II, talló uno de ellos en forma rectangular, que recibió el nombre de "El Estanque", y que el rey utilizó como adorno de su sombrero. Parece improbable que en el futuro puedan obtenerse nuevos ejemplares, por lo que el de la colección debe considerarse como una importante muestra de la mineralogía histórica española. El ejemplar de alumbre, sulfato de aluminio y potasio, procedente de Mazarrón (Murcia), merece también una mención especial. Se trata de un grupo de tamaño relativamente grande, formado por varios cristales octaédricos, sobre los que aparecen las marcas producidas por las pruebas de dureza a las que fue sometido en las clases prácticas. Este ejemplar es de origen artificial, obtenido en alguna de las fábricas existentes en Mazarrón a finales del siglo XIX, que lo producían para su empleo en la industria textil utilizando como materias primas las rocas aluminosas de la zona.

Entre las piezas extranjeras, es particularmente destacable el ejemplar de la llamada "calcita de Fontainebleau", un grupo de cristales de calcita con granos de arena en su interior, de un tamaño de 6,5 centímetros. Este tipo de calcita es relativamente común en los niveles de arenas del Stampiense de la región de Fontainebleau, cerca de París, y se reconocieron como una notable "curiosidad natural" desde el siglo XVIII (Lasonne, 1774). Sorprendentemente, en la etiqueta que se conserva (que no es la original) está identificada como "calcita pseudomórfica", con la procedencia de Linares (Jaén), lo que resulta una confusión inexplicable, dada la peculiaridad y la popularidad a escala mundial de este tipo de ejemplares.

.....
Grupo de cristales de fluorita procedente de Hiendelaencina (Guadalajara). Tamaño del ejemplar, 8 cm.

Imagen por Faustino Rodríguez.

Hidrocincita concrecionada procedente de Comillas (Cantabria). Tamaño del ejemplar, 6 cm. (arriba).

Grupo de cristales de alumbre procedentes de Mazarrón (Murcia), muy probablemente obtenidos artificialmente. Pueden observarse las pruebas de dureza realizadas por los estudiantes. Tamaño del ejemplar, 12 cm. (centro).

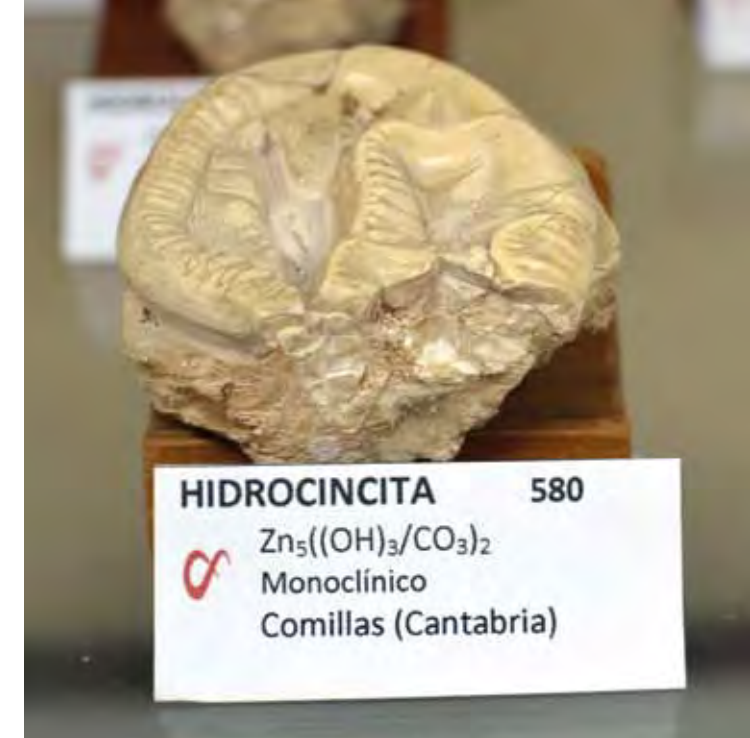
Calcita con arena, procedente de Fontainebleau, Ile de France (Francia). Tamaño del ejemplar, 6,5 cm. (abajo).

Imágenes por Jesús Fraile (arriba), Antonia Royo (centro) y Jesús Fraile (abajo).

NUEVAS ADQUISICIONES

Entre la adquisición de la colección de la Comisión del Mapa Geológico y el momento actual se han incorporado pocos ejemplares nuevos. Pueden destacarse algunos estudiados por Pedro Ferrando, que fue profesor de mineralogía de la Universidad de Zaragoza entre 1904 y 1931. Entre otros, estudió un mineral procedente de Ortells (Castellón) que consideró inicialmente de forma tentativa como estaurilita o como una especie semejante (Ferrando, 1918). Los ejemplares se encuentran todavía en la colección de minerales, por lo que recientemente ha podido aclararse la duda en la identificación. La difracción de rayos X, realizada por el personal del propio departamento, ha demostrado que no se trata de estaurilita, sino de una mezcla compacta muy finamente granuda de cuarzo y goethita.

Una de las explotaciones mineras de baritina más importantes de España, ahora cerrada y rellenada, ha sido la corta de la mina "Santa Matilde", en Cuevas del Almanzora (Almería). Una particularidad de este yacimiento, especialmente en la parte central, es la presencia



La Colección de Minerales de la Facultad de Ciencias de Zaragoza

Pequeños cristales tabulares de baritina presentes en una geoda de las fumarolas fósiles de la Corta Santa Matilde, Cuevas del Almanzora (Almería). Ejemplar obtenido por Isabel Fanlo, profesora de la Facultad.

Imagen por Faustino Rodríguez.



de fumarolas fósiles formadas por baritina, en las que este mineral presenta estructuras tubulares de aspecto coraloide, con la parte interior finamente bandeada y las paredes de los huecos recubiertas por microcristales tabulares transparentes.

La colaboración de la Asociación Mineralógica Aragonesa que ha reorganizado las colecciones y renovado el etiquetado, se ha extendido también a la donación de piezas, destacando entre ellas un ejemplar con un gran cristal de yeso sobre alabastro, procedente de Fuentes de Ebro (Zaragoza). También se ha incorporado a la colección un notable ejemplar de pirita de la mina Ampliación a Victoria, en Navajún (La Rioja), que se muestra en la figura, donado por Pedro Ansorena, que actualmente explota la mina para obtener ejemplares para colección y decoración. Otras incorporaciones recientes, procedentes de donaciones, son

algunos ejemplares de fluorita de diferentes yacimientos asturianos, las celestinas y amatistas de Azaila (Teruel) o el gran ejemplar de yeso pseudomórfico de halita procedente de Remolinos (Zaragoza).

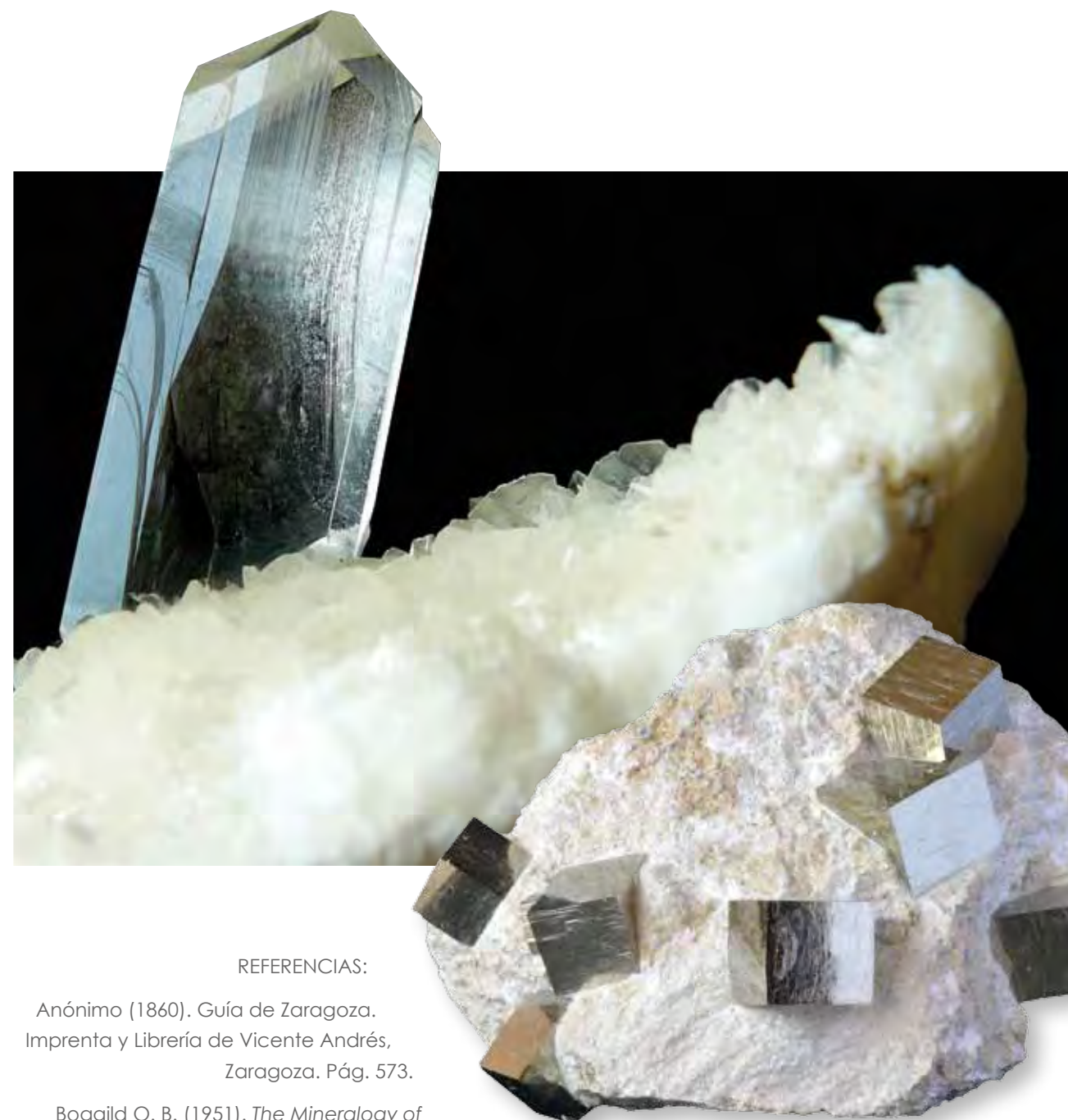
Miguel Calvo

Dpto. de Producción Animal y
Ciencia de los Alimentos

Facultad de Veterinaria
Universidad de Zaragoza

Baritina de aspecto coraloide procedente de una fumarola fósil. Corta Santa Matilde, Cuevas del Almanzora (Almería). Ejemplar obtenido por Isabel Fanlo, profesora de la Facultad. Tamaño del ejemplar, 9 cm.

Imagen por Faustino Rodríguez.



REFERENCIAS:

Anónimo (1860). Guía de Zaragoza. Imprenta y Librería de Vicente Andrés, Zaragoza. Pág. 573.

Boggild O. B. (1951). *The Mineralogy of Greenland. Meddelelser on Gronland*, 149 (3), 1-442.

Calvo M. (2012). *Minerales y Minas de España. Vol V. Carbonatos y Nitrato. Boratos*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid. Fundación Gómez Pardo. 711 págs.

Ferrando P. (1918). Presentación en la Sección de Zaragoza. *Boletín de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, 18, 293-294.

Lassone J. M. F. de (1774). *Mémoires sur les grès en général et en particulier ceux de Fontainebleau. Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*, 209-236.

Ejemplar con un gran cristal de yeso sobre alabastro, donado por Jesús Clemente. Fuentes de Ebro (Zaragoza) Tamaño del cristal, 5,5 cm. (arriba).

Ejemplar típico de pirita de la mina Ampliación a Victoria, de Navajún (La Rioja), donado por Pedro Ansorena, explotador de la mina. Tamaño del ejemplar, 13 cm.

Imágenes por Faustino Rodríguez (arriba) y Jesús Fraile (abajo).

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



EL ÚLTIMO SER VIVO



“La Tierra se habrá convertido
en un planeta oxidado,
como Marte en la actualidad”.

POR MIGUEL ÁNGEL SABADELL

El último ser vivo

Todos estamos convencidos de que en nuestro mundo hay unas cuantas certezas. No muchas, pero sí algunas. No hay ningún ser humano que crea que el Sol no saldrá mañana porque la Tierra no detendrá su rotación esta noche. Todos sabemos que al verano le seguirá el otoño cumpliendo el ciclo de las estaciones que nos ha acompañado desde que tenemos memoria. Los libros de mareas que surfistas y marineros usan a diario es prueba de esa confianza en que el mundo se mantiene, salvo pequeños cambios, hoy igual que ayer: los pescadores esperan todos los años la migración anual del salmón, los ornitólogos que las aves vuelvan, como siempre cada año, a posarse en la laguna de Gallocanta. En estos tiempos de meteorología revuelta nos inquieta que no llueva en invierno o que las temperaturas veraniegas sean más bajas a lo que estamos acostumbrados. En definitiva, de manera inconsciente creemos que el mundo no cambia en demasía: el océano azul, la frondosidad de la selva, las montañas nevadas o la meseta castellana siempre han sido así y siempre lo serán. Quizá por ello nos convenzan tanto los ecologistas cuando hablan de preservar la naturaleza: inconscientemente creemos que se ha mantenido inalterada.

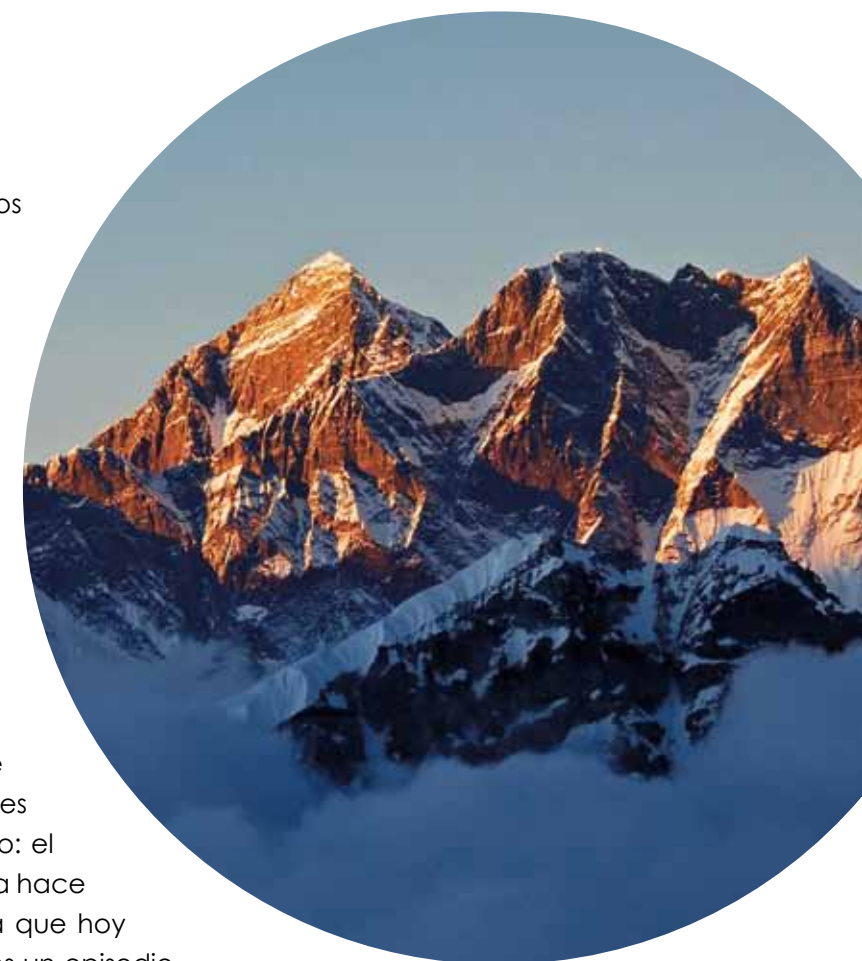
Pero esta visión es totalmente errónea y viene influida por la escasa duración de nuestra vida comparada con el tiempo que se toman los procesos que definen la estructura de nuestro entorno. Si la altura del monte Everest representara la edad de la Tierra, el tamaño del último copo de nieve de la cima simboliza la duración de una vida humana. No es de extrañar que vivamos con anteojeras temporales y perdamos la perspectiva de lo que realmente es nuestro planeta.

Imagínese de pie sobre el barro que ha quedado al bajar la marea. Ha tenido suerte, pues la mayor parte del planeta es un océano de aguas hirvientes, sin continentes. Altos conos volcánicos, repartidos por todo el globo, arrojan gran cantidad de gases a una atmósfera densa e irrespirable, sin rastro de oxígeno, son visibles en la distancia a través de una nube de cenizas y vapores proveniente de la lava incandescente que cae a un mar poco profundo; incluso podemos ver nubes de tormenta en torno a los picos. Algo sorprendente, pues el cielo se encuentra casi por completo libre de nubes. El brillante Sol achicharra la superficie con sus letales rayos ultravioletas. Por las noches, los meteoritos cruzan los cielos y de vez en cuando alguno cae estrellándose contra el agua

y provocando inmensos *tsunamis* de varios kilómetros de altura. Más cerca, los acantilados son azotados por el batir de las olas arrastradas por los fuertes vientos. Tierra adentro, la escena la dominan montículos de lava negra cuya superficie está cubierta de escombros. Estamos rodeados de una extensión plana de fango gris que centellea cuando la intermitente luz se refleja en los cristales de yeso. Por todos lados hay charcas, poco profundas y muy salinas.

Usted no reconocería este lugar como la Tierra, pero así era hace 4.000 millones de años y así se mantuvo durante algunos miles de millones de años. Por poner un ejemplo: el césped de nuestros jardines no existió hasta hace 50 millones de años. La explosión de vida que hoy vivimos, con nuestra civilización incluida, es un episodio efímero en la historia de nuestro planeta que ha surgido "en un raro respiro desde la Edad del Hielo y un singular periodo de estabilidad climática", dicen los astrobiólogos Peter D. Ward y Donald Brownlee. El futuro lejano de la Tierra será tan hostil e incompatible con la existencia del ser humano como lo fue en sus comienzos, con una ecología mucho más anodina. Una decadencia que no solo está acercándose, sino que ya ha empezado.

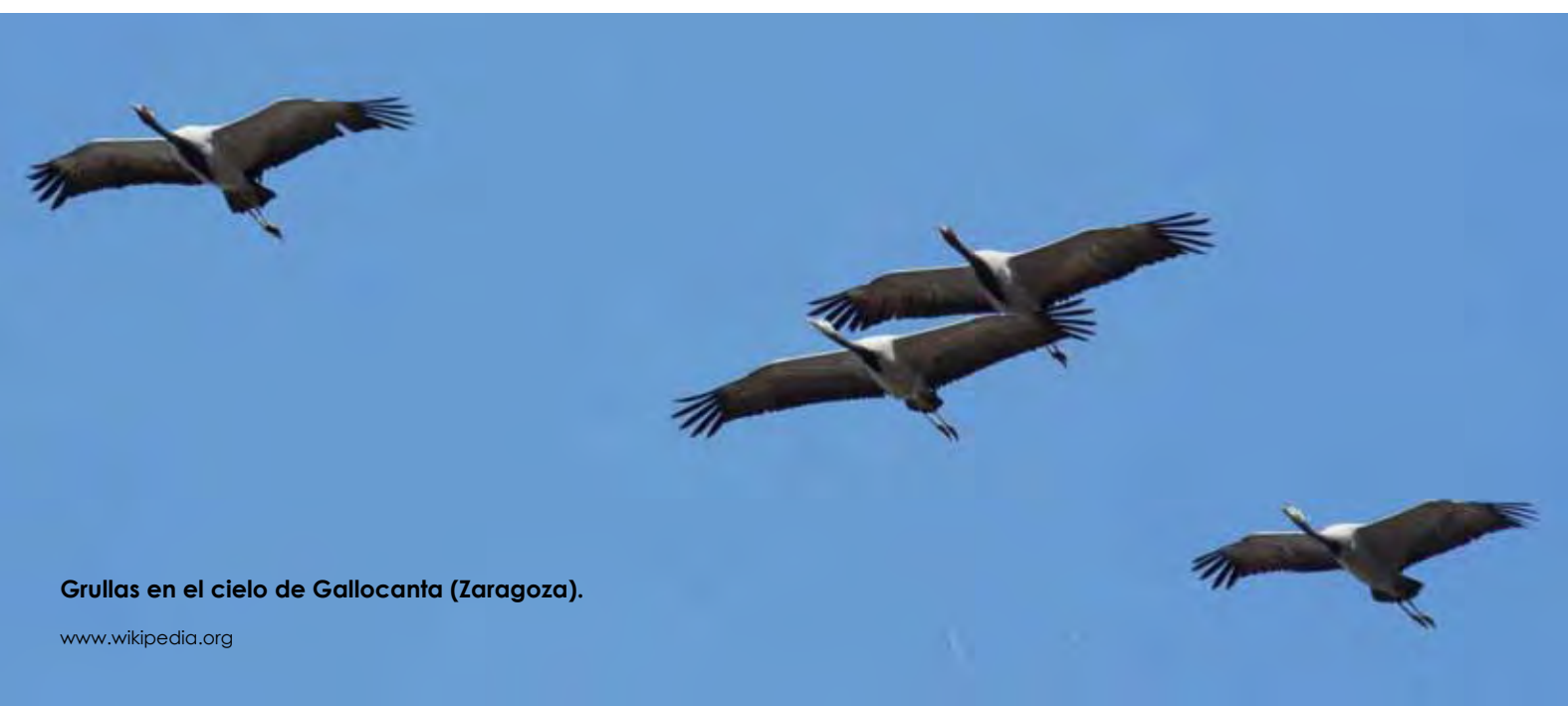
Muy posiblemente el pico biológico lo cruzamos hace 300 millones de años, cuando animales y plantas marinas saltaron a la superficie de los continentes, y ahora vamos cuesta abajo en un mundo biológicamente cada vez más empobrecido. Según los últimos resultados la diversidad de especies y su fecundidad fue mucho mayor en el pasado que en la actualidad. Los últimos animales morirán dentro de 500 millones de años, si no adelanta su fin una nueva gran extinción parecida a alguna de las cinco que han devastado la vida en el planeta. Desde la famosa explosión del Cámbrico, el suceso más significativo y corto de toda la historia (hace 500 millones de años se pusieron las bases para todas las formas de vida actuales; desde entonces no ha aparecido ningún *phylum* nuevo) no han pasado 200 millones de años sin una extinción masiva. Mientras que la más conocida fue la del Cretácico-Terciario, que asociamos a la desaparición de los dinosaurios, la peor de todas fue la del Pérmico-Triásico (hace 250 millones de años) donde



Monte Everest (Himalaya).

www.mountainsotravelphotos.com

“Si la altura del monte Everest representara la edad de la Tierra, el tamaño del último copo de nieve de la cima simboliza la duración de una vida humana”.



Grullas en el cielo de Gallocanta (Zaragoza).

www.wikipedia.org

desaparecieron cerca del 90% de todas las especies que entonces habitaban el planeta. Nadie sabe por qué ocurrió, aunque algunos científicos apuntan a un calentamiento global del planeta debido a una súbita liberación de grandes cantidades de dióxido de carbono por parte de los volcanes. Que en la actualidad hayamos entrado en una sexta extinción es una afirmación controvertida, pero las estimaciones más moderadas realizadas por Peter Raven, de la Academia Nacional de Ciencias norteamericana, sugieren que las dos terceras partes de las especies habrán desaparecido para el año 2300. Y la causa parece ser la expansión incontrolada de una especie bastante prolífica: el *Homo sapiens*.

El conocimiento de lo que sucedió en el pasado de la Tierra proporciona a los científicos las armas necesarias para predecir lo que puede suceder en un futuro lejano. Todos los modelos apuntan a un final de los tiempos con temperaturas en aumento, continua desaparición de las diversas formas de vida y evaporación de los océanos. Y llegará el día en que morirá el último superviviente de todos los organismos vivos. Será muy parecido a la primera forma de vida que apareció sobre el planeta: un ser unicelular. Pero muchas cosas habrán sucedido antes.

Dentro de unas cuantas decenas de miles de años -prácticamente el mismo tiempo que ha pasado desde nuestra época de cazador-recolector- nos encontraremos ante un planeta blanco, donde la nieve cubrirá desde los polos hasta las Montañas de la Luna en África. El nivel del mar, del que hoy tanto preocupa su ascenso, caerá dejando a la vista nuevas costas, uniendo islas con continentes y convirtiendo los golfos en praderas. Los supervivientes de una civilización ya desaparecida no necesitarán usar el túnel del Canal de la Mancha; podrán llegar a Dover andando... si es que pueden soportar el frío. Los pocos humanos vivos posiblemente se acurrucarán alrededor de fuegos de campamento en las zonas ecuatoriales. Estaremos en la siguiente Edad del Hielo, peor que la soportada por cromagnones y neanderthales. Muchos científicos piensan que se está iniciando ahora.

La era de los combustibles fósiles será un mero recuerdo legendario, como el de aquella época en el que el planeta era mucho más cálido. El calentamiento global que perduró unos siglos, destruyó la agricultura y provocó fluctuaciones erráticas del clima fue un simple suspiro en la historia del planeta. Lentamente, los procesos naturales encontraron el camino para reabsorber el dióxido de carbono liberado a la atmós-

“Los pocos humanos vivos posiblemente se acurrucarán alrededor de fuegos de campamento en las zonas ecuatoriales. Estaremos en la siguiente Edad del Hielo, peor que la soportada por cromagnones y neanderthales”.

fera. El regreso a condiciones “normales” duró un tiempo breve. La Humanidad, que floreció durante un breve periodo interglaciar, sentirá en su propia piel la verdadera naturaleza del planeta, la misma que se dejó sentir durante los últimos 3 millones de años: el reinado del hielo. Los humanos vivirán en un mundo más frío y, paradójicamente, más seco. Los bosques y las selvas habrán desaparecido convirtiéndose en sabanas, los graneros del mundo serán secarrazales y los vientos soplarán con fiereza a 200 kilómetros por hora silbando por las planicies que el hielo irá cubriendo inexorablemente. Poco quedará de lo que un día fuera la presuntuosa civilización que creyó dominar el planeta: ni tan siquiera se mantendrán en pie sus orgullosos rascacielos, demolidos por columnas de hielo de medio kilómetro de altura. La supervivencia

será cada vez más complicada; habrá que luchar en demasía para alimentarse. Nuestros descendientes se estarán muriendo de hambre.

Pero la desaparición de la Humanidad no implicará la aniquilación de la vida. Millones de años después de que se pierda en la atmósfera el estertor final del último ser humano, la vida seguirá su curso hacia el Ragnarok. Como en esta batalla final de la mitología nórdica, cuyo resultado final está ya escrito, quién vivirá y quién morirá, el destino de la vida también está prefijado.

En un trabajo pionero de 1982, James Lovelock y Mike Whitfield señalaron que si es peligroso un exceso de dióxido de carbono en la atmósfera, un déficit del mismo es desastroso. Teniendo en cuenta que el Sol, sin prisa pero sin pausa, se va haciendo cada vez más brillante, calcularon que las plantas morirán dentro de 100 millones de años porque los niveles de dióxido de carbono habrán caído por debajo de las 150 partes por millón (hoy es de 350 ppm). Desde entonces diversos científicos han mejorado el modelo de Lovelock-Whitfield, retrasando a 500 millones de años el último día de la vida en la Tierra.



Por su parte Christopher Scotese, de la Universidad de Texas en Arlington, ha calculado qué pasará con nuestros continentes. En los próximos 50 millones de años América se habrá ido alejando de Europa, haciendo un océano Atlántico cada vez más grande. Mientras África acabará embistiendo a Europa, cerrando el Mediterráneo y levantando una cordillera tan alta como el Himalaya. Lo que sucederá después no está tan claro, pero las simulaciones realizadas por el equipo de Scotese apuntan a que la tectónica de placas empezará a encoger el Atlántico, enviando a América en rumbo de colisión contra el ya formado continente Euroafricano, mientras que Australia chocará contra Asia, al igual que el este de África y Madagascar. Finalmente, dentro de 250 millones de años todas las masas continentales volverán a reunirse en un único supercontinente, como hace 250 millones de años, bautizado Pangea Última. ¿Y después? Posiblemente se vuelva a romper y, si como sospecha este geólogo, el proceso es cíclico, volverá a formarse dentro de 750 millones de años.

La vida por entonces no será sencilla. En las latitudes tropicales la temperatura será alta, alrededor de los 40° C, mientras que, a latitudes intermedias, a los calurosos veranos les seguirán inviernos muy fríos, con grandes nevadas y temperaturas de 20 y 30 °C

“A vista de pájaro, el supercontinente no será más que sotobosque, taiga, llanuras, sabanas... El planeta estará mudando el color verde por el marrón”.

.....
www.wikipedia.org

bajo cero. Los aluviones provocados por el deshielo primaveral serán impresionantes. A pesar de ello, las vastedades del interior serán secas pues las nubes de lluvia casi no alcanzarán tierra adentro. Si el supercontinente se crease tras una fase de vulcanismo, que dejaría una atmósfera rica en dióxido de carbono y un planeta caliente, sobre las cálidas aguas oceánicas se formarían enormes huracanes, un 50% más intensos que los actuales y de miles de kilómetros de diámetro, con vientos de 400 km/h.

Alzando la vista al cielo nos parecerá que el Sol luce con más intensidad, y es verdad. Nuestra estrella se hace un 1% más brillante cada 100 millones de años, provocando un aumento continuo de la temperatura. Debido a ello dis-



uncyclopedia.wikia.com

minuirán los niveles de dióxido de carbono en ella, que terminará en los océanos o en las rocas carbonatadas. Según los científicos James Kasting y Ken Caldeira, en 500 millones de años los niveles de dióxido de carbono habrán caído un 40%, la fotosíntesis se encontrará prácticamente desaparecida y el 95% de las especies vegetales a punto de extinguirse. Sólo cactus y arbustos podrán sobrevivir en esas condiciones. Dentro de 900 millones de años no habrá suficiente dióxido de carbono ni siquiera para ellos. Quizá haya aparecido alguna otra forma de fotosíntesis capaz de mantener la vida vegetal, con una atmósfera con el

oxígeno a punto de desaparecer para siempre. A vista de pájaro, el supercontinente no será más que sotobosque, taiga, llanuras, sabanas... El planeta estará mudando el color verde por el marrón.

Por su parte, dentro de 500 millones de años los animales que aún existan tendrán que enfrentarse a la falta de nutrientes y al calor. Cuando la temperatura global del planeta supere los 38° empezarán a morir desde el ecuador y los animales multicelulares emigrarán hacia los polos. Por encima de los 40° de media (lo que implica que en los trópicos será mucho mayor) o han aparecido nuevas especies capaces de soportar semejante calor o la vida animal se enfrentará a la extinción: por encima de los 45°

El último ser vivo

las mitocondrias celulares dejan de trabajar. La vida, acorralada cerca de los polos, deberá ser nocturna, escodiéndose del peligroso Sol. A lo mejor existen animales que hibernen durante el verano para despertar en el invierno de la noche continua. A medida que suba la temperatura, la vida animal subsistirá enterrándose. En superficie únicamente podrán encontrarse bacterias. Cuando se alcancen los 50° de media la extinción será prácticamente total en tierra firme. Protozoos, nemátodos y platelmintos serán los reyes de la creación acompañados de líquenes y musgos. La vida en el mar aún durará algo más.

Dentro de 1.200 millones de años el sol será un 15% más brillante, lo que hará que la temperatura en superficie alcance los 70° C de media y prácticamente todo el dióxido de carbono habrá desaparecido de la atmósfera. El sistema global de circulación de los océanos se habrá detenido con lo que el termostato planetario estará apagado. A pocos cientos de metros bajo la superficie del mar la vida sería imposible de mantener por la ausencia del oxígeno y nutrientes. Mirando al mar no veremos peces; estaremos ante un mar muerto, salvo por las algas verdeazuladas. Fueron las primeras y serán

las últimas en la historia de la vida. El color del mar habrá cambiado debido a la reducción del plancton y un incremento en la cantidad de sedimentos arrastrados por las aguas y las grandes tormentas de polvo: será marrón.

La evaporación acelerada de los océanos incrementará la humedad ambiental. A mayor vapor de agua, mayor temperatura, y la desaparición de los océanos se acelerará. Los animales, muertos por la elevada concentración de sal, dejarán tras de sí inmensas planicies salinas. La deriva continental se habrá detenido definitivamente. En el paraje yermo que nos rodea ningún tipo de vida compleja estará presente. Únicamente las ubicuas bacterias seguirán allí, como al principio de todo. Pero no por mucho tiempo. La radiación ultravioleta esterilizará la superficie y quizá unas pocas puedan esconderse en el subsuelo; quizá descendientes de las del río Tinto, capaces de subsistir sin necesidad del Sol y obteniendo la energía necesaria para mantenerse en pie del hierro.

Las montañas se irán erosionando lentamente debido a los vientos y los pocos riachuelos que aún persistan, medio sepultadas por su propia grava. Imaginarse el delta de Ebro, del Nilo o

del Amazonas recorrido por hilillos de agua es una buena imagen de ese lejano futuro. La radiación ultravioleta de un Sol cada vez más brillante romperá la molécula del agua. La gravedad terrestre no podrá impedir que el hidrógeno se escape al espacio, mientras que el oxígeno será absorbido por las rocas metálicas, sometidas a una presión de cientos de atmósferas. La Tierra se habrá convertido en un planeta oxidado, como Marte en la actualidad. La atmósfera se parecerá más a la de Venus, con nubes de ácido sulfúrico. Quizá la temperatura alcance los 1.000° C, suficiente para convertir la mayoría de la superficie rocosa en ríos o mares de magma. De este modo es como la Tierra se enfrentará a su irremediable final.

Miguel Ángel Sabadell

Editor de Ciencia de la revista MUY INTERESANTE

