



*con* CIENCIAS.digital

Revista de divulgación científica de la Facultad de Ciencias de Zaragoza

<http://ciencias.unizar.es/web/conCIENCIASnumero11.do>

Nº 11 MAYO 2013

# CIENCIA: EL CAMINO SIN FIN

## Redacción

### DIRECCIÓN:

- Ana Isabel Elduque Palomo

### SUBDIRECCIÓN:

- Concepción Aldea Chagoyen

### DISEÑO GRÁFICO Y MAQUETACIÓN:

- Víctor Sola Martínez

### COMISIÓN DE PUBLICACIÓN:

- Luis Alberto Anel Bernal
- Jesús Anzano Lacarte
- 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](mailto:web.ciencias@unizar.es)

IMPRESIÓN: GAMBÓN Gráfico, Zaragoza.

DEPÓSITO LEGAL: Z-1942-08

ISSN: 1888-7848 (Ed. impresa)

ISSN: 1989-0559 (Ed. digital)

Imágenes: fuentes citadas en pie de foto.

Portada: montaje a partir de diversas imágenes.

Fotografías presentadas al Premio San Alberto Magno (Cristina Marco - *Mohos, paisajes microscópicos*; Ana Serrano - *Boreal: pintar con luz*) y <http://extremeinstability.com>.

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

## Editorial

	2
<u>Ernest Rutherford: padre de la Física Nuclear y alquimista</u> Pascual Román	4
<u>La Prevención de Riesgos en Laboratorios de Química</u> Antonio Blein	20
<u>Reconstruyendo el mundo perdido de los dinosaurios</u> Grupo Aragosaurus	32
<u>El origen de la Teoría Cuántica del átomo. Niels Bohr, 1913</u> Luis Joaquín Boya	50
<u>Másteres: pasado, presente y futuro</u> Ana Isabel Elduque	66
<u>Estancias de verano para estudiantes</u> Marta Bolsa	78
<u>El cambio global y el Antropoceno; más allá del clima</u> Viola Bruschi, Jaime Bonachea, Juan Remondo, Luis M. Forte, Martín Hurtado y Antonio Cendrero	84
<u>Noticias y actividades</u>	100



Ciencia: el camino sin fin

**Y**a han pasado más de cincuenta años de este edificio y más de cinco desde que se inició este proyecto de conCIENCIAS. Quizá no sea demasiado si lo miramos con una perspectiva histórica, y menos aún si tenemos en cuenta el tiempo geológico que usa habitualmente uno de los autores de este número. Pero en la vida de esta España, bastante atribulada, de hoy en día, este lapso es enorme. Proviene desde los inicios de esta crisis social y económica que no parece tener fin.

Nuestros autores también parece que se han fijado en el tiempo como hilo conductor. Dos grandes de la Ciencia, Rutherford y Bohr, lle-

nan parte de nuestras páginas. Pero como a nuestro país, a ellos también les ocurrió que sus aportaciones, tremendamente innovadoras y casi revolucionarias en su momento, quedaron, en el breve periodo de unos pocos años, como simples elementos introductores de la nueva Física, la del s. XX, que todo lo revolucionó.

También se aprecia el concepto de tiempo en otros dos de nuestros escritores de hoy. Los dinosaurios son testigo y ejemplo de lo poco que significa ser la especie dominante (no sé si alguien del pensamiento único leerá este artículo, pero podría servir para que sacara conclusiones). Su tiempo fue largo y, quizá gracias a ello, hoy podemos lograr que voluntariosos

paleontólogos nos cuenten algo de verdad sobre aquel mundo extinto que hoy corre el riesgo de ser recordado solo a través de las fabulaciones y ensoñaciones de Hollywood.

El cambio climático se asoma a nuestra revista una vez más, pero esta vez desde un punto de vista no tan convencional como el que suele ser más frecuente. El artículo nos muestra, siempre basado en pruebas y hechos científicos, que el origen antropogénico del actual cambio climático es la explicación más plausible del fenómeno.

Pero como es habitual en nuestra publicación, siempre añadimos cosas. En este número aparecen dos artículos de muy diferente naturaleza e intención, pero con los que el Consejo Editorial ha querido indicar, una vez más, nuestra apertura a nuevas temáticas y planteamientos. En estos momentos en que la emigración de nuestros jóvenes fuera de nuestras fronteras está convirtiéndose en una realidad casi cotidiana, la experiencia de una estancia en el programa Erasmus de una de nuestras estudiantes es un testimonio en primera persona de qué significa estar fuera del entorno habitual, escolar y familiar.

También hemos publicado un artículo sobre recomendaciones de seguridad en el laboratorio. Durante el curso se llevan a cabo ejercicios de evacuación de la Facultad. Si dichos ejercicios no se complementan con unas medidas correctas de seguridad y con unas buenas prácticas de trabajo, nada de lo aprendido será útil, ya que es bien conocido, pero escasamente aplicado, que solo la reducción y eliminación de riesgos es realmente válida para la prevención de accidentes.

**“Ya han pasado más de cinco años desde que se inició este proyecto de conCIENCIAS. En la vida de esta España, bastante atribulada, de hoy en día, este lapso es enorme.”**

Finalmente quiero señalaros que me he permitido plasmar en algunas páginas una reflexión sobre un tema que, estoy segura, va a adquirir enorme importancia en breve: los másteres, su significado, importancia e implicación en el proceso educativo superior. Hasta ahora, el tema está restringido a aspectos casi exclusivamente académicos y administrativos pero, cuando los titulados que accedan a los mercados de trabajo procedan todos del sistema EEES, los másteres van a trascender el mundo puramente universitario. Y, en este caso, el terreno de juego ya se ha ampliado a toda la Unión Europea. Dejo aquí mis primeras reflexiones.

Espero que este número sea del agrado de todos y, como siempre, recibid un “hasta el próximo número de conCIENCIAS”.

Ana Isabel Elduque Palomo  
Directora de conCIENCIAS



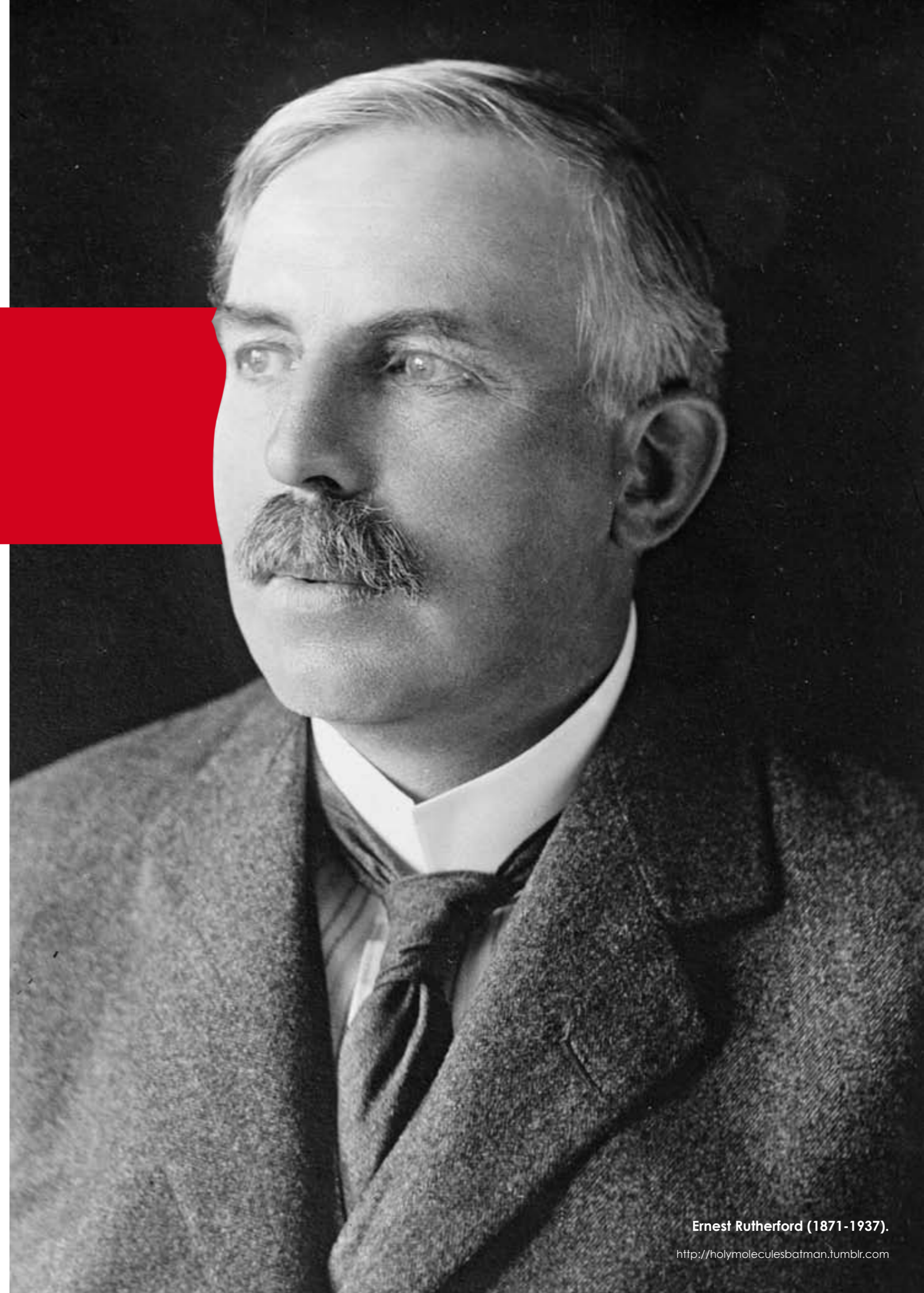
Facultad de Ciencias,  
Universidad de Zaragoza.  
Fotografía de la Facultad de Ciencias.

# ERNEST RUTHERFORD:

## PADRE DE LA FÍSICA NUCLEAR Y ALQUIMISTA

“...su concepción de la Ciencia la dejó  
plasmada en su célebre frase:  
*Toda la Ciencia es o Física o Filatelia.*”

**POR PASCUAL ROMÁN**



Ernest Rutherford (1871-1937).

<http://holymoleculesbatman.tumblr.com>

## Ernest Rutherford: padre de la Física Nuclear y alquimista

Los acontecimientos del Año Internacional de la Química de 2011, entre los cuales se conmemoró la concesión del Premio Nobel de Química de 1911 a Marie Curie (1867-1934), tal vez, hayan ocultado otros grandes eventos científicos como el descubrimiento del núcleo atómico por Ernest Rutherford en ese mismo año.

Cuando Ernest Rutherford recibió el Premio Nobel de Química en 1908 "por sus investigaciones sobre la desintegración de los elementos y la química de las sustancias radiactivas" comentó con sarcasmo: "He hecho muchas transmutaciones en mi vida, pero ninguna tan rápida como la que me ha convertido en químico". En realidad, su concepción de la Ciencia

la dejó plasmada en su célebre frase: "Toda la Ciencia es o Física o Filatelia". No estaba muy satisfecho con la concesión de este premio. Él hubiera deseado el Premio Nobel de Física. Sin embargo, aquel año fue a parar a manos de Gabriel Lippmann (1845-1921) "por su método de reproducir colores fotográficamente basado en el fenómeno de la interferencia", método utilizado profusamente por Santiago Ramón y Cajal (1852-1934, Premio Nobel de Medicina o Fisiología de 1906) en sus fotografías. Además, Lippmann fue el presidente del tribunal que juzgó la tesis doctoral de Marie Curie que defendió el 12 de junio de 1903 en la Sorbona.

Para muchos autores Rutherford es el científico más extraordinario desde Michael Faraday (1791-1867), padre del electromagnetismo, con quien se le ha comparado por su gran habilidad experimentadora y comparable a Isaac Newton (1642-1727). Después de Faraday no ha habido ningún científico con la habilidad de Rutherford que pudiera igualarle. Ambos tenían en común que procedían de familias modestas.

**"He hecho muchas transmutaciones en mi vida, pero ninguna tan rápida como la que me ha convertido en químico."**

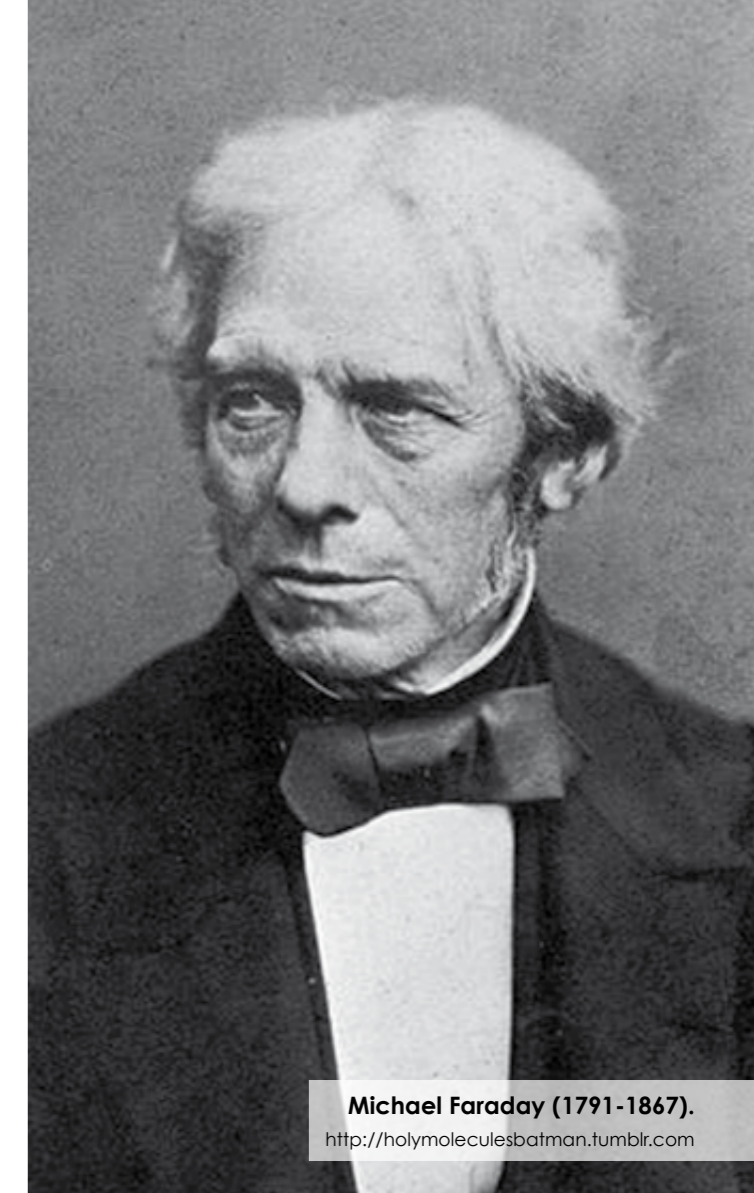
Ernest Rutherford

Ernest Rutherford.

es.wikipedia.org

El pequeño Ernest nació en Spring Grove (ahora Brighwater), provincia de Nelson, Nueva Zelanda, en la colonia más alejada del Imperio Británico, el 31 de agosto de 1871. Era el cuarto hijo, el segundo niño, de una familia de 12 hermanos. Su padre, James Rutherford, era granjero, cultivador de lino, y carretero, construía y reparaba carros y carretas. Su madre, Martha Thomson, era maestra de escuela y los dos padres eran emigrantes procedentes de Gran Bretaña, cuyas familias emigraron a Nueva Zelanda siendo niños. En 1866, contrajeron matrimonio. En 1877, la familia se trasladó a Foxhill, provincia de Nelson, donde asiste a la escuela primaria, aquí permanecerá hasta 1883. Este año la familia se desplaza a Havelock, Marlborough Sounds, y su hermano Percy fallece de tosferina. Asiste a la escuela pública de Havelock y destaca en Matemáticas y Ciencias. En 1886, sus hermanos Herbert y Charles se ahogan en Marlborough Sounds. Al año siguiente gana una beca que le permite estudiar en el Nelson College desde 1887 hasta 1889. Este año obtiene una beca para estudiar en la Universidad de Nueva Zelanda. Asiste a las clases del Canterbury College en Christchurch donde encuentra excelentes profesores que le animarán en el estudio de las Matemáticas y las Ciencias. En 1892, concluye sus estudios y obtiene el grado de BA (*Bachelor of Arts*) y desarrolla un dispositivo que permitía interrumpir los circuitos en menos de cien milésimas de segundo en 1893. Este mismo año concluye su MA (*Master of Arts*) con doble mención de primera clase en Matemáticas y en Física. Un año más tarde termina su BSc (*Bachelor of Sciences*) en Química y Geología y publica su primer artículo científico *Magnetization of Iron by High-Frequency Discharges*. Extiende su investigación al estudio de las altas frecuencias con descargas en botellas de Leyden y un oscilador de Hertz. También desarrolla un detector magnético de impulsos muy cortos. En 1895, publica el artículo *Magnetic Viscosity* en la revista *Transactions of the New Zealand Institute*.

En 1895, Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923) descubre los rayos X el 8 de noviembre en la Universidad de Würzburg por lo que recibirá el primer Premio Nobel de Física en 1901. Hay que destacar que renunció a patentar su invención que le hubiera hecho inmensamente rico. Röntgen envió copias de su informe a sus amigos físicos europeos. El 20 de enero de 1896 Henri Poincaré mostró sus radiografías a sus colegas de la Academia de Ciencias de París. Entre los asistentes se encontraba Henri Becquerel (1852-1908, Premio Nobel de Física en 1903, compartido con los esposos Curie). En febrero de 1896, Becquerel descubre accidentalmente la radiactividad espontánea mientras investigaba la fosforescencia de las sales de uranio, que presenta en la sesión del 24 de febrero en la Academia de Ciencias de París y publica sus investigaciones en la revista *Comptes Rendues* con el título "Sur les radiations émises par phosphorescence".



Michael Faraday (1791-1867).  
<http://holymoleculesbatman.tumblr.com>



## Ernest Rutherford: padre de la Física Nuclear y alquimista



Antiguo Canterbury College, Christchurch (Nueva Zelanda).

<http://holymoleculesbatman.tumblr.com>

1895 es el año en el que Rutherford es becado por *The Royal Commission for the Exhibition of 1851*, establecida en 1850 por la Reina Victoria para organizar la Gran Exposición de 1850, que obtuvo sustanciosos beneficios, una parte de ellos se destinaron a crear becas para jóvenes brillantes. Esta beca le permitía estudiar en cualquier parte del mundo con el fin de desarrollar una investigación relevante para las industrias de Nueva Zelanda. Cuando recibió un telegrama del gran físico británico Joseph

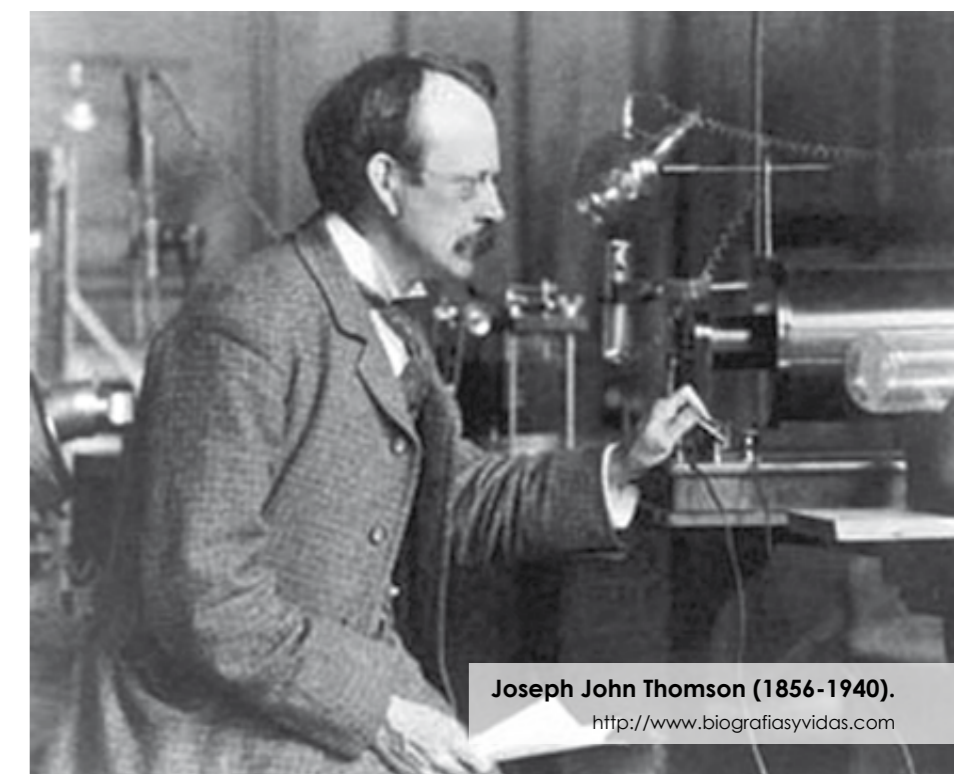
John Thomson (1856-1940, Premio Nobel de Física en 1906) para investigar en el Laboratorio Cavendish de la Universidad de Cambridge inmediatamente arrojó la pala con la que estaba ayudando a su padre en la granja cavando patatas y dijo: "Esta es la última patata que cavo en mi vida". Rutherford tuvo mucha suerte porque fue el primer egresado de otra universidad en disfrutar el cambio de las reglas de la Universidad de Cambridge lo que le permitió acceder a ella para obtener un gra-

do de BA (*Bachelor of Arts*) tras dos años de estancia. Fue invitado a trabajar con Thomson sobre la conducción eléctrica de los gases, los recientemente descubiertos rayos X y le permitió continuar con sus investigaciones sobre el magnetismo. En 1896, Rutherford establece el récord mundial de la distancia a la que las ondas "inalámbricas" habían sido detectadas. En 1897, publica el artículo *A Magnetic Detector of Electrical Waves and Some of its Applications*. El 30 de abril de 1897, Thomson descubre la existencia del electrón en la Universidad de Cambridge, el primer objeto más ligero que un átomo. En 1898, Rutherford encuentra en la Universidad de Cambridge que los rayos emitidos por los materiales radioactivos son de dos tipos principales, que denomina alfa y beta, e indica algunas de sus propiedades más relevantes, por lo que recibió el Premio Nobel de Química en 1908. En septiembre de 1898 llega a Canadá donde permanecerá hasta 1907. Fue nombrado catedrático de Física (a

los 27 años recién cumplidos) en la Universidad McGill de Montreal. Thomson se refería a su discípulo Rutherford con estas hermosas palabras: "Nunca he tenido un estudiante con más entusiasmo y habilidad para el trabajo de investigación original que Mr. Rutherford".

En 1899, Rutherford demuestra el principio en el que están basados los modernos detectores de humos y descubre un gas radiactivo, un isótopo del radón, que, más tarde, sería llamado torón. El 28 de junio del año siguiente, se casa con Mary Georgina Newton (1876-1945) en Christchurch (Nueva Zelanda) y es elegido miembro de la *Royal Society of Canada*. Ese mismo año se incorpora Frederick Soddy (1877-1956, Premio Nobel de Química en 1921) a su laboratorio procedente de la Universidad de Oxford. Su única hija, Eileen Mary (1901-1930), nace en 1901 y es nombrado DSc (*Doctor in Science*) por la Universidad de Nueva Zelanda. En 1902, Rutherford anuncia formalmente que

**"Fue invitado a trabajar con Thomson sobre la conducción eléctrica de los gases, los recientemente descubiertos rayos X y le permitió continuar con sus investigaciones sobre el magnetismo."**



Joseph John Thomson (1856-1940).

<http://www.biografiasyvidas.com>

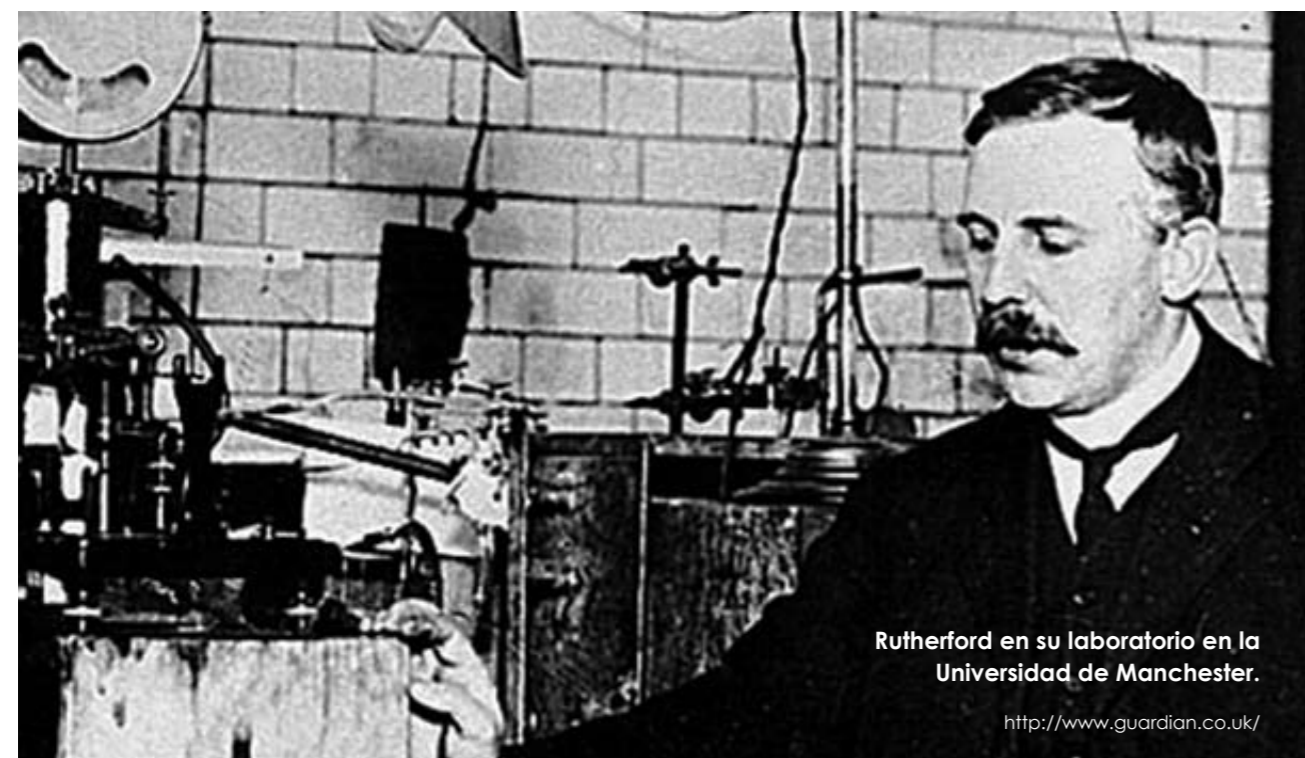
## Ernest Rutherford: padre de la Física Nuclear y alquimista

"la radiactividad es una manifestación de un cambio subatómico" por lo que se le considera el padre de la Física Nuclear. Al año siguiente es elegido miembro de la *Royal Society of London*. En 1904, es galardonado con la Medalla Rumford concedida por la *Royal Society of London*, su primer premio científico más importante al que seguirían muchos otros más, y publica su gran obra *Radio-activity* (Cambridge, 1904; 2ª edición, 1905). En 1905, sus trabajos de determinación sobre la edad de la Tierra reconcilian a geólogos y físicos y realiza una visita a su familia en Nueva Zelanda. Durante el periodo 1905-1906, Otto Hahn trabaja bajo su supervisión en el Laboratorio de Montreal, quien

**"En 1908, Rutherford inventa el detector Rutherford-Geiger para la ionización de partículas y es galardonado con el Premio Nobel de Química."**

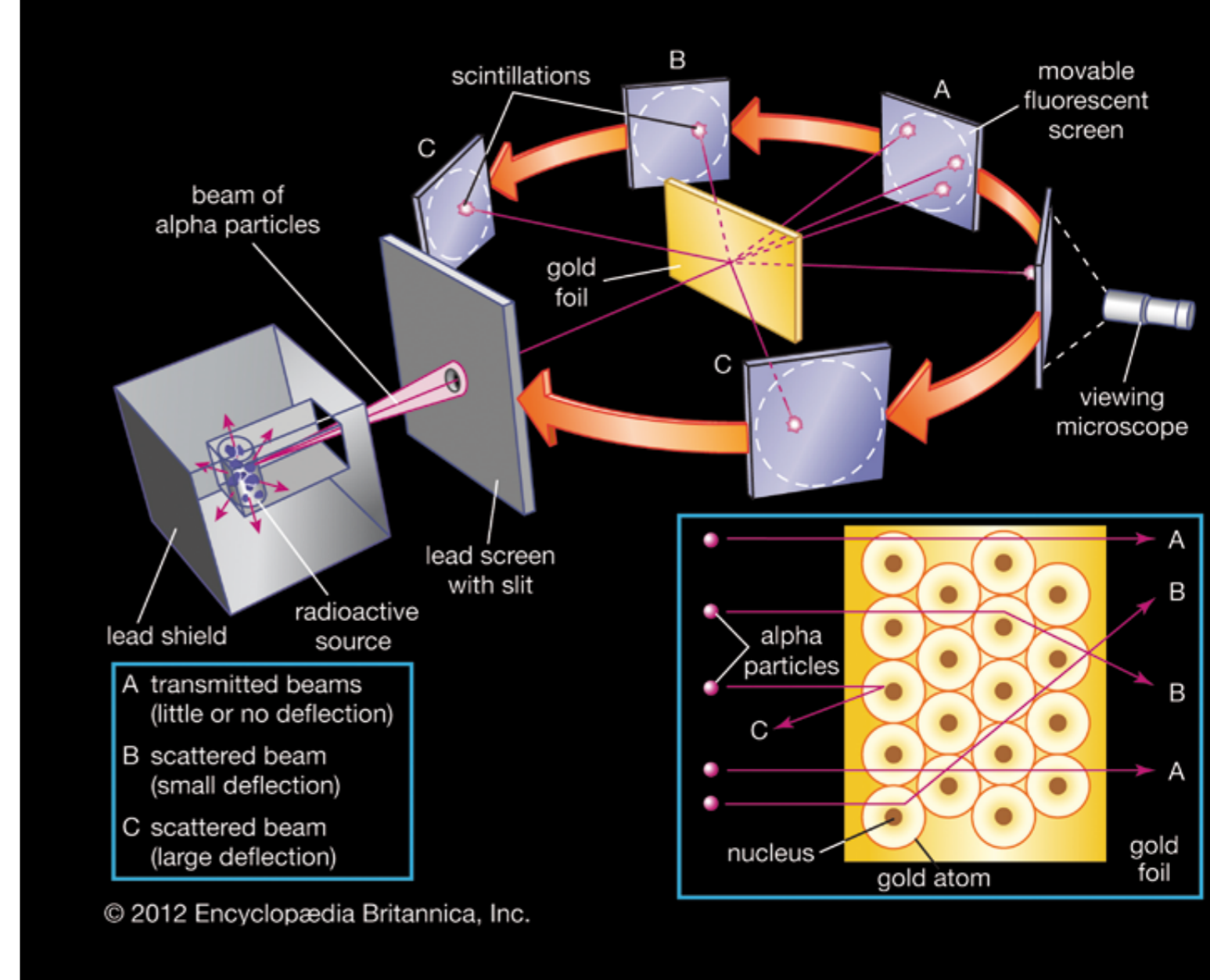
más tarde codescubrió la fisión nuclear. Publica su obra *Radioactive Transformations* (Londres, 1906). En 1907, se incorpora, acompañado de Hans Geiger (1882-1945), a la Universidad Victoria de Manchester donde permanecerá hasta el año 1919. En 1908, Rutherford inventa el detector Rutherford-Geiger para la ionización de partículas y es galardonado con el Premio Nobel de Química. El 11 de diciembre pronunció la obligada conferencia Nobel con el título "La naturaleza química de las partículas alfa procedentes de las sustancias radiactivas".

Rutherford dejó acuñadas frases para la posteridad sobre los experimentos y la Física. Así, refiriéndose a los primeros dijo: "Si su experimento necesita de la estadística, entonces usted debería haber realizado un experimento mejor". En cuanto a su concepción de la Física señaló: "Toda la Física es o imposible o trivial. Es imposible hasta que usted lo entiende, y entonces se vuelve trivial". Se cuenta una anéc-



Rutherford en su laboratorio en la Universidad de Manchester.

<http://www.guardian.co.uk/>



### Experimento de la lámina de oro y la desviación de las partículas alfa.

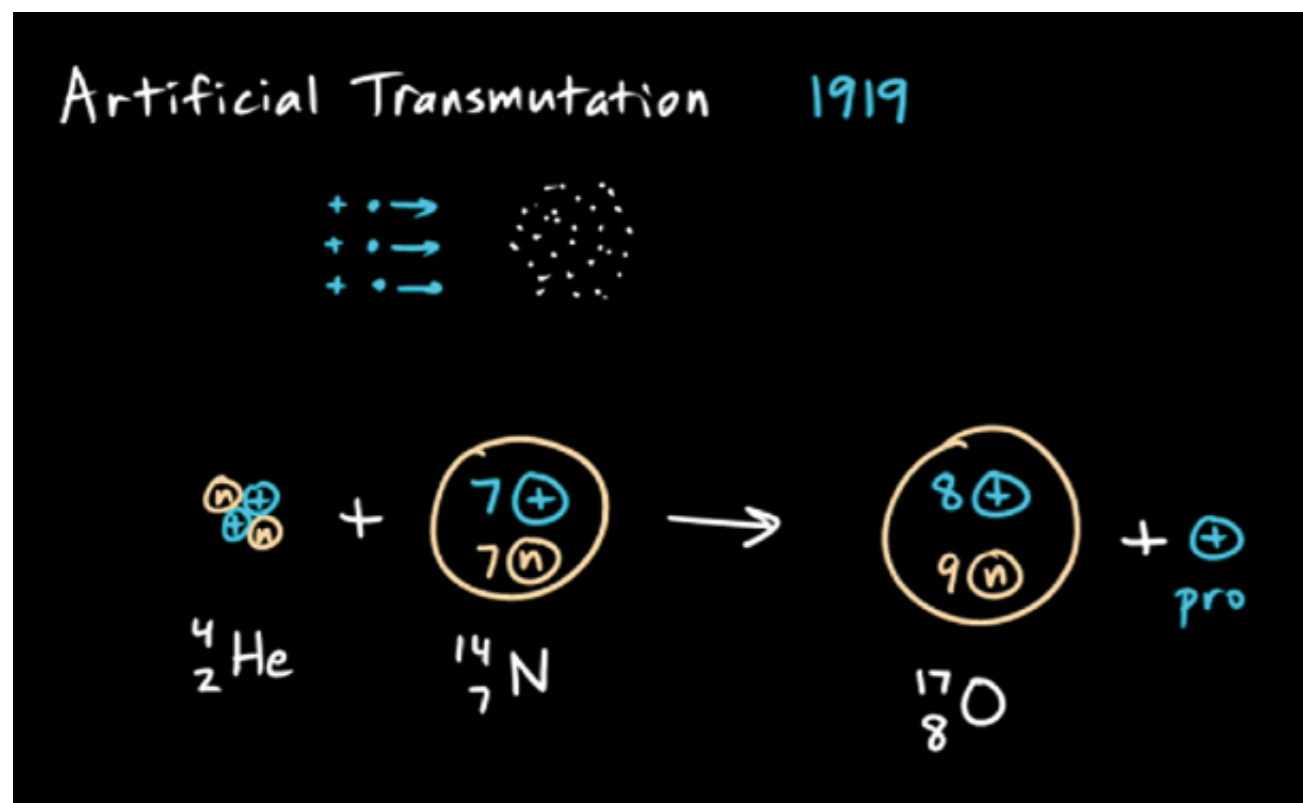
Encyclopædia Britannica, Inc.

dota de Rutherford sobre uno de los estudiantes de su laboratorio que era muy trabajador y Rutherford había reparado en ello. Una tarde le preguntó: "¿Trabaja usted también por las mañanas?". "Sí", respondió lleno de orgullo el estudiante en la seguridad de que sería elogiado por su maestro. Sin embargo, Rutherford le respondió: "Entonces, ¿cuándo piensa?".

Rutherford y Geiger con la colaboración de Ernest Marsden (1889-1970) inician el experimento de la lámina de oro y el estudio de la desviación de las partículas alfa en 1909. Al año siguiente adquiere su primer coche y fallece su hermana Alice. En 1911, descubre la estruc-

tura nuclear del átomo, la que fue, sin duda alguna, su principal aportación a la Ciencia. En abril, establece su famoso modelo atómico semejante al sistema solar y desplaza al modelo del pastel de ciruela (*plum cake model*) de Kelvin-Thomson de 1898. También participa en el Primer Congreso Solvay que se celebró en Bruselas entre el 30 de octubre y 3 de noviembre de 1911. Al año siguiente, Niels Bohr (1885-1962, Premio Nobel de Física en 1922) se une a Rutherford en Manchester y adapta la estructura nuclear de Rutherford a la teoría cuántica de Planck. Publica *Radioactive Substances and their Radiations* (Cambridge, 1913). Es nombrado caballero, Sir Ernest Rutherford, en

## Ernest Rutherford: padre de la Física Nuclear y alquimista



### Transmutación artificial de nitrógeno en oxígeno.

<http://bit.ly/xYHolw>

1914 y visita la Universidad de Nueva Zelanda donde consigue la aprobación para construir el Departamento de Física en Canterbury College (Nueva Zelanda). El 28 de julio de 1914 estalla la Primera Guerra Mundial que finaliza el 11 de noviembre de 1918. Durante el periodo 1915-1917 desarrolla una investigación pionera sobre métodos acústicos para la detección del sonido de los submarinos y colabora con el Almirantazgo británico. Rutherford y William Henry Bragg (1862-1942, Premio Nobel de Física en 1915) patentan en 1916 un aparato para la determinación de la dirección del sonido de los submarinos y proclama públicamente que esperaba que la humanidad no debería descubrir la manera de extraer la energía a partir del núcleo hasta que el hombre viva en paz con

su vecino. Lo que demuestra su deseo de aplicar la Ciencia con fines pacíficos, aunque sin descuidar su sentimiento patriótico de desarrollar equipos militares para ponerlos al servicio de su país. En 1917, lidera la delegación aliada en Estados Unidos para transferir el conocimiento sobre las armas antisubmarinas.

En 1919 se incorpora como Director del Laboratorio Cavendish de la Universidad de Cambridge para sustituir a Thomson en el que permanecerá hasta su muerte. Ese mismo año descubre la existencia del protón y le da este nombre en 1920. A Rutherford se le considera el primer alquimista del mundo al lograr transformar con éxito un átomo no radiactivo, el nitrógeno, en otro elemento no radiactivo, el oxígeno,

no, liberando una partícula sencilla: un protón. Es elegido el primer miembro del *New Zealand Institute*, en la actualidad *The Royal Society of New Zealand*.

Predice la existencia del neutrón (1920), que fue descubierto 12 años más tarde (1932) por uno de sus discípulos, James Chadwick (1891-1974, Premio Nobel de Física en 1935). Su discípulo Frederick Soddy recibe el Premio Nobel de Química en 1921 "por sus notables contribuciones al conocimiento de la química radiactiva y las investigaciones sobre la existencia y naturaleza de los isótopos". En 1923, es nombrado Presidente de la Asociación Británica para el Avance de la Ciencia. Un año más tarde, sus discípulos neozelandeses Edward Victor Appleton (1892-1965) y Miles Barnett (1901-1979) prueban la existencia de la ionosfera. Appleton recibió el Premio Nobel de Física en 1947 por este hallazgo. Durante el periodo 1925-1930 preside la *Royal Society of London*. Recibe la Orden de Mérito

el 1 de enero de 1925 y visita Australia y Nueva Zelanda. Crea el *Department of Scientific and Industrial Research* (DSIR) de Nueva Zelanda en 1926. Dos años más tarde, muere su padre y en 1930 fallece su hija Eileen Mary, dos días antes de Navidad. Ambas muertes le produjeron una gran impresión. Además, publica *Radiations from Radioactive Substances* en colaboración con Chadwick y Ellis (Cambridge, 1930). En 1931, es elevado a la dignidad de Par, el día de Año Nuevo, con el título de Lord Rutherford de Nelson. Al año siguiente, sus discípulos John Douglas Cockcroft (1897-1967) y Ernest T. S. Walton (1903-1995) usan un acelerador de partículas para romper el átomo. En 1951, recibieron el Premio Nobel de Física "por su trabajo pionero en la transmutación de los núcleos atómicos acelerados artificialmente por partículas atómicas". En 1933, Rutherford publica el artículo *Artificial Transmutation of the Elements* en la revista *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada* y su discípulo Patrick M. S.



**“El 1 de enero de 1931, es elevado a la dignidad de Par con el título de Lord Rutherford de Nelson.”**

Placa conmemorativa en recuerdo de Lord Rutherford en la Universidad Victoria de Manchester.

<http://www.flickr.com/Bolckow>



## Ernest Rutherford: padre de la Física Nuclear y alquimista



Rutherford y algunos de los miembros de su laboratorio en la Universidad Victoria de Manchester en 1910.

<http://bit.ly/MfdK6v>

**“El elemento químico rutherfordio (Z = 104) fue nombrado en 1997 en su honor.”**

Blackett (1897-1974) descubre el positrón por lo que es galardonado con el Premio Nobel de Física en 1948 “por su desarrollo del método de cámara de niebla de Wilson, y sus descubrimientos con la misma en los campos de la física nuclear y la radiación cósmica”.

De 1931-1933 preside el *Institut of Physics*. Durante el periodo 1933-1937 preside el Consejo de Asesoramiento Académico. En colaboración con Mark Oliphant (1901-2000) descubre los isótopos  $^3_1\text{H}$  (tritio) y  $^3_2\text{He}$ . En 1935, fallece su madre e inaugura los laboratorios LMS Research Labs en Derby (Gran Bretaña). En 1936, es nombrado Faraday Lecturer por la *Chemical Society*. Un año después, publica su interesante libro *The Newer Alchemy* (Cambridge, 1937). Fallece el 19 de octubre de 1937 en Cambridge a la edad de 66 años, un año antes del descubrimiento de la fisión nuclear. Sus restos reposan en la Abadía de Westminster junto a los de Sir Isaac Newton y William Thomson, Lord Kelvin (1824-1907).

El periódico estadounidense *The New York Times* publicó un elogio que acompañaba la inesperada noticia de su fallecimiento que decía: “Se da a pocos hombres el honor de lograr la inmortalidad y, menos aún,

de alcanzar el Olimpo de los dioses, durante su propia vida. Lord Rutherford logró ambas cosas. En una generación, que fue testigo de una de las más grandes revoluciones en la Historia de la Ciencia, fue reconocido universalmente como el explorador principal del vasto e infinitamente complejo universo dentro del átomo, un universo que él fue el primero en penetrar”. El elemento químico rutherfordio (Z = 104) fue nombrado en 1997 en su honor para honrar su memoria. Uno de sus biógrafos, John Campbell ha escrito: “Ernest Rutherford es uno de los científicos más ilustres de todos los tiempos. Él es al átomo lo que Darwin a la evolución, Newton a la mecánica, Faraday a la electricidad y Einstein a la relatividad. Su camino desde la infancia rural a la inmortalidad es fascinante”.

Los maestros que guiaron su formación fueron: Alexander William Bickerton (1842-1929), mentor de Rutherford y profesor de Química en Canterbury College, Christchurch, Nueva Zelanda, Charles Henry Herbert Cook (1843-1910), profesor de Matemáticas en Canterbury College y Joseph John Thomson, descubridor del electrón y Premio Nobel de Física en 1906.

Rutherford fue el creador y animador de una gran escuela de científicos durante sus estancias en la Universidad McGill de Montreal, la Universidad Victoria de Manchester y el Laboratorio Cavendish de la Universidad de Cambridge. A estos centros acudieron científicos venidos desde distintos países como Alemania, Australia, Canadá, Dinamarca, Estados Unidos de América, Gran Bretaña, Irlanda, Nueva Zelanda, Pakistán, Polonia y Rusia.

Entre el gran número de discípulos directos, doctorandos y otros discípulos distinguidos se pueden destacar, además de Henry Gwyn Jeffreys Moseley (1887-1915), que murió a los 27 años en la batalla de Galípoli el 10 de agosto de 1915, y a quien se considera el segundo padre de la tabla periódica, los diez que fueron galardonados con el Premio Nobel de Física o de Química: Frederick Soddy, (1877-1956, Premio Nobel de Química en 1921), Otto Hahn (1879-1968, Premio Nobel de Química en 1944), Niels H. D. Bohr (1885-1962, Premio Nobel de Física en 1922), James Chadwick (1891-1974, Premio Nobel de Física en 1935), Edward Victor Appleton (1892-1965, Premio Nobel de Física en 1947), Piotr Leoníдовich Kapitsa, (1894-1984, Premio Nobel de Física en 1978), Patrick M. S. Blackett (1897-1974, Premio Nobel de Física en 1948), John Douglas Cockcroft (1897-1967, Premio Nobel de Física en 1951), Cecil Frank Powell (1903-1969,



Estadua dedicada a Rutherford en su localidad natal, Brightwater (Nueva Zelanda).

[es.wikipedia.org](https://es.wikipedia.org)

## Ernest Rutherford: padre de la Física Nuclear y alquimista

Premio Nobel de Física en 1950), Ernest T. S. Walton (1903-1995, Premio Nobel de Física en 1951).

Cuando en 1931 Rutherford fue nombrado Barón de Nelson adoptó el escudo de armas que se muestra en la figura anexa. Destacan en él, los dos personajes que custodian el escudo: el de la izquierda es Hermes Trismegisto, personaje mítico asociado con la hermética greco-egipcia, la búsqueda del conocimiento y patrón de los alquimistas, y el de la derecha es un guerrero maorí. El lema en latín tomado del poeta y filósofo romano Tito Lucrecio Caro (ca. 99 a. C.-ca. 55 d. C.): "Primordia quaerere rerum" ("Buscar los primeros principios de las cosas"). Del escudo cuelga la cruz de la Orden de Mérito sujeta con una cinta. Coronan el escudo un pájaro kiwi que se apoya sobre una corona de barón.



Escudo de armas de Lord Ernest Rutherford, primer barón Rutherford de Nelson.

<http://bit.ly/MPCqOc>

¿Cómo era Rutherford? Según sus biógrafos, era una persona que disfrutaba de la vida familiar y de la compañía de sus innumerables amigos. Gustaba de los viajes para visitar laboratorios científicos y hablar con los hombres de ciencia y estado y formar parte de los comités editoriales de numerosas revistas. Entre sus aficiones destacan: cortar árboles, jugar al golf, conducir automóviles y usar explosivos para abrir agujeros para plantar arbustos. Era una persona muy cordial, amable y siempre estaba disponible, a la par que era ambicioso, orgulloso de sus logros y honores, muy seguro de sí mismo, arrogante y soberbio. Sintió profundamente las muertes de sus seres queridos, en particular, la de su hija Eileen Mary.

¿Cuáles fueron las claves del éxito de Rutherford? Era capaz de acometer un problema desde diversas perspectivas. Los descubrimientos importantes no eran debidos a ráfagas repentinas de inspiración, cada uno de ellos era el resultado de un duro trabajo experimental y de una persistente reflexión. Tenía una gran inspiración para detectar y resolver los problemas. Era muy rápido en discernir cuándo una hipótesis se estaba cumpliendo. Se centraba en los aspectos relevantes. Evitaba perder el tiempo, le gustaba ir derecho al asunto esencial. Era muy hábil en descubrir cuándo algo inesperado estaba ocurriendo y decidía si aquello era signifi-

**“¿Cómo era Rutherford? Según sus biógrafos, era una persona que disfrutaba de la vida familiar y de la compañía de sus innumerables amigos.”**

cativo o no. Sabía interpretar cuándo bastaban las medidas experimentales aproximadas y cuándo era preciso obtener resultados exactos, aunque fuera un trabajo muy laborioso. Era muy hábil en el diseño y empleo de sencillos aparatos, si le servían para sus fines, pero impulsaba el desarrollo de técnicas más elaboradas cuando eran necesarias.

Participó activamente en los Congresos Solvay de Física 1º: "La teoría de la radiación y los cuantos" (1911), 2º: "La estructura de la materia" (1913), 3º: "Átomos y electrones" (1921), 4º: "Conductividad eléctrica de los metales y problemas relacionados" (1924) y 7º: "Estructura y propiedades de los núcleos atómicos" (1933). Estos congresos están considerados la cumbre del saber científico de la época. No asistió a los Congresos Solvay 5º: "Electrones y fotones" (1927) y 6º: "El magnetismo" (1930), aunque si estuvieron presentes algunos de sus discípulos y colaboradores. El 8º Congreso Solvay de Física "Las partículas elementales" se celebró en 1948 tras la muerte de Rutherford (1937).

Recibió importantes reconocimientos científicos. Además de la Medalla Rumford (1904), concedida por la Royal Society para reconocer un descubrimiento reciente en el campo de las propiedades térmicas u ópticas realizado por un científico trabajando en Europa, y el Premio Nobel de Química (1908), que otorga la Real Academia de Ciencias Sueca, fue galardonado con la Medalla Elliott Cresson (1910), la más alta distinción del Instituto Franklin de los EE UU, la Medalla Matteucci (1913), concedida por la Sociedad Italiana de Ciencias para premiar a

### BIBLIOGRAFÍA

- Adaptación de la conferencia impartida por: Pascual Román, *La escuela de Rutherford*. Henry Moseley, IV Escuela de Verano sobre Historia de la Química, "Materia y radiación. La ciencia en la frontera de los siglos XIX y XX", Universidad de La Rioja, Logroño, 4-6 de julio de 2012.
- Badash L., *Ernest Rutherford, Baron Rutherford of Nelson*, *Encyclopædia Britannica*. *Encyclopædia Britannica Online Academic Edition*. Encyclopædia Britannica Inc., 2012, <http://bit.ly/OciUyM>, visitada el 01/08/2012.
- Badash L., *Rutherford, Ernest*, *Complete Dictionary of Scientific Biography*, 2008, *Encyclopedia.com*, <http://bit.ly/PqLBnG>, visitada el 01/08/2012.
- Campbell J., *Rutherford: A brief biography*, <http://bit.ly/jGgM0t>, visitada el 30/07/2012.
- Campbell J., *Rutherford: Scientist Supreme*, AAS Publications, Christchurch, New Zealand, 1999.
- Congrès Solvay, Wikipédia, <http://bit.ly/MWmn23>, visitada el 30/07/2012.
- Cragg R. H., *Lord Ernest Rutherford of Nelson (1871-1937)*, *R. Inst. Chem., Rev.* 1971, 4 (2), 129-145.
- Heilbron J. L., *Ernest Rutherford: And the Explosion of Atoms*, Oxford University Press, Oxford, 2003.
- McLintock A. H., editor, *Rutherford Sir Ernest (Baron Rutherford of Nelson, O.M., F.R.S.)*, An Encyclopaedia of New Zealand, originally published in 1966, <http://bit.ly/M5Mmlo>, visitada el 30/07/2012.

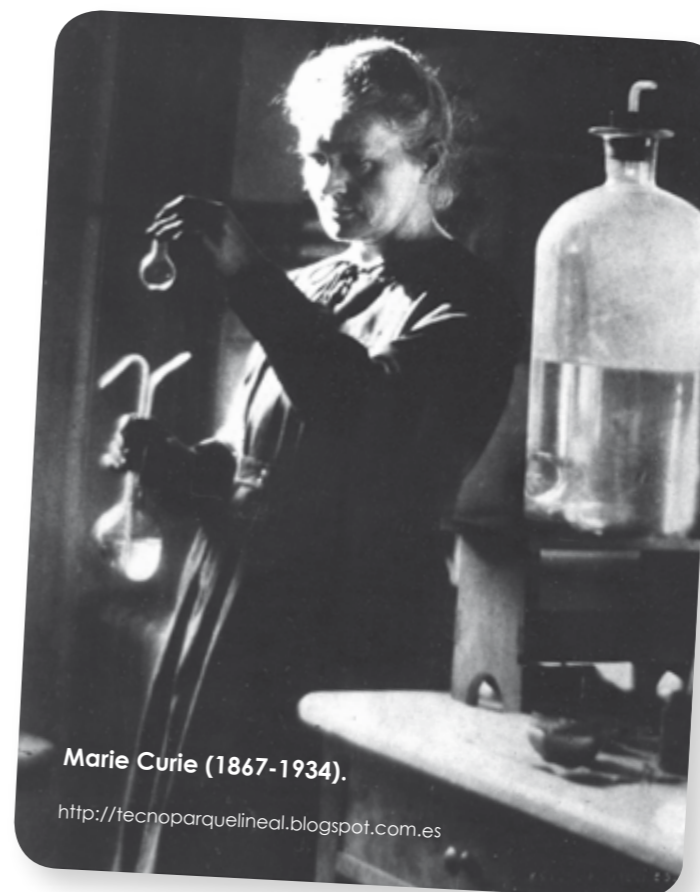
## Ernest Rutherford: padre de la Física Nuclear y alquimista

los físicos por sus contribuciones fundamentales, la Medalla Copley (1922), concedida por la *Royal Society of London* para premiar los avances en las Ciencias Físicas y Biológicas alternativamente, y la Medalla Franklin (1924), otorgada por el Instituto Franklin de Filadelfia (EE UU), que comenzó a concederse a partir de 1915. La Medalla Faraday le fue concedida por el Instituto de Ingenieros Eléctricos en 1930.

Fue investido con los doctorados *honoris causa* de las Universidades de Birmingham, Bristol, Cambridge, Ciudad del Cabo, Clark, Copenhague, Dublín, Durham, Edimburgo, Giessen, Glasgow, Leeds,

Liverpool, Londres, McGill, Melbourne, Oxford, París, Pensilvania, Toronto, y Yale. Además fue elegido miembro honorario de más de 17 sociedades científicas, y fue miembro correspondiente de, al menos, otras 14 instituciones.

**“Fallece el 19 de octubre de 1937, un año antes del descubrimiento de la fisión nuclear. Sus restos reposan en la Abadía de Westminster junto a los de Sir Isaac Newton y William Thomson, Lord Kelvin.”**



A Marie Curie se la reconoce como la madre de la Radioquímica y fue galardonada con dos Premios Nobel: el de Física (1903) compartido con Henri Becquerel y Pierre Curie, y el de Química (1911) en solitario. ¿Por qué Ernest Rutherford no recibió un segundo Premio Nobel? Es una cuestión que no tiene fácil respuesta, aunque hizo méritos para conseguirlo. A Rutherford se le conoce como el padre de la Física Nuclear, realizó sus investigaciones más relevantes después de 1908, año en el que fue reconocido con el Premio Nobel de Química, hasta su muerte y creó una prestigiosa escuela de científicos que produjeron un gran avance en la Ciencia y, en particular, en la estructura del átomo y la transmutación de los elementos.

Pascual Román  
Dpto. de Química Inorgánica  
Facultad de Ciencia y Tecnología  
Universidad del País Vasco

- Murray R. P., *The 1896 Magnetic Detector of Lord Ernest Rutherford*, *The AWA Journal, On-line Edition*, 2007, <http://bit.ly/MRdIXV>, visitada el 30/07/2012.
- Reeves R., *A Force of Nature: The Frontier Genius of Ernest Rutherford*, W. W. Norton, New York, 2008.
- Rhodes R., *The Making of the Atomic Bomb*, Simon and Schuster, New York, 1986.
- Rutherford E., *Biography, The Nobel Prize in Chemistry 1908*, <http://bit.ly/zKYBjl>, visitada el 30/07/2012.
- Rutherford E., *Nobel Lecture: The Chemical Nature of the Alpha Particles from Radioactive Substances, December 11, 1908*, <http://bit.ly/MptCQI>, visitada el 30/07/2012.
- Rutherford E., *Radioactive Transformations*, Yale University Press, New Haven, 1906, <http://bit.ly/OxP714>, visitada el 30/07/2012.
- Rutherford E., Wikipedia: en español, <http://bit.ly/pGxTak>, en francés, <http://bit.ly/NQzfrn>, en inglés, <http://bit.ly/pQGABm>, visitadas el 30/07/2012.
- Wilson D., *Rutherford. Simple Genius*, Hodder and Stoughton, London, 1983.

# LA PREVENCIÓN DE RIESGOS EN LABORATORIOS DE QUÍMICA

**POR ANTONIO BLEIN**

“La seguridad  
y la salud  
son valores  
primordiales  
para la  
persona.”

# La Prevención de Riesgos en Laboratorios de Química



¿Por qué se habla de seguridad y salud en los laboratorios químicos? Tres "porqués":

1. Shari Sangji, Postgraduada. Universidad de California (UCLA). Muerta por quemaduras causadas por terc-Butil-Litio. 29 Diciembre 2008. El Dr. Harran, profesor de la Universidad fue a juicio.<sup>1</sup>
2. Karen Wetterhahn. Investigadora en metales pesados del Dartmouth College (New Hampshire, EEUU). 14 Ago 1996 sufre intoxicación por dimetilmercurio. No se da cuenta hasta varios días después. Muere en Junio 1997 tras estar en coma desde Enero 1997.<sup>2</sup>
3. Peter Brown. Postgraduado. Texas Tech University (Lubbock, EEUU). Enero 2010. Gravemente herido por incendio y explosión (pérdida de 3 dedos y un ojo) al trabajar con NHP (nickelhydrazinaperchlorato).

La seguridad y la salud son valores primordiales para la persona. En la Universidad, institución docente e investigadora por excelencia, el estudio de la seguridad y salud o prevención de riesgos cobra una especial significación y más aún en sus facultades de carácter experimental, en las que, por su naturaleza, tanto docentes como discentes se encuentran sometidos a un mayor nivel de riesgo que en el resto de instituciones académicas. Concretamente, es en los laboratorios donde por la naturaleza de las actividades que se llevan a cabo, las instalaciones que se utilizan, los agentes materiales que se manipulan y por el tipo de residuos que

**“Una de las características que más influye en la seguridad en el laboratorio es su diseño.”**

se generan, este nivel de riesgo es más alto. Esto constituye otra razón de peso para tratar esta cuestión.

## EL EDIFICIO

Se refiere al "continente" del laboratorio y a sus características como lugar de trabajo, desde diseño, ubicación y distribución, hasta los materiales con los que está construido y la cantidad de espacio físico.

El laboratorio se sitúa en una estructura concreta, que es el edificio que lo contiene. Una de las características que más influye en la seguridad en el laboratorio es su diseño, que determina su construcción. En el diseño deben tenerse en cuenta una infinidad de factores que afectan a usos del edificio, ubicación, accesibilidad, materiales, distribución, tamaño, mantenimiento, ventilación, ampliabilidad, iluminación y puestos de trabajo.

## EL PERSONAL

Es lo más importante del laboratorio y el único de los elementos capaz de tomar decisiones. Es toda persona que acceda al laboratorio (profesores, becarios, alumnos, investigadores, personal de limpieza y de mantenimiento, estudiantes extranjeros que hacen una estancia, etc.).

Se considera en esta categoría el comportamiento del personal, que refleja:

- Su aptitud para trabajar con seguridad: la capacidad para operar competentemente en una determinada actividad.
- Su actitud ante la seguridad: la disposición de ánimo manifestada de algún modo.
- Su formación: preparación intelectual, moral o profesional de una persona o grupo de personas.



Estado del laboratorio tras el accidente ocurrido en Texas Tech University (Lubbock, EEUU).

<http://www.csb.gov>

- La información que recibe acerca de los riesgos a los que está sometido por su actividad en el laboratorio.
- Su adiestramiento en prevención de riesgos.

También se incluyen en esta categoría las cuestiones de tipo ergonómico, entre las que se encuentran la manipulación manual de cargas, los factores posturales y los movimientos repetitivos.

Más que en formación, el esfuerzo principal debe hacerse en información y adiestramiento. En la práctica se puede considerar que informar es comunicar algo, y formar supone un proceso más complejo en el que es casi imprescindible que el formando realice una prueba sobre lo aprendido. El adiestramiento lo asociamos a instruir prácticamente a alguien en el manejo de un instrumento o herramienta.

¿Qué debe conocer quien desarrolle su actividad en un laboratorio químico?

- Con qué está trabajando: instrumentación, productos, residuos,...
- Situación de los equipos de emergencia: material antincendios, duchas, botiquines, rutas de evacuación,...
- Instalaciones: cómo (dónde) cortar el suministro de agua, electricidad, etc.
- Emergencias: cómo actuar ante incendios, derrames, etc.

¿En qué debe adiestrarse al personal del laboratorio?

- Material de lucha contra incendios: extintores, manta ignífuga, etc.
- Primeros auxilios: reanimación cardiopulmonar (RCP), vendajes, etc.
- Material para la recogida de derrames.

1. <http://www.myfoxla.com/story/20137231/ucla-lab-accident-death-was-there-disregard-for-safety>

2. [http://es.wikipedia.org/wiki/Karen\\_Wetterhahn](http://es.wikipedia.org/wiki/Karen_Wetterhahn)

# La Prevención de Riesgos en Laboratorios de Química

¿Cómo se debe comportar la persona que se encuentre en el laboratorio?

Quien desarrolla su actividad en el laboratorio como alumno, becario, investigador o profesor debe tener unos hábitos de conducta y de trabajo concretos. Se citan aquí solo unos pocos por ser ampliamente conocidos:

- Hábitos de conducta: no fumar, comer o beber, uso de batas, evitar cabello largo u otros objetos colgantes...
- Hábitos de trabajo: orden y limpieza, evitar la soledad, uso de EPIs, uso de campanas extractoras y de otras instalaciones, conocer el funcionamiento de los equipos...

En este sentido, el primero que debe cumplir las normas de seguridad es el profesor, que además tiene la obligación de exigir su cumplimiento. Permitir que se trabaje solo en un laboratorio o la entrada y salida de los laboratorios

sin el equipamiento adecuado (comenzando por el uso de bata) son malos ejemplos que impulsan al incumplimiento de las normas por el resto. Si no se aplica lo básico, otras cuestiones como la ergonomía, el trabajo con ordenadores, la manipulación de cargas, etc... serán objeto de mala praxis.

La mayoría de los manuales de seguridad en el laboratorio dedican, al menos, un capítulo a tratar el tema de personal, y las universidades más prestigiosas en Estados Unidos, Europa y Asia conceden gran importancia, también, a este tema.

## LAS INSTALACIONES

Esta categoría incluye las instalaciones normales (agua, electricidad, etc.), las instalaciones de seguridad, destinadas a emergencias (extintores, duchas y lavajos, etc.), y los equipos de protección individual (gafas, mascarillas, etc.).

### Instalaciones generales

Las más usuales son:

- Instalación eléctrica: Regulada por el REBT<sup>3</sup>. Se requieren también prácticas específicas: separar líneas de alto consumo, evitar sobrecargas en puntos concretos...
- Agua / calefacción, refrigeración y ventilación: Debe cumplir el RITE<sup>4</sup>.
- Líneas telefónicas: Conviene tener junto a cada teléfono con línea exterior los números de teléfono de Ambulancias, Bomberos, Hospital, Policía, Centralita...

.....  
**Brazo de aspiración.**

<http://www.logismarket.es>



Fotografía de la Facultad de Ciencias.

- Gases: los riesgos que presentan los gases pueden deberse a su naturaleza: inflamables, tóxicos, corrosivos, etc. o bien a su forma de suministro, con frecuencia en botellones a presión. Les es de aplicación el Reglamento de equipos a presión y sus instrucciones técnicas complementarias,
- Neveras/Frigoríficos: Deben estar homologados y deben contener recipientes resistentes a sobrepresión que no estén abiertos. En caso de productos de alto valor de reposición conviene plantearse disponer de alimentación de emergencia por un cierto tiempo.
- Almacén de productos químicos: Por las cantidades almacenadas no suele ser de aplicación el Reglamento de Almacena-

miento de Productos Químicos. En todo caso se debe reducir las existencias al mínimo, colocar los productos según su peligrosidad y compatibilidad (huir del orden alfabético) y aislar determinados productos mediante compartimentación o separación por distancia. Los productos de alta toxicidad (carcinogénicos, mutagénicos y tóxicos para la reproducción, CMR) deben guardarse bajo llave.

3. REBT: Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión

4. RITE: Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios



# La Prevención de Riesgos en Laboratorios de Química

Respecto a las instalaciones generales, las cuestiones claves para la seguridad son cumplir la legislación que les afecta, y que fija las condiciones de seguridad que deben cumplir, y llevar a cabo un buen mantenimiento, no solo correctivo sino también preventivo.

## Instalaciones orientadas a la seguridad

Debe existir un Plan de Emergencia que coordine los medios humanos y materiales ante contingencias. En nuestra Facultad se ha realizado dicho Plan y ya se ha llevado a cabo este curso un simulacro de incendio coordinado por la Unidad de Prevención de Riesgos Laborales.

- Lucha contra incendios: además de los medios mínimos reglamentados se recomienda disponer de mantas ignífugas.
- Ducha y lavajos de emergencia: imprescindible comprobarlos periódicamente.
- Contención y recogida de derrames: en primer lugar se ha de contener la fuga y luego se recoge, incluso si es pequeña. El material se ha de desechar como residuo peligroso, si lo es.
- Evacuación: se recomienda que el laboratorio cuente, como mínimo, con dos salidas. Al recibir la orden de evacuación se han de seguir algunas normas básicas, como mantener la calma, desconexión de equipos, uso de escaleras, puntos de reunión... Conviene conocer previamente las vías de evacuación y el Punto de Reunión y las normas que dicta su Plan de Emergencia.
- Primeros Auxilios: además del contenido habitual del botiquín, se ha de disponer de antídotos o material para prepararlos.
- Extracción localizada: es imprescindible disponer de extracciones localizadas en los focos principales de generación de emisiones. Se utilizan las campanas de



**“El primero que debe cumplir las normas de seguridad es el profesor, que además tiene la obligación de exigir su cumplimiento.”**

aspiración y las vitrinas de gases, que no deben utilizarse como unidad de almacenamiento.

- Señalización: los colores de la señalización de seguridad son: amarillo para advertencia, rojo para prohibición o material de lucha contra incendios, azul para obligación y verde para salvamento o situación de seguridad.
- Protecciones personales: los EPIs más comunes, además de la bata, son: gafas (o cubregafas), guantes, mascarilla (si no se trabaja en vitrina). Se desaconseja el uso de lentes de contacto en el laboratorio.

## LOS AGENTES MATERIALES

Esta categoría comprende la instrumentación (aparatos complejos y sencillos, y utillaje), los agentes físicos (formas de energía: ruido, vibraciones, radiaciones), los productos químicos (materia inerte), los agentes biológicos (seres vivos), el material fungible (vidrio), así como los residuos que se generan.

## La instrumentación

Se debe siempre disponer de las instrucciones en español, obligación legal, en las que ha de venir un apartado dedicado a la seguridad.

## Los agentes físicos

El ruido se define en general como un sonido no deseado y molesto. Disminuye el nivel de atención y aumenta el tiempo de reacción del individuo lo que favorece el crecimiento del número de accidentes. La exposición a vibraciones, salvo excepciones, no suele ser un problema en el laboratorio.

## Los agentes químicos

El riesgo de los agentes químicos se puede clasificar en riesgo intrínseco, riesgo en razón de su reactividad y riesgo en las operaciones.

El riesgo intrínseco se basa en las características de peligrosidad de la sustancia o la mezcla, que



**Pictogramas de peligros físicos, para la salud humana y para el medio ambiente.**

REGLAMENTO (CE) No 1272/2008 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 16 de diciembre de 2008 sobre clasificación, etiquetado y envasado de sustancias y mezclas.

## La Prevención de Riesgos en Laboratorios de Química

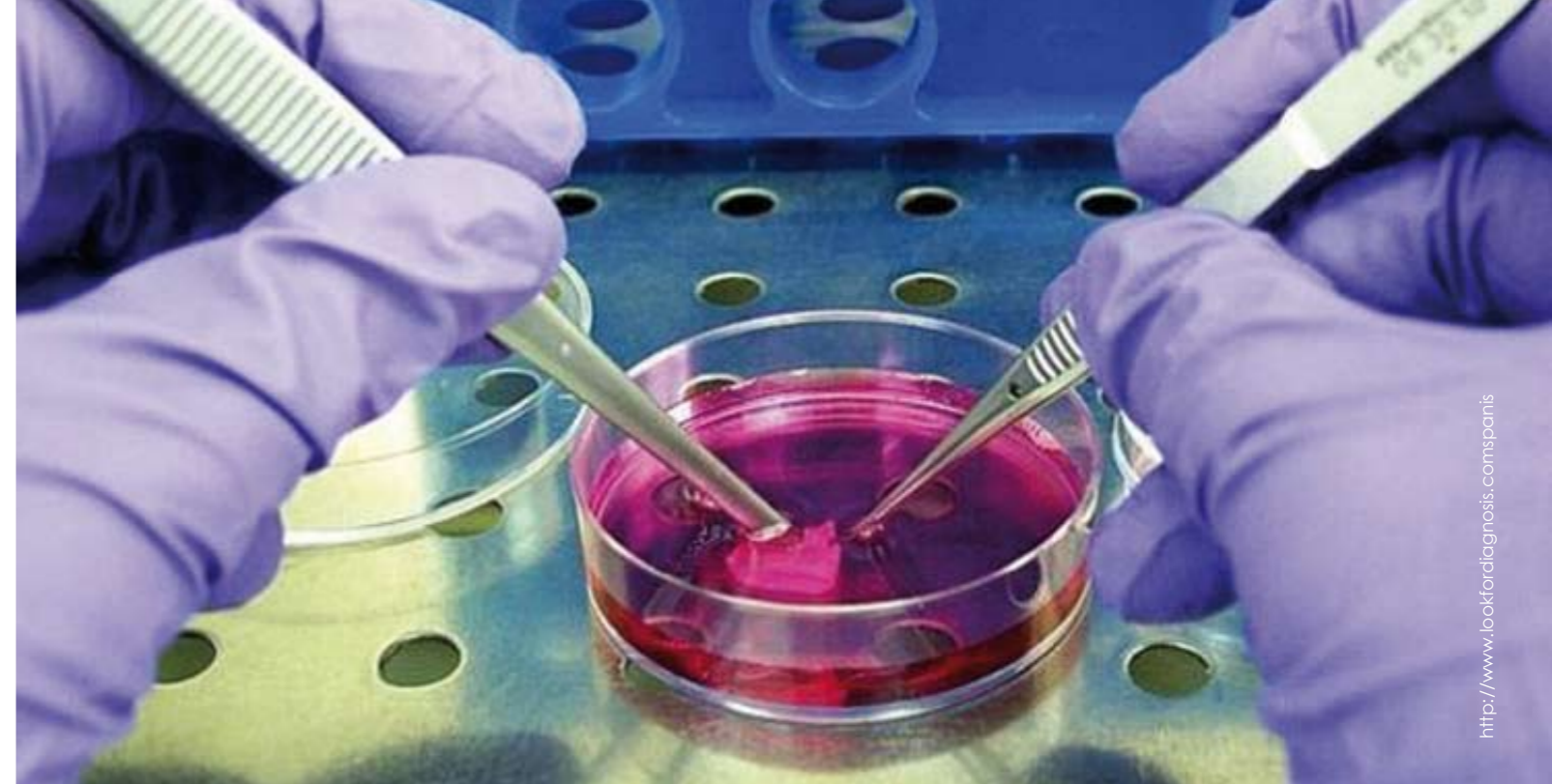
vienen descritas en el Reglamento 1272/2008 de la UE. Se distinguen peligros físicos, para la salud humana y para el medio ambiente (ver Tabla).

Los riesgos en las operaciones se deben fundamentalmente a no prestar la suficiente atención a los efectos de los factores físico-químicos que influyen en la cinética de la reacción, como la temperatura, la velocidad de agitación, la concentración de reactivos, etc. Como consecuencia de ello la reacción puede descontro-

larse (run-out) y dar lugar a productos inesperados y perjudiciales.

La forma de conocer los peligros y características de los agentes químicos que se manejan es a través de la etiqueta y la ficha de datos de seguridad.

La etiqueta indica: el fabricante, cantidad nominal, identificación del producto, pictogramas de peligro (ver imagen), palabras de advertencia (atención o peligro), indicaciones de peli-



<http://www.lookfordiagnosis.com/spanis>

PELIGROS FÍSICOS	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Explosivos</li> <li>• Gases comburentes</li> <li>• Sólidos inflamables</li> <li>• Sólidos pirofóricos</li> <li>• Líquidos comburentes</li> <li>• Corrosivos para metales</li> <li>• Gases inflamables</li> <li>• Gases a presión</li> <li>• Sólidos y mezclas que reaccionan espontáneamente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• S y M que experimentan calentamiento espontáneo</li> <li>• Sólidos comburentes</li> <li>• Aerosoles inflamables</li> <li>• Líquidos inflamables</li> <li>• Líquidos pirofóricos</li> <li>• S y M que en contacto con agua liberan gases inflamables</li> <li>• Peróxidos orgánicos</li> </ul>
PELIGROS PARA LA SALUD HUMANA	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toxicidad aguda</li> <li>• Sensibilización respiratoria o cutánea</li> <li>• Toxicidad para la reproducción</li> <li>• Peligro por aspiración</li> <li>• Corrosión/Irritación cutánea</li> <li>• Mutagenicidad en células germinales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Toxicidad específica en determinados órganos (stot) – exposición única</li> <li>• Lesiones oculares graves o irritación ocular</li> <li>• Carcinogenicidad</li> <li>• Toxicidad específica en determinados órganos – exposiciones repetidas</li> </ul>
PELIGROS PARA EL MEDIO AMBIENTE	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peligro para el Medio Ambiente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peligro para la capa de ozono</li> </ul>

gro (antiguas Frases R) y consejos de prudencia (antiguas Frases S). En resumen, dice qué es, quién lo fabrica y qué peligros tiene.

La Ficha de Datos de Seguridad (FDS), que el fabricante tiene obligación de proporcionar, contiene mucha información acerca del agente químico y sus características relevantes para la seguridad. Su contenido está regulado mediante el Reglamento 1907/2006 de la UE y comprende: desde la identificación del producto hasta información toxicológica, pasando por la actuación en caso de emergencia.

Es necesario disponer en el laboratorio de todas las FDS de los productos que se tengan y las de los más utilizados se deben conocer, especialmente los riesgos que presentan y las medidas ante emergencias. Antes de trabajar con un producto químico se ha de haber leído su FDS.

### Los agentes biológicos

La bioseguridad es clave en laboratorios biológicos, pero al tratarse aquí de laboratorios químicos se va a soslayar este tema.

### El material fungible: vidrio

Es necesario desechar el material dañado y el que haya sufrido un golpe de cierta importan-

cia, aunque no se observen grietas o fracturas, y cuidar la estabilidad de los montajes

### LA GESTIÓN

Consiste en organizar las actividades que se llevan a cabo para conseguir los objetivos que se plantea el laboratorio. En lo relacionado con la seguridad y salud es una obligación legal impuesta por la Ley 31/1995, de PRL. No se exige un sistema concreto de gestión.

Hay diversos documentos que ayudan a organizar la gestión del laboratorio: UNE-EN-ISO 17025, Buenas Prácticas de Laboratorio, ISO 15190, OHSAS 18000 y la Guía Técnica del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene.

Al principio del artículo se ha mostrado el porqué de la necesidad de la prevención. En las líneas anteriores se ha intentado dejar más claro cómo se puede conseguir.

Antonio Blein

Experto en Seguridad en Laboratorios

Colegio Oficial de Químicos de Aragón y Navarra



# LA EDUCACIÓN...

# ...UN PROYECTO GLOBAL DESDE LA FACULTAD DE CIENCIAS

*Con los estudiantes de Secundaria y Bachillerato.*

**Jornadas de Puertas Abiertas**

**Visita de Profesores a Centros de Secundaria**

**Semana de Inmersión**

**Campamentos Científicos (FECYT)**



**SEMANA DE INMERSIÓN EN CIENCIAS**  
2 0 1 3



Del 17 al 21 de junio  
Para alumnos de  
4º de ESO y  
1º de Bachillerato

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

*Con nuestros estudiantes.*

**Jornadas de Acogida**

**Cursos Cero**

**Plan Tutor**

**Cursos de Formación**

**Ciclo de Salidas Profesionales**



*Con nuestros titulados.*

**Ciclo de Salidas Profesionales**

**Ciclos de Conferencias**

**Bolsa de Empleo**

**Puentes de Comunicación con nuestros Antiguos Alumnos**



# RECONSTRUYENDO EL MUNDO PERDIDO DE LOS DINOSAURIOS

“Los dinosaurios se integraban en ecosistemas tan complejos como los actuales.”

**POR GRUPO ARAGOSAURUS**

Huella de saurópodo en el yacimiento de Las Cerradicas, Galve (Teruel).

<http://www.aragosaurus.com>

## Reconstruyendo el mundo perdido de los dinosaurios

El interés por los vertebrados fósiles es cada vez mayor, y raro es el día que no surge alguna noticia de un nuevo descubrimiento, especialmente en dinosaurios. Los investigadores en Paleontología nos dedicamos a reconstruir los ecosistemas del pasado y conocer su evolución. El grupo Aragosaurus es un equipo de investigación de la Facultad de Ciencias integrado en el Instituto de Ciencias Ambientales de Aragón (IUCA) en el que se incluyen investigadores de otras universidades españolas. Una de nuestras líneas de trabajo son los vertebrados fósiles del Mesozoico, un periodo de tiempo comprendido entre los 250 y 65 millones de años (Ma), y que es conocido como la era de los dinosaurios. Estos animales se integraban en ecosistemas tan complejos como los actuales. Reconstruimos su Paleobiología basándonos en estudios filogenéticos, anatómicos y biomecánicos de los huesos, además de las evidencias de su actividad orgánica conservadas en pisadas fosilizadas (icnitas) y cáscara de huevo. Además de los dinosaurios también estudiamos el resto de los vertebrados fósiles que formaban

los ecosistemas del Mesozoico como son los tiburones y otros peces, cocodrilos, reptiles voladores, mamíferos, anfibios y lagartos. Nuestro objetivo global es aportar información para reconstruir el mundo perdido de los dinosaurios. Fruto del interés social por estas investigaciones es la frecuencia con la que han aparecido reseñas de prensa con los resultados del trabajo de investigación de nuestro grupo en los últimos meses. Queremos compartir con los lectores de conCIENCIAS un resumen de los descubrimientos más singulares y significativos ordenados de más antiguos a más modernos.

### LOS MONSTRUOS MARINOS DEL JURÁSICO: EL "COCODRILLO DE RICLA"

El "cocodrilo de Ricla" es uno de los fósiles más famosos expuestos en la Sala Lucas Mallada de Geológicas en la Universidad de Zaragoza. Los visitantes al Museo Paleontológico lo habrán visto en el centro de la exposición. La historia de su descubrimiento comienza en 1994 cuando la DGA encargó a C. Laplana, C. Gonzalvo y M. Soria una prospección paleontológica, previa



Cráneo de *Maledictosuchus* expuesto en la Sala Lucas Mallada. Edificio de Geológicas (Facultad de Ciencias).

Grupo Aragosaurus.



Reconstrucción en vida de *Maledictosuchus*.

José Manuel Gasca (Grupo Aragosaurus).

a la construcción del AVE, por la localidad de Ricla. En esta parte de la provincia de Zaragoza afloran rocas del Jurásico con gran cantidad de fósiles. La sorpresa fue encontrar varios nódulos con los huesos fosilizados de un reptil marino del Jurásico Medio, de unos 164 millones de años. Tras una preparación complicada por parte de Javier Val se pudo comprobar que se trataba de un cráneo de crocodylomorfo marino (pariente muy lejano de los actuales cocodrilos) prácticamente completo. Sin duda el fósil de este tipo de vertebrados mejor conservado en nuestro país y uno de los mejores de Europa. Casi 20 años después se ha investigado en profundidad como parte de la tesis doctoral de Jara Parrilla. Esta investigación ha permitido demostrar que se trata de una especie nueva, a la que hemos llamado *Maledictosuchus riclaensis* o el "cocodrilo maldito de Ricla". El nombre de maldito hace referencia a los intentos frustrados de estudiarlo anteriormente.

*Maledictosuchus* se conoce exclusivamente por el ejemplar de Ricla y se trata de un cráneo prácticamente completo, con una conservación excelente. Pertenece a los metriorrínquidos, un grupo de crocodylomorfos marinos (por simplificar los vamos a llamar cocodrilos) que se extinguieron en el Cretácico Inferior, hace unos 130 Ma. Actualmente no existe ningún cocodrilo totalmente ligado a la vida acuática. Los metriorrínquidos han sido los cocodrilos mejor adaptados al medio marino a lo largo de su historia evolutiva. En la magnífica reconstrucción realizada por José Manuel Gasca se puede ver cómo sería este animal en vida. Presentaba adaptaciones al medio acuático como las aletas, la cola larga y bilobulada parecida a la de los tiburones, un cuerpo hidrodinámico que facilitaba la natación y ausencia de la armadura dérmica característica de los cocodrilos terrestres. El cráneo de *Maledictosuchus* es también hidrodinámico, con órbitas oculares enormes

## Reconstruyendo el mundo perdido de los dinosaurios

situadas a ambos lados de la cabeza y numerosos dientes de pequeño tamaño. Tendría una dieta fundamentalmente piscívora, aunque probablemente podría comer cefalópodos y otros invertebrados marinos.

Este espécimen tiene un gran interés para comprender la evolución de este grupo de cocodrilos marinos. Hemos llegado a la conclusión, tras analizar sus caracteres morfológicos, de que *Maledictosuchus* es el miembro más basal y más antiguo de la tribu de los raqueosaurinos, un grupo de metriorrínquidos especializados,

piscívoros y altamente adaptados a la vida en mar abierto. *Maledictosuchus* posee una morfología intermedia entre los metriorrínquidos basales y los miembros derivados de los raqueosaurinos del Jurásico Superior. En definitiva uno de los organismos que nos gustan a los paleontólogos porque se encuentran en la base de una radiación evolutiva.

Durante el Jurásico Medio, los metriorrínquidos estaban bien diversificados en el oeste de Europa, especialmente en Inglaterra y Francia, pero no se había descubierto hasta el momen-

to ningún raqueosaurino en el sur de Europa. *Maledictosuchus* sería el primero de la Península Ibérica. Por lo tanto, el estudio de este nuevo cocodrilo demuestra que durante el Jurásico Medio los metriorrínquidos tenían una amplia diversificación y distribución geográfica. Es probable que su evolución hacia una dieta especializada y a la vida en mar abierto comenzara durante el Jurásico Medio, al menos 10 Ma antes de lo que sabíamos hasta ahora. En el Jurásico Superior, la rotura de la Pangea haría que estas adaptaciones terminaran siendo ventajosas permitiendo que los metriorrínquidos dominaran los mares someros que quedaban entre las masas continentales que comenzaban a separarse en el oeste de Europa.

### UNA MANADA DE DINOSAURIOS ORNITÓPODOS

El yacimiento de icnitas (pisadas fósiles) de dinosaurio de Las Cerradicas (Berriasiense, 145 Ma) se encuentra en Galve (Teruel). Se trata de un yacimiento de referencia para la paleoicnología a nivel mundial. En colaboración con Félix Pérez Lorente de la Universidad de La Rioja hemos publicado varios trabajos que han demostrado su importancia. El Gobierno de Aragón lo declaró Bien de Interés Cultural y lo puso en valor protegiéndolo con una estructura que lo cubre de la lluvia. También se instalaron paneles explicativos, de manera que ahora puede ser visitado por el público. A raíz de la última limpieza del yacimiento, precisamente realizada para prepararlo para instalar la cubierta, se descubrieron nuevos rastros que nos han permitido aplicar nuevas

metodologías dando respuestas a algunas de las dudas que tenía el yacimiento. Este trabajo forma parte de la tesis doctoral de Diego Castanera.

En el año 1997 describimos en Las Cerradicas uno de los rastros de dinosaurio ornitópodo cuadrúpedo más antiguo del registro fósil. Tradicionalmente se ha considerado que estos dinosaurios andaban de manera bípeda, sin embargo yacimientos como el de Las Cerradicas demuestran que los ornitópodos también se desplazaban de manera cuadrúpeda, al presentar marcas de pies tridáctilos y de las manos. El resto de rastros de dinosaurios tridáctilos de Las Cerradicas eran aparentemente bípedos. En un trabajo recién publicado hemos realizado un estudio estratigráfico detallado de cada uno de los niveles del yacimiento, y además hemos utilizado nuevas técnicas de escáner (LiDAR) y fotogrametría. Se ha realizado en colaboración con el Institut Català de Paleontologia (ICP). Estas modernas metodologías han permitido cuantificar la diferencia de profundidad a la que llegaban las manos y los pies del mismo individuo. De estos nuevos datos se desprende que en Las Cerradicas hay un sesgo en la conservación de las manos de los rastros aparentemente bípedos, los cuales en realidad están conservados en niveles inferiores (subhuellas) a la superficie en la cual pisaron los dinosaurios. Dicho de otra manera, el que haya rastros bípedos (sin marcas de las manos) era una cuestión de preservación, pero inicialmente todos debían ser cuadrúpedos.

**“En el año 1997 describimos en Las Cerradicas uno de los rastros de dinosaurio ornitópodo cuadrúpedo más antiguo del registro fósil.”**

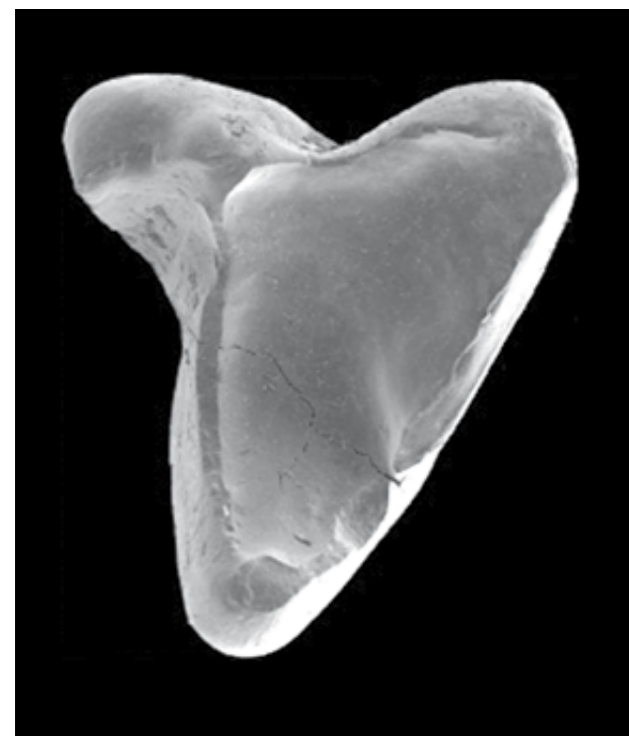


Yacimiento de icnitas de dinosaurio de Las Cerradicas (Galve). Se pueden observar icnitas con tres dedos que se citan en el texto.

Diego Castanera (Grupo Aragosaurus).

## Reconstruyendo el mundo perdido de los dinosaurios

Desde el punto de vista paleoecológico, la orientación de los rastros en la misma dirección, valores similares de velocidad y de frecuencia en las zancadas, sugiere que estos ornitópodos se movían como una manada. Es la prueba más clara de un comportamiento gregario. Pero no solo es eso, esta orientación es similar a la de una serie de rastros de dinosaurios saurópodos de pequeño tamaño que también se encuentran conservados en Las Cerradicas. Hay ejemplos de superposición de las icnitas de estos dos diferentes tipos de dinosaurios. La relación de superposición de las huellas indica que los ornitópodos pasaron poco después, aunque no podemos determinar cuánto tiempo. Podemos incluso plantear la hipótesis de una manada formada por diferentes tipos de dinosaurios. De hecho, en la actualidad, en las grandes migraciones de los herbívoros en África es bastante común que haya varios tipos de mamíferos moviéndose juntos y a



la vez. Son necesarios más yacimientos para comprobar este comportamiento en dinosaurios, pero al menos la hipótesis está puesta encima de la mesa.

### LOS MAMÍFEROS DEL TIEMPO DE LOS DINOSAURIOS

Los pequeños vertebrados acompañaron a los gigantes dinosaurios desde que aparecieron en el Triásico. Su pequeño tamaño hace que sean difíciles de encontrar si no se usan técnicas de extracción adecuadas. Desde el comienzo de nuestras investigaciones en el Mesozoico, usamos la técnica del levigado (o lavado-tamizado) para recuperar dientes aislados de mamíferos y de otros vertebrados de pequeño tamaño. Son pequeñas maravillas paleontológicas al ilustrarnos la historia de los mamíferos a la sombra de los dinosaurios. En sedimentos del Cretácico Inferior de Galve hemos descrito dos nuevas especies, que nos ilustran sobre la enorme y desconocida diversidad de los mamíferos. En un trabajo se analiza la rica diversidad de los mamíferos herbívoros del Mesozoico que son los multituberculados, llamados así por la gran cantidad de cúspides de sus molares. En este trabajo se definió un nuevo taxón *Iberica hahni*, dedicado a dos especialistas alemanes en estos pequeños mamíferos. En otro trabajo se revisa un género muy popular en los libros de divulgación de dinosaurios, *Crusafontia*, que se encontró hace cuatro décadas en Uña (Cuenca) y ahora se ha podido definir una nueva especie, *Crusafontia amoa*, en Galve. *Crusafontia* pertenece a un grupo de mamíferos que probablemente se alimentarían de insectos y otras presas pequeñas y tendrían un patrón dental tan eficaz como el

.....

**Superficie oclusal (de masticación) de un diente aislado de *Crusafontia amoa*. Un pequeño mamífero que vivió en la época de los Dinosaurios encontrado en Galve (Teruel).**

Gloria Cuenca (Grupo Aragosaurus).  
Servicio de Microscopía Electrónica de la Universidad de Zaragoza.

de los mamíferos modernos pero con una disposición invertida de las cúspides de sus molares.

### GIDEONMANTELLIA: EL VELOZ DINOSAURIO DEL CRETÁCICO

En la localidad turolense de Galve, vieja conocida de nuestro grupo, donde este año hemos descrito el nuevo dinosaurio *Gideonmantellia amosanjuae*. El nombre es un homenaje a Gideon Mantell, naturalista inglés y uno de los padres de la investigación en dinosaurios. Mantell vivió en el siglo XIX y fue el primero en describir y figurar un fósil de "hipsilofodóntido" en 1849. El nombre específico está dedicado a la fallecida investigadora Olga Amo Sanjuán quien formó parte del equipo. Los restos de *Gideonmantellia* fueron recuperados por José María Herrero en la década de 1980 en una mina de arcillas para la elaboración de tejas y ladrillos. Estas arcillas son del Cretácico Inferior (Barremiense), aproximadamente de hace unos 130 Ma. Los fósiles actualmente se encuentran expuestos en el Museo de Galve.

*Gideonmantellia* se conoce exclusivamente por el ejemplar de Galve. Está compuesto por 104 huesos fósiles de un único individuo. Se trata del pequeño ornitópodo más completo de nuestro país. Se han encontrado vértebras, parte de la cadera y de los miembros traseros, incluyendo un pie prácticamente completo. El hueso más largo del individuo es la tibia, que mide 128 mm. Comparando con un esqueleto completo de *Hypsilophodon* del que hay ejempla-

### Huesos conservados del pequeño dinosaurio *Gideonmantellia* en el Museo de Galve (Teruel).

José Manuel Gasca (Grupo Aragosaurus).



## Reconstruyendo el mundo perdido de los dinosaurios

res completos en el Reino Unido, el ejemplar completo del holotipo de *Gideonmantellia* mediría aproximadamente 35 cm de altura al lomo y 1 m de longitud total. Con estas medidas podría pesar unos 4 Kg. Hay que tener en cuenta que el fósil pertenecía a un individuo joven, como demuestran sus vértebras no fusionadas, por lo que de adulto sería mayor quizás hasta 2 m y 20 Kg como los mayores ejemplares de *Hypsilophodon*. Acostumbrados a dinosaurios gigantes, este pequeño dinosaurio es una novedad en nuestro país y nos permite tener una visión del mundo del Mesozoico donde coexistían grandes y pequeños vertebrados.

La ausencia de cráneo ha hecho difícil estudiar a *Gideonmantellia*. Estudios anteriores habían clasificado a este dinosaurio con nombres de especies conocidas en otras partes de Europa, la más significativa es *Hypsilophodon foxii* de la Isla de Wight (Inglaterra). Sin embargo, la inves-

tigación que acabamos de publicar ha permitido descubrir que se trata de una especie nueva, al presentar una morfología única en los huesos de la cadera y del comienzo de la cola. *Gideonmantellia* sería un ágil y veloz dinosaurio, con un miembro trasero adaptado a correr rápido, fundamental para poder escaparse de los depredadores al carecer de otras estructuras defensivas. Ecológicamente ocuparía un nicho semejante al de un rápido y pequeño mamífero herbívoro, semejante a las actuales gacelas.

### COMAHUESAURUS: ESTUDIANDO LA CONEXIÓN IBERO-PATAGÓNICA CON DINOSAURIOS

La Patagonia es una de las regiones más emblemáticas de Argentina. Montañas, glaciares y pingüinos son las imágenes más habituales para el turista, pero hay mucho más. Los interminables y bellos desiertos patagónicos esconden



Reconstruyendo la vértebra dorsal del saurópodo *Comahuesaurus* en el Museo de Zapala, Argentina.

Grupo Aragosaurus.

una impresionante riqueza en fósiles de dinosaurios. De norte a sur, podemos encontrar salpicadas, en su amplia geografía, grandes y pequeñas poblaciones con su correspondiente museo de fósiles. Desde hace más de diez años, nuestro grupo colabora con investigadores del Museo de Zapala y del CONICET excavando y estudiando los huesos de los dinosaurios saurópodos (los cuellilargos de la literatura popular) en las provincias de Neuquén y Río Negro. Además de un trabajo fascinante, estas investigaciones se enmarcan en un proyecto que analiza las conexiones paleobiogeográficas entre los dinosaurios de Patagonia e Iberia. Se ha escrito mucho sobre la unión de África y Sudamérica en un gran continente llamado Gondwana, pero ¿en qué momento se separaron? La tectónica de placas se demostró gracias a la fauna común entre África y Sudamérica, entre otras pruebas. Numerosas evidencias nos indican que la posición de los continentes ha cambiado a lo largo de la historia de la Tierra, de manera que masas terrestres ahora separadas como África, Europa y Sudamérica estuvieron

**“Estamos lejos de conocer bien la historia filogenética de los rebaquisáuridos, pero se han hecho importantes avances.”**

Zona de la Balsa Huítrín en el norte de la Patagonia. Todos los materiales son del Cretácico. Es la típica imagen del desierto patagónico.

Grupo Aragosaurus.

## Reconstruyendo el mundo perdido de los dinosaurios

unidas hace millones de años (Pangea), y posteriormente se han separado, han vuelto a unirse de nuevo, y ahora vuelven a separarse. Una de las evidencias científicas de demostrarlo es el estudio de los fósiles en diferentes regiones geográficas y, en este caso, los de dinosaurios de Sudamérica y de la Península Ibérica.

En la Patagonia, los afloramientos geológicos permiten la prospección de extensos niveles fosilíferos puesto que apenas hay vegetación. Las sucesivas campañas de campo prospeccionando grandes extensiones de terreno han dado como resultado el hallazgo de nuevos ejemplares de dinosaurios, algunos de especies inéditas, y otras emparentadas con otras conocidas en otras partes del mundo. Muchos de estos hallazgos tienen grandes implicaciones

sobre la distribución geográfica de las faunas de dinosaurios a escala mundial. En general, cuando encontramos los mismos dinosaurios en Iberia y Sudamérica implica que alguna vez hubo conexión terrestre. Para estos animales, los océanos constituirían una barrera geográfica infranqueable. Los dinosaurios solo vivían en tierra firme y, como la mayoría de los grandes vertebrados terrestres actuales, eludirían el océano profundo.

En un trabajo liderado por nuestro colega José Carballido hemos descrito el nuevo saurópodo rebaquisáurido llamado *Comahuesaurus windhauseni*. Sus fósiles provienen de la Formación Lohan Cura de edad Cretácico Inferior (más concretamente Aptiense – Albiense, hace entre 125 y 120 Ma) que aflora en el sur de la



Excavación en la Loma de los Jotes.  
Rincón de los Sauces (Neuquén, Patagonia).  
Grupo Aragosaurus.

### José Ignacio Canudo excavando la cola articulada del dinosaurio de Agrio del Medio (Neuquén, Patagonia).

Grupo Aragosaurus.

Provincia de Neuquén. El nombre genérico hace referencia a la denominación en Mapuche del área donde se encontró el fósil. El nombre específico está dedicado a Anselmo Windhausen, por su contribución al conocimiento geológico del norte de la Patagonia. Los rebaquisáuridos representan el grupo más primitivo de los saurópodos diplodocoideos, entre los que se encuentran taxones tan conocidos como *Diplodocus*. Son de gran interés paleobiogeográfico, al tratarse de uno de los grupos que mejor evidencian la conexión ibero-patagónica. Los rebaquisáuridos se encuentran en el Cretácico Inferior del hemisferio sur (Gondwana) y de Europa.

Hemos descrito a *Comahuesaurus* a partir de los fósiles recuperados en una capa o estrato con gran acumulación de huesos, de ahí el nombre con el que se suele designar en inglés a este tipo de yacimientos: "bone beds". Los huesos muestran que hay representados, al menos, tres individuos. Estos se encontraron desarticulados, aunque prácticamente están representados todos los elementos esqueléticos del cuerpo, excepto el cráneo y las vértebras cervicales. Los huesos más abundantes son las vértebras caudales (35 piezas).

Estamos lejos de conocer bien la historia filogenética de los rebaquisáuridos, pero se han hecho importantes avances. Sabemos que hay dos subfamilias, Limaysaurinae (sudamericana) y Nigersaurinae (africana-europea). El interés de *Comahuesaurus* radica en que sería el tron-



co común de ambas subfamilias. Esto implica que los rebaquisáuridos evolucionaron inicialmente en Sudamérica, diversificándose en el Cretácico Inferior por el resto de Gondwana y Europa. Una prueba sería que recientemente hemos identificado a los nigersaurinos en Iberia con la descripción de *Demandasaurus*, un taxón recuperado en la localidad burgalesa de Salas de los Infantes.

### LOS DINOSAURIOS "PEZQUEÑINES"

Otra de las zonas de trabajo ha sido la Formación Rayoso que aflora en las inmediaciones de Agrio del Medio (provincia de Neuquén). Las rocas de esta formación se depositaron en un medio muy árido de hace 120 Ma. Las expectativas de encontrar fósiles de vertebrados en esta formación eran escasas debido a la escasez de estos animales en ecosistemas áridos. La primera semana de prospección fue desalentadora, porque no encontramos nada. El octavo día descubrimos unas pequeñas esquir-

## Reconstruyendo el mundo perdido de los dinosaurios

las en una vaguada, lo que nos animó a hacer catas exploratorias. El esfuerzo valió la pena. Una tras otra fueron apareciendo vértebras articuladas del cuello y de la cola del dinosaurio. Lo más emocionante fue el descubrimiento de los huesos del cráneo. Los dinosaurios tienen el cráneo con los huesos poco fusionados, nada que ver con el cráneo de los mamíferos, cuyos huesos se fusionan poco después del nacimiento, protegiendo el cerebro. En los dinosaurios lo habitual es que los huesos se desarticulen al descomponerse las partes blandas, y los encontramos aislados. Esto es lo que sucedió con el dinosaurio de Agrio del Medio. En la actualidad los fósiles se están preparando en el Museo de Zapala por lo que tardaremos unos años en poderlos estudiar en profundidad, pero se pueden adelantar algunos aspectos. Se trata de un saurópodo rebaquisáurido diferente de *Comahuesaurus*.

El descubrimiento de Agrio del Medio tenía doble sorpresa. Además de los restos del individuo adulto, encontramos los restos de otros dos individuos inmaduros. Sabemos que son animales juveniles porque sus vértebras no tienen fusionadas la espina neural al cuerpo vertebral, tanto en el cuello como en la cola. En los dinosaurios tradicionalmente esta ausencia de fusión se relaciona con individuos en sus primeras etapas de crecimiento, además de por su pequeño tamaño. El descubrimiento es muy significativo al ser los primeros fósiles de rebaquisáuridos juveniles que se han encontrado en el mundo, dándonos información de los cambios que se produjeron durante el crecimiento (ontogenia) de estos dinosaurios. Este singular descubrimiento

**“Los dinosaurios terópodos generaban una cáscara de huevo extremadamente dura. Esto permitiría a los individuos adultos sentarse sobre los huevos para incubarlos.”**

tiene una segunda derivada. ¿Cuál es la razón de encontrar las carcasas de un adulto y dos juveniles en rocas depositadas en un medio extremadamente seco? ¿Quizás era un grupo familiar? ¿La muerte de los progenitores fue la consecuencia de la muerte de su prole? Nunca lo sabremos, pero sin duda despierta nuestra imaginación y creatividad.

### ESTUDIANDO LAS ESTRATEGIAS DE INCUBACIÓN DE LOS DINOSAURIOS

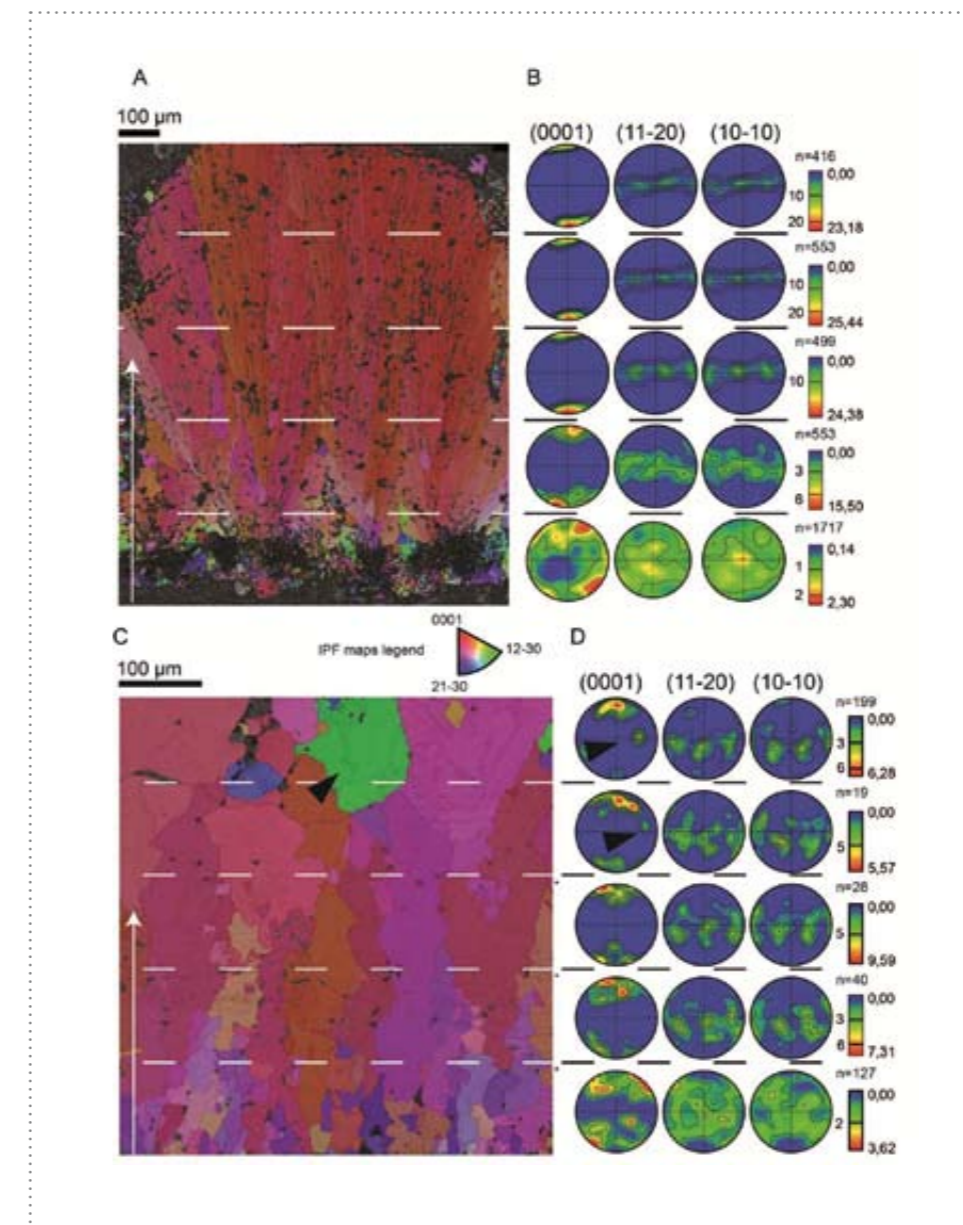
Otro ejemplo de utilización de tecnología punta en la investigación paleontológica es el trabajo que hemos publicado sobre cáscaras de huevo. El estudio forma parte de la tesis doctoral de Miguel Moreno en una colaboración con la Universidad de Liverpool. En el desarrollo de esta investigación se han utilizado técnicas de microscopía electrónica que, si bien son comunes en otros campos, como en Ciencia de los Materiales, solo recientemente se han aplicado al estudio de la estructura de los fósiles. Estas técnicas, las Imágenes de Contraste de Orientaciones y la Difracción de Electrones Retrodispersados, permiten caracterizar la disposición espacial de los cristales de calcita que conforman la cáscara de huevo.

Hemos avanzado en descubrir los mecanismos de formación de la cáscara de huevo de los dinosaurios, identificando la existencia de diferentes estrategias de incubación. Hemos analizado las relaciones entre estos cristales reconstruyendo los procesos que condujeron a la formación de la cáscara. Los especímenes elegidos para esta investigación son cáscaras de Primateoolithidae proveniente del yacimien-

to turoense de La Cantalera (Josa, Cretácico Inferior), una cofamilia relacionada con los dinosaurios terópodos, y un fragmento de cáscara de huevo de un hadrosaurio (cf. *Maiasaura*) del Cretácico Superior de Norteamérica. Se han seleccionado estas cáscaras por tratarse de dos grupos muy separados ecológica y evolutivamente dentro de los dinosaurios. Los terópodos agrupan a los dinosaurios carnívoros, entre los cuales se encuentran los gigantes *Tyrannosaurus* y los pequeños emplumados

*Velociraptor*. Los hadrosaurios son dinosaurios comedores de plantas que alcanzaron tamaños considerables. Se les conoce popularmente como “pico de pato” por la expansión que tiene la parte anterior de su cráneo.

La reconstrucción del crecimiento de los cristales nos ha permitido conocer que los dinosaurios terópodos, incluyendo las aves actuales que habitaron el Cretácico Inferior turoense generaban una cáscara de huevo extrema-



**Mapa de color de IPF de cáscaras de huevo de dinosaurios hadrosaurios (arriba) y terópodos (abajo). Los colores representan la orientación de los ejes c de los cristales de calcita, siendo los tonos rojos cristales orientados verticalmente (hacia arriba con respecto a la imagen) y los tonos verdes y azules cristales orientados perpendicularmente a los primeros.**

Miguel Moreno  
(Grupo Aragosaurus).



## Reconstruyendo el mundo perdido de los dinosaurios

damente dura. Esto permitiría a los individuos adultos sentarse sobre los huevos para incubarlos, además los embriones necesitarían un buen desarrollo para poder romper la cáscara de huevo. Sin embargo, los dinosaurios hadrosaurios utilizan un control biológico más estricto en la formación de la cáscara al introducir defectos en su estructura. Esta estrategia permite unos huevos más frágiles. Esto puede parecer a simple vista una desventaja, ya que impide que los adultos se sienten sobre los huevos para incubarlos y protegerlos, pero también permite el nacimiento de individuos más inmaduros que completarán su desarrollo dentro del nido, como se ha observado en los famosos ejemplares de *Maiasaura* de Montana.

### EL NUEVO "COCODRILLO" ENCONTRADO DEBAJO DE UNA SABINA

En el mundo donde vivían los dinosaurios también había una gran abundancia y diversidad de "cocodrilos". En realidad deberíamos decir crocodilomorfos, porque los verdaderos cocodrilos son vertebrados que aparecieron más tarde, mientras que las formas cocodrilianas más típicas del Mesozoico serían parientes primitivos. Aunque los restos fósiles de "cocodrilos" son relativamente abundantes en los yacimientos, resulta difícil encontrar ejemplares adecuados para su estudio en profundidad. A finales de la década de 2000 encontramos dos cráneos completos en el Maastrichtiense (Cretácico Superior) del Pirineo oscense. Proviene de rocas de hace 66-65 Ma. Estos fósiles forman parte del material de estudio de la tesis doctoral de Eduardo Puértolas. Se trata de un descubrimiento excepcional, al ser los únicos que se encuentran en nuestro país en sedimentos de una antigüedad cercana a la extinción de los dinosaurios. Como cabía esperar se trataba de dos nuevos taxones, uno de ellos lo hemos descrito con el nombre de *Arenysuchus*. Tuvo una gran transcendencia en prensa al representar una especie que nos informa sobre los primeros pasos en la evolución de los cocodrilos modernos. En este artículo nos vamos a referir al segundo cráneo, recientemente publicado con el nombre de *Allodaposuchus subjuniperus*, nombre que viene del griego y el latín y significa "cocodrilo extranjero bajo la sabina".

Vista dorsal del cráneo de *Allodaposuchus subjuniperus* del Cretácico Superior de los Pirineos de Huesca.

Eduardo Puértolas (Grupo Aragosaurus).



Se trata de un maravilloso ejemplar de un cráneo prácticamente completo. El nombre del género ya era conocido y pertenece a una rama extinta del grupo que posteriormente dio lugar al origen del linaje del que descienden todas las especies actuales de cocodrilos, gaviales, aligátores y caimanes. La especie es nueva y hace referencia a que el cráneo fue descubierto debajo de una sabina. De hecho, el cráneo estaba atravesado por una de sus raíces que se ha conservado integrada en fósil.

El género forma parte de un grupo de crocodilomorfos exclusivos del Cretácico Superior de Europa. Los restos conocidos de *Allodaposuchus* son habituales en los sedimentos de final del Cretácico europeo, aunque fragmentarios. Hasta el momento solo se han recuperado tres cráneos lo suficientemente completos como para permitir un estudio en profundidad: uno en Rumanía, otro en Francia y este último en el Pirineo oscense. La paleogeografía de lo que hoy conocemos como Europa era muy diferente hace unos 65 Ma. Había una serie de islas de gran tamaño. Una de ellas era el macizo Ibero-Armoricano que incluía el sur de Francia e Iberia. La separación entre estas islas permitió la evolución vicariante de *Allodaposuchus* en las distintas masas terrestres. Por último cabe destacar que *Allodaposuchus* pudo ser una de las víctimas de la extinción masiva relacionada con el impacto de un meteorito en el final del Cretácico-Terciario, ya que no se han encontrado sus restos fósiles en las rocas de la base del Terciario.

### LOS SAURÓPODOS Y LA CAÍDA DE UN METEORITO HACE 65 MA

La extinción de los dinosaurios no avianos es uno de los temas en ciencia con más repercusión en la literatura científica y divulgativa. Uno de los lugares clave para investigar esta extinción son los Pirineos de Huesca y Lérida. Es uno de los pocos lugares del mundo donde se encuentran las formaciones rocosas con vertebrados continentales entre los 70 y 50 Ma. Esta extinción se produjo aproximadamente hace 65 Ma. Desde hace 20 años estamos documentando la diversidad de los

### REFERENCIAS

Todo lo que hemos contado está desarrollado de manera amplia en las publicaciones científicas. Para los que estén más interesados se pueden descargar en la Biblioteca de nuestra Universidad, o se pueden pedir a los miembros del equipo por correo electrónico. Os adjuntamos la referencia de los trabajos:

- Badiola A., Canudo J. I. y Cuenca-Bescós G. (2011). A systematic reassessment of Early Cretaceous multituberculates from Galve (Teruel, Spain). *Cretaceous Research* 32(1), 45-57.
- Carballido J., Salgado L., Pol D., Canudo J. I. y Garrido A. (2012). A new basal rebbachisaurid (Sauropoda, Diplodocoidea) from the Early Cretaceous of the Neuquén Group: evolution and biogeography of the group. *Historical Biology* 24(6), 631-654.
- Castanera D., Vila B., Razzolini N. L., Falkingham P. L. y Canudo J. I. (2013). Manus track preservation bias as a key factor for assessing trackmaker identity and quadrupedalism in basal ornithomorphs. *PLoS ONE* 8(1): e54177.
- Cuenca-Bescós G., Badiola A., Canudo J. I., Gasca J. M. y Moreno-Azanza M. (2011). New dryolestidan mammal from the Hauterivian-Barremian transition. *Acta Paleontologica Polonica* 56(2), 257-267.
- Moreno-Azanza M., Mariani E., Bauluz B. y Canudo J. I. (2013). Growth mechanisms in dinosaur eggshells: an insight from electron backscatter diffraction. *Journal of Vertebrate Paleontology* 33(1), 121-130.

## Reconstruyendo el mundo perdido de los dinosaurios



Uno de los fémures de saurópodo estudiados en el Museo de Geología de Barcelona. En la fotografía, tres de los autores: J.I.Canudo, B. Vila y A. Galobart.

Grupo Aragosaurus.

dinosaurios en estas rocas. Esto nos ha permitido descubrir dos nuevos hadrosaurios (*Arenysaurus* y *Blasisaurus*) en la localidad de Arén (Huesca). Pero este año hemos ido un poco más lejos estudiando los saurópodos, un grupo de dinosaurios mal conocido a nivel mundial en los sedimentos del final de la época de los dinosaurios.

Por el momento, no se han encontrado ejemplares completos de saurópodos en los Pirineos

españoles. Esto dificulta conocer cuántas y cuáles fueron las especies que vivieron al final del Cretácico en esta área, pero podemos hacer un aproximación. Lo que conocemos es una gran cantidad de fémures aislados de saurópodos descubiertos tanto por nosotros como por otros investigadores. El fémur es un hueso importante para la clasificación de los dinosaurios. Cada especie presenta una morfología del fémur diferente. Partiendo de esta evidencia

hemos estudiado todos los fémures que se conocían en yacimientos de los Pirineos españoles y del sur de Francia, áreas que a finales del Cretácico formaban parte de la gran Isla Ibero-Armoricana. Además hemos situado con precisión a cada uno de estos fósiles en su contexto estratigráfico, de esta manera hemos conocido con bastante exactitud su edad.

**“Una de las polémicas científicas es conocer si los dinosaurios estaban en declive, es decir, había disminuido su diversidad, o no, antes del evento de extinción.”**

Con toda esta información sabemos el número mínimo de saurópodos que había poco antes de su extinción en la Isla Ibero-Armoricana. Los resultados que obtuvimos son interesantes y esclarecedores. Al menos vivían tres saurópodos distintos en esta parte de Europa al final del Cretácico. Una de las polémicas científicas en este tema es conocer si los dinosaurios estaban en declive, es decir, había disminuido su diversidad, o no, antes del evento de extinción. Nuestros resultados indican que los saurópodos no redujeron en diversidad en los últimos 10 Ma en esta parte del mundo. Se trata de un espaldarazo a la teoría catastrofista, que postula un evento o conjunto de eventos simultáneos que borró de la faz de la tierra a los dinosaurios no avianos, junto con gran parte de la biodiversidad del Mesozoico, pero hay mucha investigación por realizar para que esta teoría esté totalmente comprobada. Nosotros seguimos en ello.

José Ignacio Canudo (a), Ainara Badiola (b), José Luís Barco (a), Diego Castanera (a), Penélope Cruzado (a), Ester Díaz (a), Ignacio Díaz (c), José Manuel Gasca (a), Miguel Moreno (a), Jara Parrilla (a), Eduardo Puértolas (a), José Ignacio Ruiz-Omeñaca (d), Bernat Vila (a) y Gloria Cuenca (a).

a. Grupo Aragosaurus - IUCA  
Facultad de Ciencias  
Universidad de Zaragoza  
[www.aragosaurus.com](http://www.aragosaurus.com)  
[jjcanudo@unizar.es](mailto:jjcanudo@unizar.es)

b. Dpto. Estratigrafía y Paleontología  
Facultad de Ciencias y Tecnología  
Universidad del País Vasco

c. Dpto. de Química  
Facultad de Ciencias, Estudios Agroalimentarios e Informática  
Universidad de La Rioja

c. Museo del Jurásico de Asturias (MUJA)  
Colunga (Asturias)

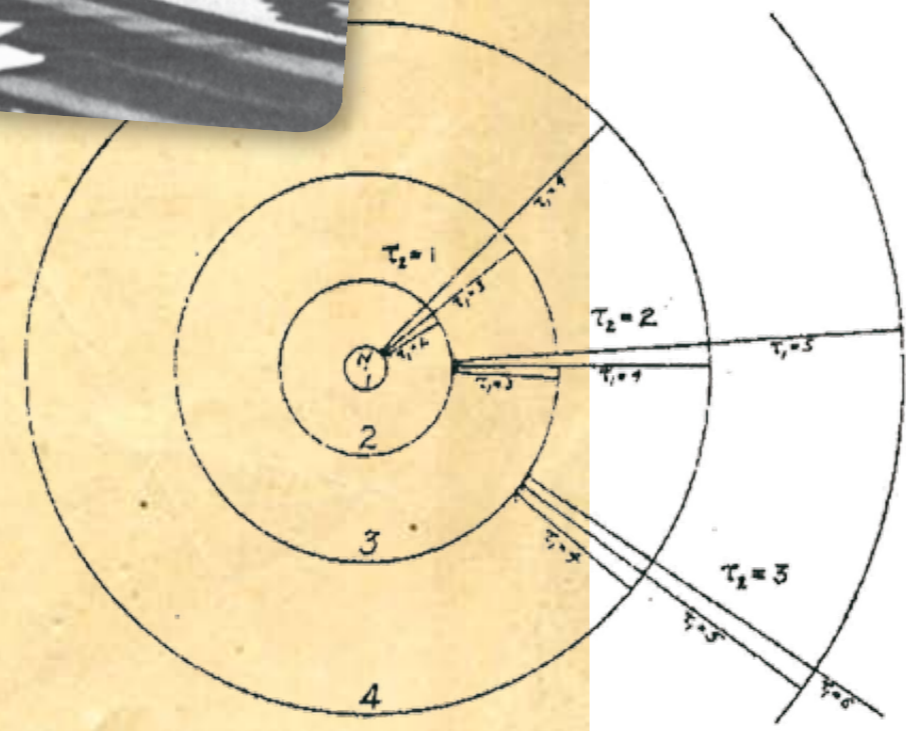
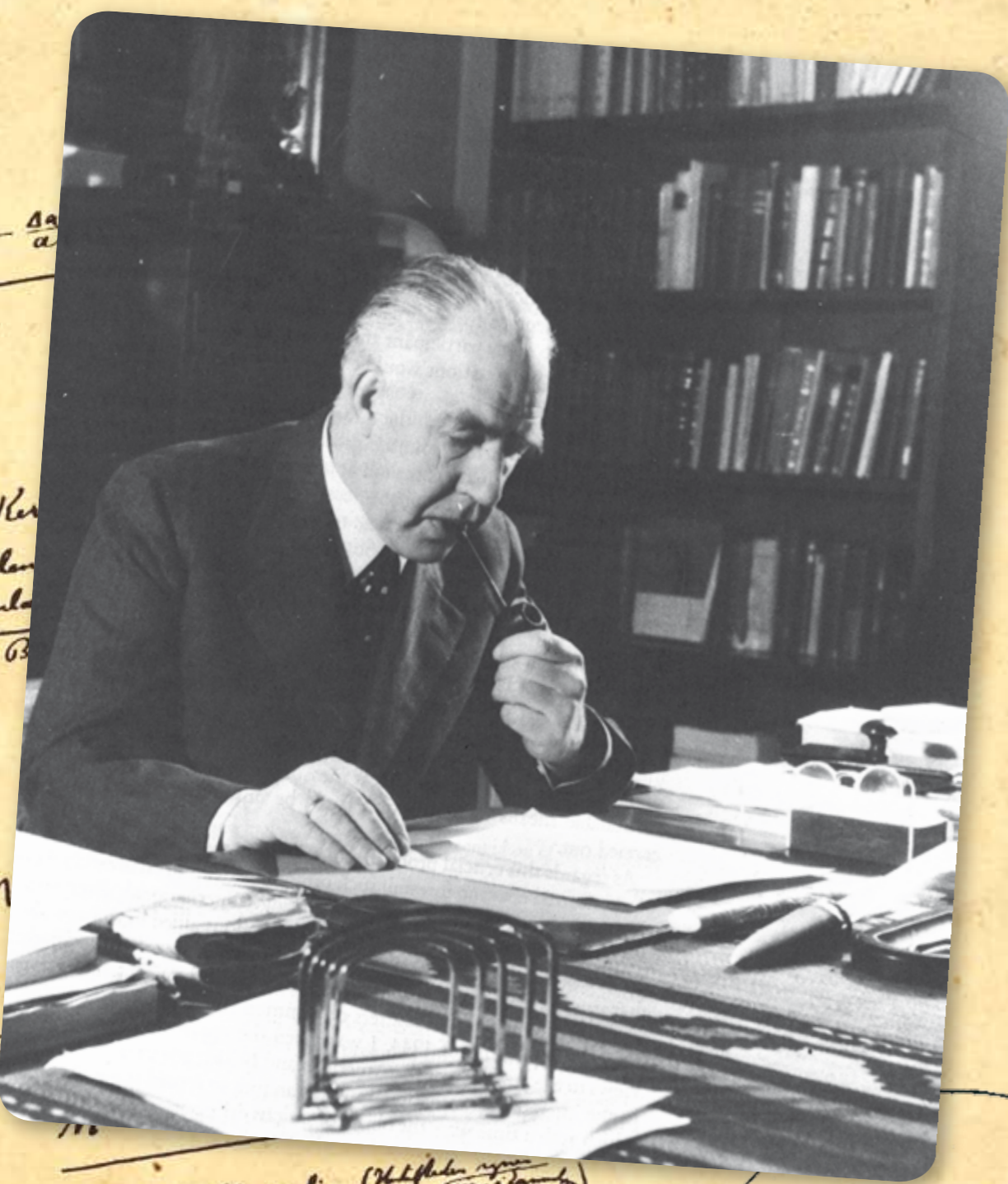
- Parrilla-Bel J., Young M. T., Moreno-Azanza M. y Canudo J. I. (2013). *The first me-triorhynchid crocodyliform from the Middle Jurassic of Spain, with implications for evolution of the subclade Rhacheosaurini*. PLoS ONE 8(1), e54275.
- Puértolas-Pascual E., Canudo J. I. y Moreno-Azanza M. (2013). *The eu-suchian crocodylomorph Allodaposuchus subjuniperus sp. nov., a new species from the Latest Cretaceous (upper Maastrichtian) of Spain*. Historical Biology, en prensa
- Ruiz-Omeñaca J. I., Canudo J. I., Cuenca-Bescós G., Cruzado-Caballero P., Gasca J. M. y Moreno-Azanza M. (2012). *A new basal ornithopod dinosaur from the Barremian of Galve, Spain*. Comptes Rendus Palevol 11(6), 435-444.
- Salgado L., Canudo J. I., Garrido A.C. y Carballido J. L. (2012). *Evidence of gregariousness in Rebbachisauridae (Dinosauria, Sauropoda, Diplodocoidea) in the Early Cretaceous of Neuquén (Rayoso Formation), Patagonia, Argentina*. Journal of Vertebrate Paleontology 32(3), 603-613.
- Vila B., Galobart A., Canudo J. I., Le Loeuff J., Dinarés-Turell J., Riera V., Oms O., Tortosa T. y Gaete R. (2012). *The diversity of sauropod dinosaurs in the latest Cretaceous of Southwest of Europe*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 350-352, 19-38.

# EL ORIGEN DE LA TEORÍA CUÁNTICA DEL ÁTOMO.

## NIELS BOHR, 1913

“Bohr se dio cuenta de que las dificultades del átomo de Rutherford no tenían solución en el dominio de la Física clásica.”

**POR LUIS JOAQUÍN BOYA**



$\frac{\Delta W}{W} = -\frac{\Delta a}{a}$

om en Ker  
ly alle alen  
ij en erbul  
den ellipitide 63

den raktuler under et Omkret er  $l_j$  (Multiplikation af  $\frac{h}{m v}$  med  $2\pi$ )

$l = \frac{2\pi r^2 \dot{\phi}}{m v} = \frac{2\pi r^2 \dot{\phi}}{3 c^2 m^2} = \frac{2\pi r^2 \dot{\phi}}{3 c^2 m^2} \int_0^{2\pi} \frac{1}{r} dt$

$l = h \frac{1 - \epsilon^2}{(1 - \epsilon \cos \phi)}$

$\int_0^{2\pi} \frac{1}{1 - \epsilon \cos \phi} d\phi = \frac{2\pi}{1 - \epsilon^2}$

$\frac{dW}{W} = \frac{2e^2 \epsilon^2 T (2 + \epsilon^2)}{3c^2 m^2 a^2 b (1 - \epsilon^2)^2}$

mentet Nævnende for Multiplikation (Atkæm  $\hbar$  p. 123)

$\ddot{r} = \frac{d}{dt} \cdot \dot{r} = \frac{d}{dt} \left( \frac{e \dot{\phi}}{m \dot{\phi}} \dot{r} \right) = \left( \hbar \frac{e \dot{\phi}}{m \dot{\phi}} \left( -\frac{3 \dot{\phi}}{2c} \right) + \frac{e \dot{\phi}}{m \dot{\phi}} \dot{r} \right)$

$\hbar = \dot{r}$

## El origen de la Teoría Cuántica del átomo. Niels Bohr, 1913

**E**ste año 2013 es el centenario del átomo de Bohr, que inauguró la aplicación de la teoría cuántica al átomo. En esta exposición se recuerda la construcción de Bohr en su "Trilogía" (1913), se comentan diversos éxitos de la teoría cuántica antigua (1913-1925), así como algunas de sus dificultades, que llevaron al establecimiento de la Mecánica Cuántica moderna (Heisenberg, junio de 1925).

### HISTORIA DE LA HIPÓTESIS ATÓMICA

Que la divisibilidad posible de la materia pudiese terminar, que tuviese un límite, admitiendo por tanto los átomos con un cierto tamaño, fue ya imaginado por los griegos, desde los tiempos de Leucipo y Demócrito (s. V a. de C.); luego Lucrecio (este ya en Roma) abundó en el tema, influenciado por Epicuro; enfrente estaba la posición de Aristóteles y otros que defendían la posibilidad de división infinita de la

materia. La hipótesis atómica llegó como pura especulación hasta el siglo XIX pasando por un hilo conductor muy fino, del que entresacamos solo los nombres de P. Gassendi (francés, s. XVII) y G. Boskovitch (de Dalmacia, actual Croacia, s. XVIII), los dos sacerdotes católicos. También Newton era atomista: en particular defendió la teoría corpuscular de la luz.

La hipótesis atómica renace científicamente (como opuesta a su versión puramente filosófica) con los químicos ingleses y franceses de principios del s. XIX, desde Lavoisier hasta Faraday, pero sobre todo con Prout, Dalton y Proust. Los primeros modelos moleculares son de esa época, hacia 1820. La teoría atómica se incorporó a la teoría cinética de la materia (ca. 1840) en cuanto se entendió que el calor era una consecuencia de la agitación "térmica" de las moléculas; los primeros nombres aquí son Mayer, Joule y Helmholtz... En la segunda mitad del siglo XIX se empiezan a utilizar

sistemáticamente los átomos y las moléculas en muchos capítulos de la Física y sobre todo de la Química; en particular, se desarrolló mucho la teoría cinética molecular de los gases.

Hacia fin de ese siglo XIX domina una filosofía científica en extremo positivista, que arranca con August Comte, ca. 1850. Uno de sus insignes seguidores es Ernest Mach (1838-1916), quien se opone abiertamente a la existencia de los átomos, porque ni son "visibles" ni parece que puedan serlo (en un futuro próximo). Ludwig Boltzmann (1844-1906) se erige en campeón de los atomistas; pero tiene tantos contradictores que esa oposición se cita como una de las concausas de su suicidio en 1906. El propio Planck fue al principio antiatomista, mientras que Einstein fue siempre un encendido partidario de los átomos y abogó por buscar las pruebas experimentales de su existencia.

A fines del s. XIX una serie de descubrimientos experimentales van a elevar la teoría atómica de hipótesis razonable a ser una verdad incontrovertible, aunque ahora los átomos serán divisibles; citemos en serie: los rayos X (Röntgen, 1895), la radiactividad (Becquerel, 1896, los Curie; en seguida, E. Rutherford), el electrón (J. J. Thomson, 1897) y el efecto Zeeman (Zeeman, 1896), predicho por H. A. Lorentz el año anterior; parecía indudable en consecuencia de todo esto hacia, digamos 1900, que:

- Existen los átomos que, eventualmente, darán lugar, por combinación, a las muy diversas moléculas.
- La electricidad forma parte de la estructura atómica (si solo por la presencia de los rayos catódicos (electrones) y los rayos canales (iones positivos), más las cargas  $+2|e|$  de las partículas alfa, y beta  $-|e|$  en radiactividad); como consecuencia,
- Los átomos existen, pero (anti-etimológicamente) son divisibles, y sus constituyentes están eléctricamente cargados.

**“Que la divisibilidad posible de la materia pudiese terminar, admitiendo los átomos con un cierto tamaño, fue ya imaginado por los griegos.”**

### EL ÁTOMO DE RUTHERFORD

En esta época, hacia 1900, nacen las primeras especulaciones sobre la constitución de los átomos: hay diversos modelos atómicos, debidos e.g. a Lenard (la "dinamida"), al japonés Nagaoka (el átomo "saturniano") y el modelo más duradero de J. J. Thomson (esfera cargada positiva "gruesa", con electrones merodeando y neutralizando), que hoy solo tienen interés histórico.

El neozelandés (de origen) Ernest Rutherford (1871-1937) emprendió una investigación sistemática del átomo basándose en el fenómeno de la radiactividad, que él fue el primero en identificar como diferenciada en rayos  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$ , los tres de muy diferente constitución. En particular, experimentos de él mismo y sus colaboradores, haciendo incidir partículas alfa sobre diversos blancos y estudiando su dispersión, con sus auxiliares Geiger (el del contador) y Marsden, en 1908-1911, dejaron fuera de toda duda que los átomos estaban constituidos por un "núcleo" central, que abarca casi toda la masa del átomo, con carga positiva, en un volumen muy pequeño (radio del orden de  $10^{-12}$  cm), neutralizado por una nube de electrones, girando de algún modo alrededor del núcleo; se sabía ya entonces, por diversos argumentos físico-químicos, que el diámetro de los átomos era del orden del Angstrom ( $1 \text{ \AA} = 10^{-8}$  cm), de modo que el átomo resultaba estar esencialmente vacío.

Templo Erecteion en la Acrópolis de Atenas (Grecia).

<http://viaje-a-grecia.blogspot.com.es>



## El origen de la Teoría Cuántica del átomo. Niels Bohr, 1913

Aquí hay un hecho curioso, insuficientemente explicado en la literatura: fue una "casualidad" que la fórmula deducida por Rutherford, conocida como la "Rutherford scattering formula", que determinaba la sección eficaz angular de dispersión,  $d\sigma/d\Omega$ , de las partículas alfa por los núcleos, fuese válida también en la mecánica cuántica moderna (M. Born, 1926), pues evidentemente Rutherford solo pudo deducirla, en 1909, de la mecánica clásica. De esa fórmula se sigue que las partículas alfa son desviadas con la ley  $d\sigma/d\Omega \propto \text{cosec}^4(\theta/2)$ , bien verificada experimentalmente.

Resulta difícil hoy día darse cuenta de lo poco plausible que era ese modelo de Rutherford del átomo, a principios del pasado siglo veinte: si algo parecía cierto e inviolable en Física eran las ecuaciones de Maxwell (1865), pero estas decían que una carga acelerada radia: los electrones solo se pueden considerar moviéndose alrededor del núcleo en órbitas cerradas, por tanto con aceleración, y por ello el sistema es dinámicamente inestable en sentido clásico: la energía radiada haría que, eventualmente, el electrón se precipitase en el núcleo; Thomson y otros habían estudiado además cómo se deben estructurar los electrones, si hay más de uno, para que se formase un (precario) equilibrio electrostático, aun sin contar con la inestabilidad por radiación... así resulta que el átomo de Thomson era relativamente poco estable, pero el de Rutherford era altamente inestable: si los electrones peri-nucleares no se mueven, no hay equilibrio, y si se mueven deben radiar energía; si radian energía, la pierden, y acabarían estrellándose en el nú-

cleo: no es así como se observaban los átomos, cuya estabilidad, incluso durante siglos, estaba empíricamente fuera de toda duda.

Rutherford era un (excelente) experimentador, pero no se preocupó demasiado de los posibles defectos teóricos de su modelo atómico.

### EL ÁTOMO DE BOHR: ANTECEDENTES INMEDIATOS

Ahora entra en juego el gran físico danés Niels Bohr (Copenhague, \*1885 y †1962). Fue a Cambridge, Inglaterra, con J. J. Thomson tras defender su Tesis de 1911 sobre la situación de los electrones en los metales (teoría iniciada poco antes por Lorentz y Drude); no hubo sintonía entre ellos, y Bohr aterrizó en Manchester con Rutherford, con el que hubo buena armonía desde el principio. Bohr se dio cuenta de que las dificultades del átomo de Rutherford no



Niels Bohr (1885-1962).

<http://3d-car-shows.com>



Copenhague (Dinamarca), ciudad donde nació y murió Niels Bohr.

<http://hawaiianmusings.blogspot.com.es>

tenían solución en el dominio de la Física clásica, de cuya insuficiencia él ya se había percatado en su Tesis doctoral (en especial en el estudio de las propiedades magnéticas de los metales). Pero antes de describir las contribuciones concretas de Bohr a la teoría atómica revisemos algunos antecedentes próximos (una biografía muy completa de Bohr viene en el libro de Pais<sup>1</sup>).

Recordemos que ya en diciembre de 1900 Max Planck (1858-1947) había introducido la hipótesis cuántica, en particular la constante  $h$  (por *hilfsmittel*), para explicar el espectro de la radiación térmica: esa constante  $h$  reflejaba el cuanto de acción (*Wirkung quantum*), y del que Albert Einstein (Ulm, 1879 – Princeton, 1955) se sirvió en 1905 para explicar el efecto fotoeléctrico, mediante la hipótesis del cuanto de luz. La idea, por tanto, de recurrir a lo "cuántico" para explicar fenómenos difíciles para la Física clásica de la época flotaba en el ambiente ya para 1900/1910, y así podemos relatar, al menos, algunos antecedentes de la teoría de Bohr:

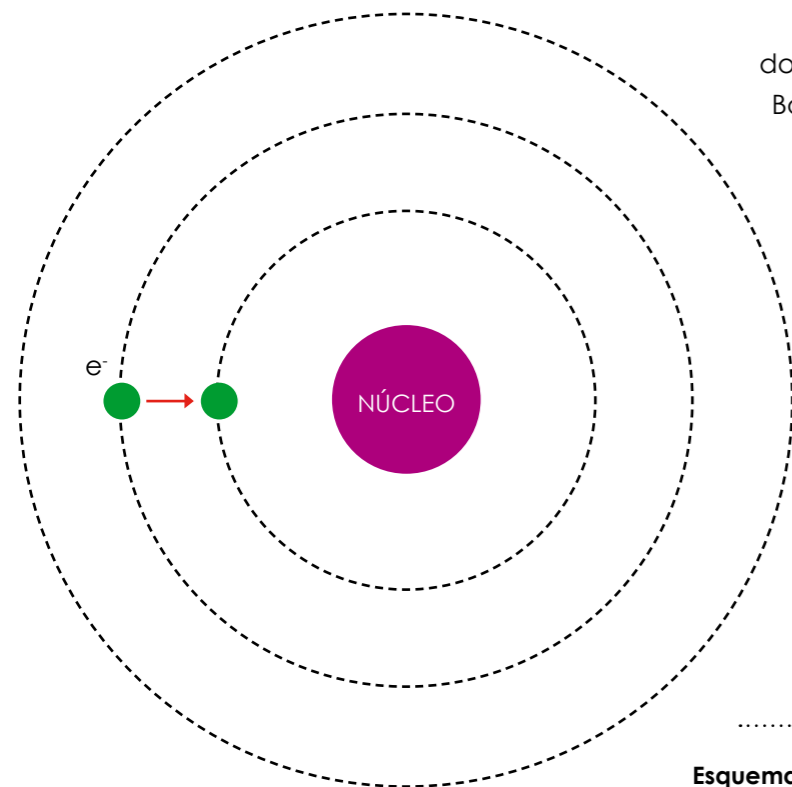
- En 1910, Arthur E. Haas (1884-1941) en Viena se dio cuenta que con la constante de Planck  $h$  (y otras conocidas, como  $m = m_e$ , la masa del electrón, y  $e$ , su carga eléctrica) se puede formar una longitud; de hecho, veremos que el radio del átomo de hidrógeno será  $\hbar^2/me^2 \approx \frac{1}{2} A$ ; ( $\hbar$  es la constante de Planck reducida,  $\hbar = h/2\pi$ ), con lo que se podría solucionar el problema de la ausencia de "escala" en el átomo de Rutherford (en el modelo previo de Thomson, el radio del átomo se da "a priori" y se ajusta al "experimental").

**“La persona que presentó una teoría consistente y coherente, y dio una explicación cuantitativa correcta de ciertos resultados espectrales fue Niels Bohr.”**

# El origen de la Teoría Cuántica del átomo. Niels Bohr, 1913

- b. Arnold Sommerfeld (1868-1951) en el primer Congreso Solvay (Bruselas, 1911) ya dijo (corrigiendo a J. Stark), que no es que la constante de Planck se justifique por la existencia de los átomos, si no al contrario: la justificación y la explicación de la estructura atómica debe buscarse por medio del cuanto de acción.
- c. El astrofísico y matemático inglés John W. Nicholson (1881-1955) fue el primero en utilizar la constante de Planck para explicar ciertos aspectos de los espectros estelares (1912), que en aquella época se relacionaban más con la Química y que constituían un misterio muy difícil...

Pero la persona que presentó una teoría consistente y coherente, y dio una explicación cuantitativa correcta de ciertos resultados espectrales, fue Niels Bohr, en la primera parte de su "Trilogía", publicada en la revista científica inglesa *Philosophical Magazine* en julio de 1913.<sup>2</sup>



Esquema atómico de Bohr.

## POSTULADOS DE BOHR

El primer capítulo de la Trilogía de Niels Bohr, y el más logrado, estudia un átomo con un solo electrón. Bohr prefiere siempre presentaciones "dogmáticas" y parte de dos enunciados axiomáticos: Los dos *postulados de Bohr* son los siguientes:

1. El átomo (modelo de Rutherford, con núcleo central y electrones girando alrededor en ciertas órbitas) se presenta solo en ciertos estados "i" con energía  $E_i$ , en los cuales, por definición, (y al contrario de lo esperado por la Física clásica), los electrones acelerados *no* radian.
2. Un electrón en el átomo puede "saltar" de un estado con energía inicial  $E_{ini}$  a otro final con  $E_{fin}$  (también se dice: de una órbita a otra), y entonces emite radiación homogénea en forma de un cuanto de radiación, un cuanto de energía, con energía  $\Delta E$  y frecuencia  $\nu$  dados por la ecuación de Planck:

$$\Delta E \equiv E_{ini} - E_{fin} = h \nu$$

donde  $h$  es la constante (original) de Planck. Bohr hace así uso tanto del postulado de Planck, con su constante  $h$ , como de la teoría de Einstein de 1905, aunque se guarda muy bien de hablar de "cuantos de luz", la expresión de Einstein, y habla solo, y pocas veces, de "cuantos de energía".

En particular, se sigue de los dos postulados que el estado de energía más bajo, llamémoslo  $E_0$ , es absolutamente estable en ausencia de perturbaciones externas.

¿Cuales son las órbitas permitidas, y cómo se calcula su energía? Se mantiene la mecánica clásica para la caracterización de las órbitas permitidas, pero se altera la electrodinámica para que, a pesar de llevar los electrones un movimiento acelerado, no se radie luz más que en las condiciones del segundo postulado. Pensemos, en concreto, en el átomo de hidrógeno H, compuesto por un núcleo masivo y cargado positivo, y un electrón danzando alrededor. ¿Cómo se averiguan las órbitas? Para su cálculo, hace primero Bohr tres plausibles aproximaciones: a) las orbitas del electrón son circulares (y no circulares o *elípticas*, también permitidas clásicamente por el potencial de Coulomb). b) Se considera el núcleo con masa infinita, o sea: la masa del electrón  $m = m_e$  despreciable frente a la nuclear  $M = m_p$ . c) Se supone que el movimiento es no relativista, es decir, se supone que  $v_{el} \ll c$ .

Lo que Bohr hace equivale a aceptar como órbitas permitidas aquellas en que el momento angular (orbital) del electrón  $J$  es un múltiplo (digamos  $n$ ) de la constante de Planck reducida  $\hbar$ , o sea  $J = n \hbar$ . Esta es la condición de cuantización, que supone la ruptura más clara con la Física clásica. Bohr aceptó, via la hipótesis de Planck, una condición *idéntica* a la que había definido Nicholson (mentado antes); su plausibilidad depende de que las dimensiones coinciden:

$$\begin{aligned} \dim(J) &= \dim(m \cdot r \cdot v) = \dim(m \cdot v \cdot r) = \\ &= \dim(\text{momento lineal} \cdot \text{longitud}) = \\ &= \dim(\text{energía} \cdot \text{tiempo}) = \dim(\text{acción}) = \dim(h) \end{aligned}$$

Resulta difícil hoy día juzgar el atrevimiento de Bohr con los dos postulados de arriba. Cuando Bohr poco tiempo después, habló sobre su modelo atómico en la Conferencia de la British Association en Birmingham, invitado por Rutherford (1914), algunos escépticos se



Bohr con Max Planck (arriba). Einstein caminando con Bohr por las calles de Bruselas durante uno de los Congresos Solvay, hacia 1930 (abajo).

Imágenes tomadas del libro "Niels Bohr, a Centenary Volume". French A. P. y Kennedy P. J.

# El origen de la Teoría Cuántica del átomo. Niels Bohr, 1913

creyeron que Bohr was pulling our legs (les estaba tomando el pelo...). Tampoco M. von Laue, en Alemania, dio crédito a Bohr, insistiendo en que las leyes de Maxwell rigen bajo cualquier circunstancia... y en particular, en que toda partícula acelerada debe radiar...

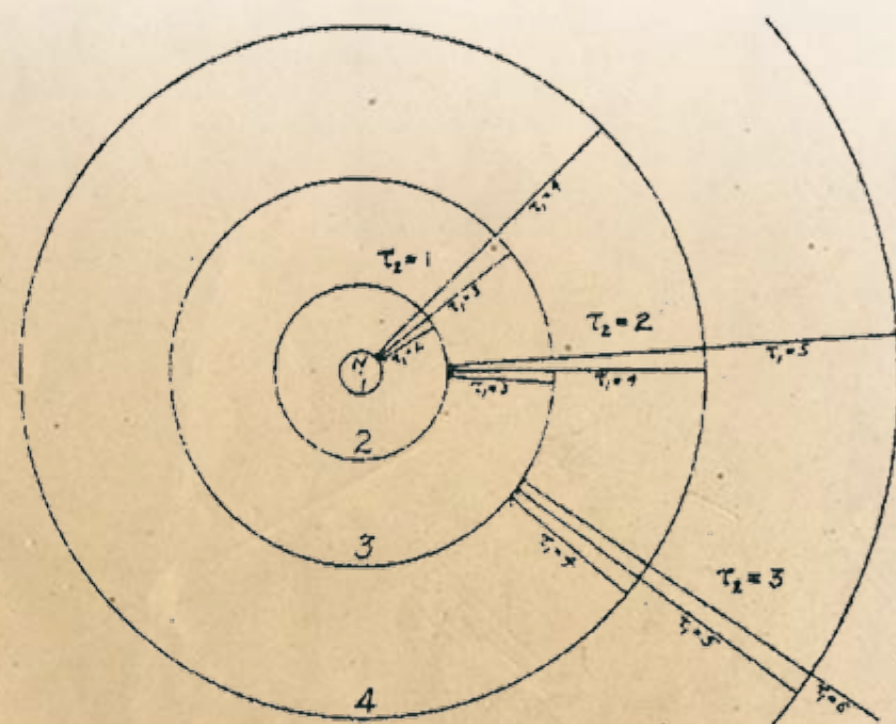
En el recuadro adjunto, se puede seguir un cálculo detallado del radio de Bohr (desarrollo 1).

Bohr observó, además, que, al aumentar el radio con  $n^2$  (n se llamará, con Sommerfeld, *número cuántico principal*), en el laboratorio sería difícil observar líneas con n muy grande, pues a las densidades accesibles experimentales un átomo tan voluminoso no sería muy estable; en esto también Bohr acertó plenamente, así como en su consecuencia: en las estrellas, con densidades mucho más bajas, podrían observarse líneas espectrales con n muy alto... y así era en efecto (hasta 33 líneas, frente a 12 solo, en el laboratorio).

La "unidad" de energía en el átomo, resulta del orden de unos pocos electron-volts, y era también de un orden de magnitud en acuerdo con las medidas de los potenciales de ionización ( $\times e$ ), también conocidos en la época.

Solo la serie de Balmer, en el visible, era conocida antes de 1913; pero inmediatamente se descubrieron la de Lyman (1914), en el UV, y la de Paschen, en el IR. Por ejemplo, la llamada línea  $H_{\beta}$ , o sea la segunda línea de la serie de Balmer, es la transición desde  $n=4$  a  $n=2$ , con radiación de longitud  $\lambda \approx 6100 \text{ \AA}$ , en la zona roja del espectro (desarrollo 2).

Ni qué decir tiene que la concordancia de la fórmula deducida por Bohr con la encontrada por Balmer fue el gran éxito de la teoría de Bohr, y ninguno de sus antecesores, ni Haas ni Nicholson, no llegaron (ni remotamente) tan lejos. Es de señalar, sin embargo, que Bohr no buscaba concordancia con la fórmula de Balmer



**El modelo atómico de hidrógeno de Bohr. Probablemente, el primer dibujo de este tipo, trazado en un papel en el año 1915.**

Imagen tomada del libro "Niels Bohr and the Quantum Atom". Kragh H.

**“Bohr originalmente no buscaba concordancia con la fórmula de Balmer, sino solo explicar la estructura y la posibilidad de radiación del átomo de Rutherford.”**

(ignoraba la fórmula, hasta que se la mostró el espectroscopista danés H. Hansen), sino solo "explicar" la estructura y la posibilidad de radiación del átomo de Rutherford, "estabilizado" por sus condiciones cuánticas.

Bohr se apuntó otro importante triunfo al año siguiente cuando en Inglaterra se descubrió al poco (A. Fowler) una pequeña discrepancia espectroscópica en el helio ionizado ( $Z=2$ ), que Niels Bohr atribuyó, correctamente, al movimiento del núcleo: sabido es que un sistema de dos cuerpos con fuerzas centrales equivale al sistema de un solo cuerpo en el mismo potencial, pero con la masa reducida  $\mu$ :

$$\mu^{-1} = m^{-1} + M^{-1}$$

con lo que las correspondientes constantes de Rydberg, para el hidrógeno y para el helio normal, valen:

$$R = R(M = \infty) = 2\pi^2 m e^4 / h^3 c = 109737 \text{ cm}^{-1}$$

$$R(H) = 2\pi^2 \mu(H) e^4 / h^3 c = 109677 \text{ cm}^{-1}$$

$$R(He) = 2\pi^2 \mu(He) e^4 / h^3 c = 109722 \text{ cm}^{-1}$$

Este argumento, de refinamiento de la fórmula de Balmer por efecto finito de la masa del núcleo, fue advertido a Einstein por el húngaro G. Hevesy, e inmediatamente aquél se "convirtió" al credo de Bohr, no sin señalar que a él mismo (Einstein) ya se la había ocurrido la idea de "cuantificar" las órbitas... pero que no lo publicó.

## DESARROLLO 1:

Veamos el cálculo cuantitativo (el presentado por Bohr es más indirecto). Así pues, sean  $m$ ,  $-e$ ,  $r$  y  $v$  la masa, carga eléctrica, radio y velocidad del electrón; y sea  $Z$  el número de cargas positivas del núcleo, de modo que  $+Z|e| = Ze$  es la carga de éste; el átomo en estado normal se supone neutro. Se acepta, con la teoría clásica, la igualdad entre la fuerza centrífuga del movimiento circular y la atracción electrostática, pero se supone el momento angular cuantizado "a lo Nicholson" (la condición que presenta Bohr es algo diferente, pero equivalente):

$$\text{Momento angular} = 2\pi r m v = n h \quad (\text{regla de cuantización}) \quad (\text{ec. 1})$$

$$m v^2 / r = Z e^2 / r^2 \quad (\text{fuerza centrífuga} = \text{atracción coulombiana}) \quad (\text{ec. 2})$$

Escribiendo la segunda ecuación como  $m r v^2 = Z e^2$ , se tiene en el acto, dividiendo las dos ecuaciones:

$$v = (Z/n) e^2 / \hbar \quad (\text{ec. 3})$$

donde  $\hbar = h/2\pi$  es la llamada constante de Planck reducida, más fácil de usar y de recordar ( $\hbar \approx 10^{-27}$  en unidades cgs.). Ciertamente, el átomo (para  $Z$  pequeño) es muy poco relativista, pues, si  $c$  es la velocidad de la luz,

$$v/c = (Z/n) (e^2 / \hbar c) = (Z\alpha/n), \quad \text{con } \alpha \equiv e^2 / \hbar c \approx 1/137 \approx 7\% \quad (\text{ec. 4})$$

( $\alpha$  se llama la constante de estructura fina, y fue introducida por Sommerfeld en 1915), máxime teniendo en cuenta que, siendo  $x$  un vector, la velocidad  $v = dx/dt$  debe aparecer al cuadrado, como el escalar  $v \cdot v$ , y tenemos que  $(v/c)^2 \approx 5 \times 10^{-5}$  en el caso  $n=1$  y  $Z=1$ : salvo precisiones del orden de la millonésima, el átomo puede considerarse no-relativista.

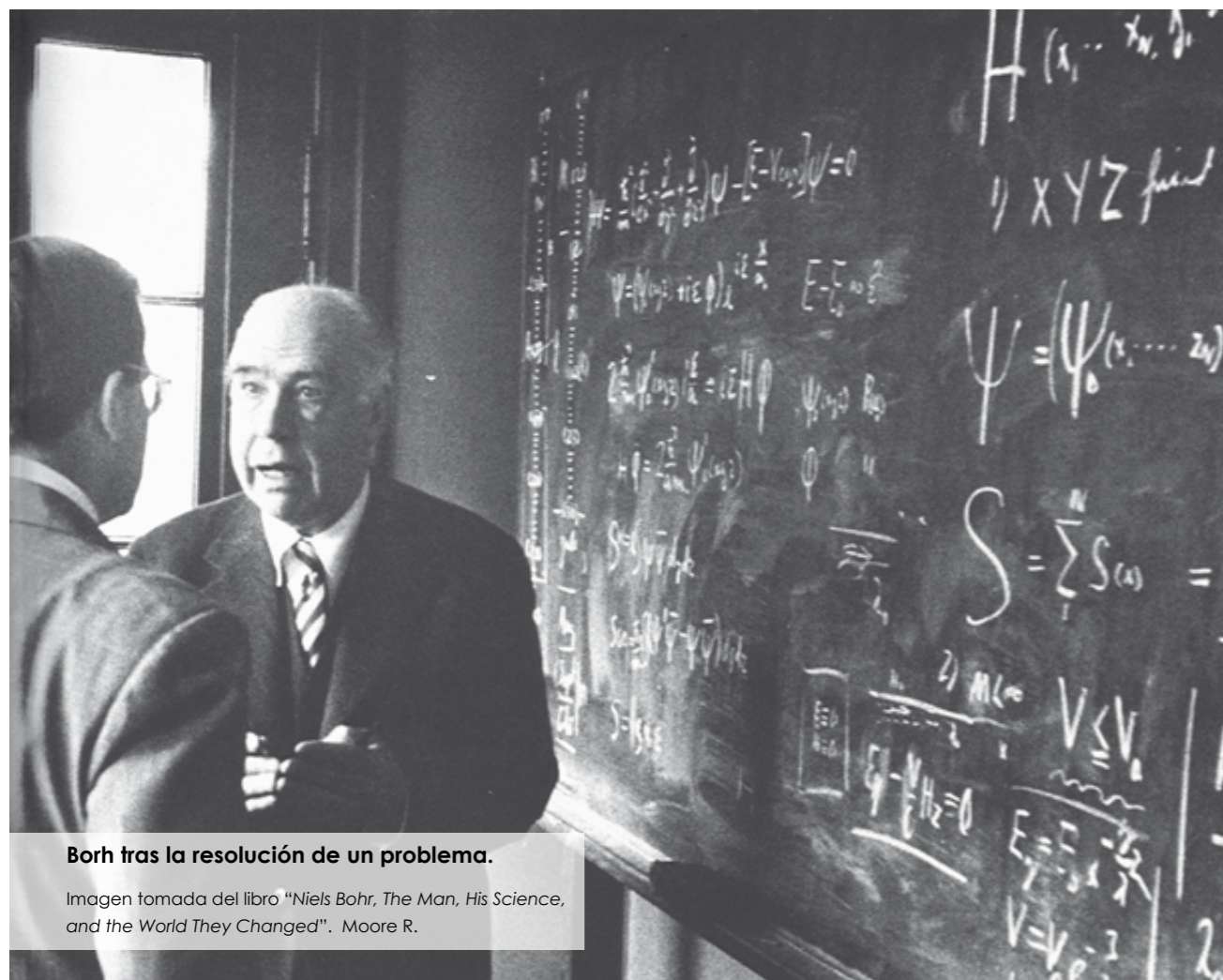
Despejando a continuación, el radio se tiene:

$$r = (n^2/Z) \hbar^2 / m e^2, \quad a_0 := \hbar^2 / m e^2 \approx .5 \times 10^{-8} \text{ cm}$$

es el **radio de Bohr** (ec. 5)

que, en efecto, es del orden de los radios atómicos, siendo su escala ya conocida en la época; Haas, v. *supra*, ya había llegado también a esta conclusión.

# El origen de la Teoría Cuántica del átomo. Niels Bohr, 1913



**Bohr tras la resolución de un problema.**

Imagen tomada del libro "Niels Bohr, The Man, His Science, and the World They Changed". Moore R.

Como creemos que esta construcción del átomo es la mayor contribución de Niels Bohr a la Física, destaquemos de nuevo brevemente sus éxitos:

- El átomo se hace estable por *fiat*, pues no rige indiscriminadamente la teoría clásica en el interior del átomo.
- Admitiendo los postulados de radiación, se obtiene cualitativamente un buen acuerdo con la fórmula empírica de Balmer; en particular se tienen valores plausibles para el tamaño y las energías del átomo.
- Se calcula teóricamente la constante de Rydberg ( $M \approx \infty$ ), y el acuerdo con las medidas experimentales se aproxima a la milésima en precisión.
- Se predicen muchas más líneas que se fueron descubriendo eventualmente, cuando  $n_{fin} \neq 2$ .

**“Esta construcción del átomo es la mayor contribución de Niels Bohr a la Física.”**

- La fórmula mejora introduciendo la masa reducida, es decir, tomando en consideración el movimiento del núcleo; la precisión aumenta en dos órdenes; así se explican las pequeñas diferencias en el espectro del Helio ionizado,  $He^+$  (el Litio  $Li^{++}$  no se observó hasta 1930);
- Se razona, de acuerdo con las mediciones, que en el laboratorio se observarán muchas menos líneas que en el espectro de las estrellas, debido a la menor densidad de estas. Un buen estudio de la física atómica de la época viene en el libro de Hermann.<sup>3</sup>

Sin embargo, hemos de añadir que las otras dos partes de la “Trilogía” de 1913, una dedicada a los átomos poli-electrónicos, la otra a las moléculas, en especial la dedicada a la estructura de la molécula de hidrógeno,  $H_2$  (el trabajo de Bohr se llamaba “On the constitution of atoms and molecules”) no son ni remotamente tan exitosas, y más bien se han olvidado hoy día. A resaltar sin embargo, como ha puesto de relieve el biógrafo de Bohr, H. Kragh, el gran interés de Bohr por la estructura química de las moléculas.<sup>4</sup>

## El Principio de correspondencia

Todo avance especulativo en una teoría Física debe cumplir una condición obvia: cuando la nueva teoría se aplique en condiciones en que valga la teoría anterior, se deben reproducir los resultados de esta. Esta condición Einstein la tuvo muy en cuenta, tanto en la dinámica de la relatividad especial como en la teoría general de la gravitación. Pero Bohr, que posiblemente no conocía esa condición, cuando la descubrió por su cuenta, la elevó a un principio fundamental, el llamado *principio de correspondencia* e inmediatamente escribió a Rutherford (21-III-1913) entusiasmado y

## DESARROLLO 2:

Para deducir la fórmula de Balmer (de 1885; introducida empíricamente por J. Balmer, un maestro de escuela suizo, a partir del espectro óptico en el visible (cuatro rayas,  $H_{\alpha-\delta}$ ) del átomo de hidrógeno), calculemos el número de ondas  $\sigma$ , por definición el inverso de la longitud de onda  $\lambda = cT$ , con  $T = v^{-1}$ :

si la energía es  $E = T + V = P^2/2m - Ze^2/r$ ,

$$\sigma = 1/\lambda = 1/cT = v/c = \Delta E/hc = (E_{ini} - E_{fin})/hc = + (1/2) Z^2 me^4 / (2\pi\hbar^3 c) [1/n_{ini}^2 - 1/n_{fin}^2] := R [1/n_{ini}^2 - 1/n_{fin}^2] \quad (ec. 6)$$

donde  $R = 2\pi^2 me^4/h^3 c \approx 109\,737\,cm^{-1}$  es la llamada constante de Rydberg. (ec. 6) es precisamente la fórmula empírica propuesta por Balmer casi treinta años antes.

Se tienen ahora las siguientes series, dependiendo del estado final del electrón:

$n_{fin} = 1$ : serie de Lyman (1914); está en el ultravioleta (UV).

$n_{fin} = 2$ : serie de Balmer; es la original, en el visible.

$n_{fin} = 3,4,5,6$ . Series de Paschen, Brackett, Pfund y Humphreys, todas en el IR.

## DESARROLLO 3:

El cálculo es muy fácil:

La frecuencia clásica de rotación  $\nu = \nu_{cl}$  es  $\nu/2\pi$  y vale, de (ec. 3) y (ec. 5).

$$\nu_{cl} = Z^2/2\pi n^3 \times me^4/\hbar \quad (ec. 7)$$

mientras que de la fórmula de Balmer, en la aproximación de grandes números cuánticos  $n \approx n_i, n_f \gg 1$ ,  $n_i - n_f = \Delta n \approx 1$ , se obtiene:

$$\nu_{Bohr} = Z^2 \Delta n/n^3 \times me^4/2\pi\hbar^3 \quad (ec. 8)$$

en coincidencia completa con la anterior, pues la frecuencia clásica va acompañada de sus armónicos, que es el factor  $\Delta n$ .



# El origen de la Teoría Cuántica del átomo. Niels Bohr, 1913

le contó su "descubrimiento". (Sí que es cierto que mucho más tarde, dialogando Bohr con su discípulo, L. Rosenfeld, distingue el principio, como argumento heurístico, de la mera concordancia con resultados previos).<sup>5</sup>

Vamos a ver lo que encontró Bohr: para una transición entre números cuánticos muy altos,  $n_{ini}, n_{fin} \gg 1$ , la frecuencia de la radiación emitida debe corresponder a la frecuencia clásica de rotación del electrón o a un múltiplo entero, como dice la teoría clásica: para esas transiciones la constante de Planck, que cuantiza las órbitas, puede desprejarse, pues  $nh \gg h$ , de modo que las acciones puestas en juego serán mucho mayor que el cuanto de acción de Planck (desarrollo 3).

Queremos insistir en que esto no es un descubrimiento, sino una prueba de la consistencia del postulado cuántico. Bohr sin embargo utilizó esa "coincidencia asintótica" con el resultado clásico como guía para poder deducir muchos otros resultados, por ejemplo relacionados con las intensidades de las rayas, para las que sus

dos postulados no decían nada, pero que son observables. El principio de correspondencia, uno de los varios principios que Bohr enunció a lo largo de su carrera, (el principio de complementariedad (1928) es el otro más conocido), fue tremendamente útil, pero requería nada menos que un Bohr para sacar sus consecuencias: por ejemplo, Sommerfeld, que dirigía en Munich la otra escuela importante en Física Atómica en la misma época, se quejaba de que el principio de correspondencia "era como una "varita mágica", que solo funciona en Copenhague".

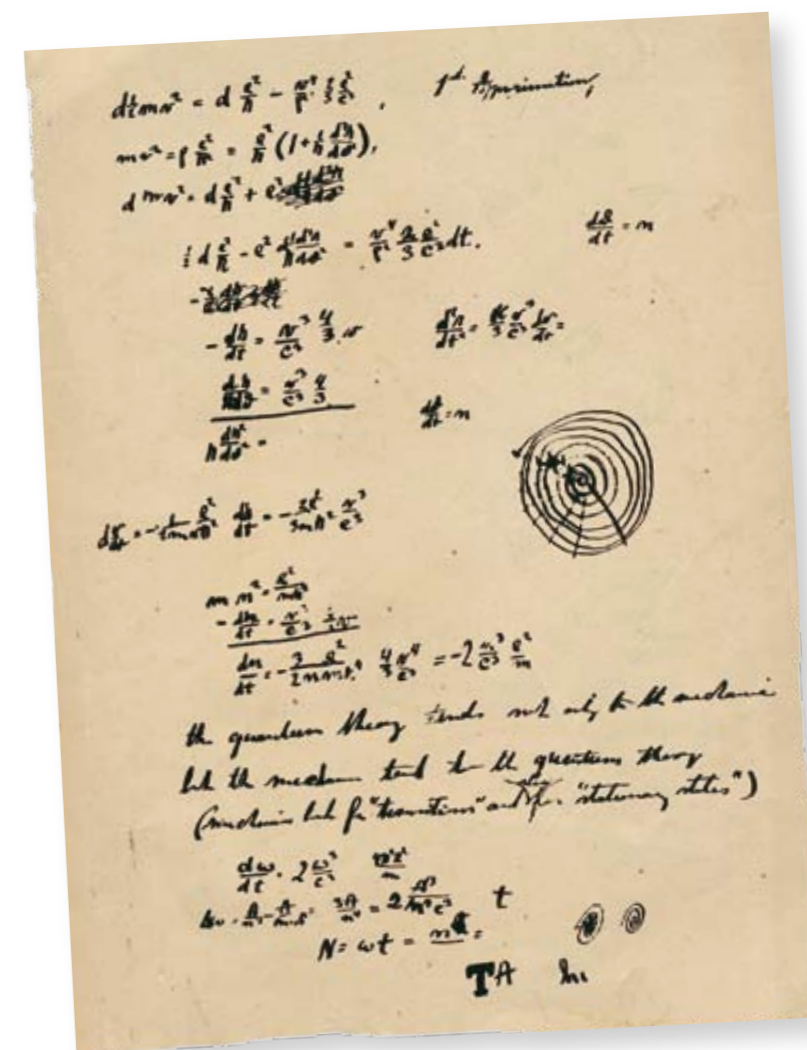
## LA ESCUELA DE COPENHAGUE, 1913-1925

Aquí no queremos tanto seguir todo el desarrollo de la Teoría Cuántica antigua, sino más bien mentar algunos de aquellos hallazgos que tuvieron lugar en Copenhague, donde Bohr organizó, tras volver definitivamente de Inglaterra (1916), un centro de Física Atómica muy bien dotado (inaugurado en 1921; sigue en la actualidad: Blejdamsvvej 17, Copenhague, con el nombre de Niels Bohr Institutet).

Estaba claro que esa Teoría Cuántica antigua era un pastiche entre mecánica clásica y postulados cuánticos, y por tanto necesitaba una larga cantidad de "adivinanzas" para ver dónde había que poner los parches "cuánticos". A esos efectos, el principio de correspondencia de Bohr jugó un papel muy importante: en concreto, para averiguar la intensidad de las líneas espectrales, o más restrictivamente para deducir las llamadas reglas de selección, es decir, en qué casos no puede esperarse una determinada línea espectral.

Sin embargo, como decíamos, en el estudio de otros átomos salvo el hidrógeno no se avanzó gran cosa; cabe mencionar solo una mayor inteligibilidad de los átomos alcalinos (por ejemplo, sodio y potasio), con un electrón (el de valencia) separado de los otros, por la distinción entre órbitas "penetrantes" (*Tauchbahnen*) y "no penetrantes", debida a Bohr y a Schrödinger, ca. 1922. Bohr también luchó denodadamente para entender el sistema periódico de los elementos químicos, con algún éxito notable (por ejemplo, el elemento hafnio no es un lantánido; *hafen* es "puerto", por Copenhague, la patria chica de Bohr). Hay también algún éxito con el espectro del hidrógeno molecular,  $H_2$ , estudiado también por el químico danés N. Bjerrum (1879-1958).

A Niels Bohr no le gustaba escribir sus trabajos (tampoco era buen conferenciante), que eran redactados por sus personas próximas (incluyendo su madre, su hermano Harald y su esposa), antes de buscar colaboradores fieles; el primero fue el holandés Hans Kramers (1894-1952), un buen matemático, que ayudó a Bohr en muchos cálculos difíciles; Kramers estuvo de auxiliar con Bohr entre 1916 y 1926.



Apuntes originales de Bohr.

Imagen tomada del libro "Niels Bohr, Collected Works". Rosenfeld L. (Volume 2).



Bohr (a la derecha) junto con Arnold Sommerfeld. Lund, Suecia (1919).

Imagen tomada del libro "Niels Bohr, a Centenary Volume". French A. P. y Kennedy P. J.

## El origen de la Teoría Cuántica del átomo. Niels Bohr, 1913

rrieron las tres escuelas. Los descubrimientos de la escuela de Sommerfeld fueron muy notables, hasta el punto que se cita (con justicia) a menudo "La teoría cuántica antigua de Bohr-Sommerfeld", incluso por escritores daneses (e.g. Helge Kragh<sup>4</sup>). En Munich se describieron, por ejemplo, las correcciones relativistas al espectro del hidrógeno (fórmula de Sommerfeld de estructura fina, 1915), las alteraciones detalladas en los espectros por efectos de campos eléctricos y magnéticos (efecto Stark: Epstein y Schwarzschild, 1916; efecto Zeeman normal: Sommerfeld y Debye, 1915). Un curioso descubrimiento de la escuela de Sommerfeld, que no se entendería hasta el advenimiento de la moderna Mecánica Cuántica es la existencia de números cuánticos *semi-enteros*, para parametrizar el efecto Zeeman anómalo (Heisenberg; Landé, 1922), en contraste aparente con la filosofía de Bohr-Sommerfeld de cuantización con números enteros solamente.

Señalemos además dos experimentos que jugaron un papel importante: en 1914 Frank y Hertz realizaron un famoso experimento (con mercurio), que demostró, fuera de toda duda, la cuantización de las órbitas electrónicas (pero que fue, al principio, mal interpretado incluso por sus propios autores). Y en 1924, en el primer experimento con el "rayo atómico", Stern y Gerlach demostraron

**"El principio de correspondencia de Bohr jugó un papel muy importante para averiguar la intensidad de las líneas espectrales."**

la cuantificación de la dirección, que ya había sido predicha por Sommerfeld, pero cuyas implicaciones "filosóficas" no se entenderían hasta el período post-1925.<sup>6</sup>

### DIFICULTADES: ESPECTRO DEL HELIO Y EFECTO ZEEMAN ANÓMALO

Las reglas de cuantización de Sommerfeld, tipo  $\int p_i dq_i = n_i h$  permitían, en principio, deducir las órbitas estables y por tanto las posibles líneas espectrales de átomos más complejos que el hidrógeno (cuyo hamiltoniano fuese separable). Si bien Bohr, con su primer discípulo H. A. Kramers, no llegó a resultados concretos para el helio, a pesar de trabajar mucho en ello, sí lo hicieron Born y Heisenberg en Göttingen (hacia 1923), el tercer centro importante donde se desarrolló la Teoría Cuántica antigua, como dijimos. Ellos concluyeron que el espectro del helio se predecía *incorrectamente*, y este fallo inapelable debilitó mucho la creencia en la teoría de Bohr. (Hoy sabemos que ello era inevitable: el espectro del helio está dividido en dos sectores muy diferenciados, cuyos términos se llaman



Heisenberg charlando con Bohr (1934).

Imagen tomada del libro "Niels Bohr, a Centenary Volume". French A. P. y Kennedy P. J.

respectivamente ortohelio y parahelio; ello es debido a estar paralelos o antiparalelos los spines de los dos electrones del helio neutro, pero el spin no se descubrió hasta 1925...).

El otro "fallo" manifiesto de la Teoría de Bohr también está relacionado con el spin: la escuela de Sommerfeld ya había encontrado una explicación razonable del "efecto Zeeman normal", es decir, la descomposición de una línea espectral en el famoso triplete de Lorentz, en presencia de un campo magnético. Pero el espectro Zeeman anómalo, muy frecuente (por ejemplo, ya en los alcalinos), era un misterio insoldable para la época (hoy sabemos, de nuevo, que era debido a la superposición  $J = l + s$  del momento angular  $s \hbar$  debido al spin con el momento angular orbital  $l \hbar$ , que es el único que se tiene en cuenta en el efecto Zeeman normal).

En el año de transición 1925 se completó la antigua Teoría Cuántica con aportaciones como el principio de exclusión (W. Pauli, Enero de 1925) y la estadística de Fermi, aunque realmente no se aplicaron hasta el advenimiento de la Mecánica Cuántica moderna. Hacia ese año de 1925 estaba muy claro que los axiomas de la Teoría Cuántica antigua eran incompletos, y más bien había que entender el porqué de sus éxitos más



Bohr y su esposa Margrethe.

Imagen tomada del libro "Niels Bohr, The Man, His Science, and the World They Changed". Moore R.

que sus fallos...Y, en el verano de ese 1925 llegó la solución, de manos de la mecánica de las matrices, de Werner Heisenberg.

Luis Joaquín Boya

Presidente de la Real Academia de Ciencias de Zaragoza

Miembro del Senatus Científico  
Dpto. de Física Teórica  
Facultad de Ciencias  
Universidad de Zaragoza

1. Pais A., "Niels Bohr Times". Oxford U. P. 1995.
2. "Niels Bohr, a Centenary Volume" (A. French ed.). Harvard U.P. 1985.
3. Hermann A., "The Genesis of Quantum Theory".-M.I.T. 1971.
4. Para la biografía más reciente de Niels Bohr ver Helge Kragh (danés): "Niels Bohr and the Quantum Atom", Oxford U. P. 2012.
5. Véase la biografía de Leon Rosenfeld por Jacobsen A., World Scientific, 2012.
6. Algunos aspectos *negativos* de Bohr pueden verse en arXiv:physics\ 0212090.