

DRAKONTOS

Maestros del universo

Conversaciones con los cosmólogos del pasado



Helge Kragh

CRÍTICA

MAESTROS DEL UNIVERSO

Conversaciones con los cosmólogos
del pasado

Helge Kragh

Traducción castellana de
Javier Sampedro

CRÍTICA
BARCELONA

Primera edición: octubre de 2016

Maestros del universo. Conversaciones con los cosmólogos del pasado
Helge Kragh

No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, sea éste electrónico, mecánico, por fotocopia, por grabación u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito del editor. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (Art. 270 y siguientes del Código Penal)

Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesita reproducir algún fragmento de esta obra.
Puede contactar con CEDRO a través de la web www.conlicencia.com o por teléfono en el 91 702 19 70 / 93 272 04 47

Título original: *Masters of the Universe*

Maestros del Universo se publicó originalmente en inglés en 2015. Esta traducción se publica por acuerdo con Oxford University Press. Editorial Crítica es responsable de la traducción y Oxford University Press no se responsabiliza de ningún error, omisión, inexactitud o ambigüedad en la traducción.

© de la traducción, Javier Sampedro Pleite, 2016

© Editorial Planeta S. A., 2016
Av. Diagonal, 662-664, 08034 Barcelona (España)
Crítica es un sello editorial de Editorial Planeta, S. A.

editorial@ed-critica.es
www.ed-critica.es

ISBN: 978-84-9892-902-7
Depósito legal: B. 17.867 - 2016
2016. Impreso y encuadernado en España por Huertas Industrias Gráficas S. A..

Kristian Birkeland: de la aurora al universo

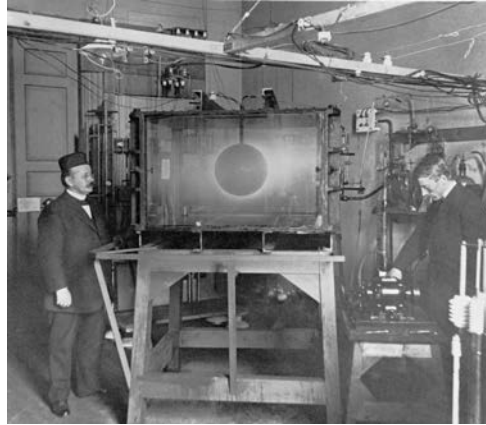


Figura 2. Birkeland (a la izquierda) y su ayudante Karl Devik demostrando fenómenos de descarga con la gran *terrella* de 36 centímetros en 1913.

Fuente: Birkeland (1913b, p. 667).

Entrevista realizada en el Hotel Victoria de Estocolmo el 8 de marzo de 1913 (idiomas: danés y noruego).

Mis primeras dos entrevistas se debieron a la pura curiosidad, y no fueron planeadas como inicio de una serie de conversaciones relacionadas con la cosmología. Arrhenius y Birkeland fueron famosos científicos escandinavos, y yo estaba fascinado por sus ideas y quería saber más sobre ellas, y especialmente por sus consecuencias cosmológicas fundamentales. Había acordado por carta encontrarme con los dos profesores a la vez, pues me habían informado que Birkeland se hallaba en la capital sueca debido a un corto viaje de negocios. Se había divorciado de su esposa unos años antes y estaba planeando abandonar Noruega y desplazarse a Egipto (lo hizo después, en 1913,

y nunca volvió a Noruega). Birkeland y Arrhenius habían aceptado una conversación conjunta y yo había preparado una breve lista de preguntas en las que, de forma diplomática, tenía en cuenta sus desacuerdos en algunos asuntos, tanto científicos como personales. Era bien sabido que pese a sus intereses investigadores comunes, también eran rivales científicos.

El plan era bueno, pero no funcionó. El día en que llegué a Estocolmo se me informó mediante una nota dejada en mi hotel de que el profesor Arrhenius había considerado «inadecuado» mantener una conversación conjunta y prefería ser entrevistado solo en alguna fecha posterior. Dadas las circunstancias, tuve que aceptar, y por fortuna el profesor Birkeland no puso objeciones. De hecho, creo que se sintió aliviado. Me sentí un poco idiota por haber ido a Estocolmo, en lugar de a Oslo, a entrevistar a un físico noruego. En cualquier caso, mi primera entrevista tuvo lugar en el Hotel Victoria del casco viejo, y fue bien.

C. C. N.: Profesor Birkeland, usted es profesor de Física en Christiania,¹ e internacionalmente se le conoce por su trabajo en la aurora de las luces del norte, como la llamamos. Y, sobre todo, es conocido por sus extraordinarias simulaciones de la aurora y otros fenómenos cósmicos en el laboratorio (véase la Figura 2). Me gustaría centrarme en los aspectos más amplios, más cosmológicos de su trabajo, pero antes de eso ¿podría describir brevemente sus ideas sobre la aurora boreal? Según entiendo, esas ideas son también el fundamento de su pensamiento sobre la estructura del universo.

K. B.: Sí, está usted en lo cierto, hay una conexión estrecha. Tenemos que retroceder a 1896, cuando estaba a punto de regresar a Christiania tras una estancia maravillosamente fructífera en Ginebra y París. Verá usted, examiné el efecto de los imanes en los rayos catódicos, una línea de trabajo que había atraído el interés nada menos que del gran Poincaré.² Y entonces se me ocurrió que los rayos catódicos que había estudiado tan cuidadosamente en mis tubos de descarga podían también ser la causa de la aurora que ya conocía bien. Tal vez, pensé, los rayos catódicos no están confina-

dos al laboratorio, sino que podían existir también de forma natural, en el espacio cósmico.³ ¿Por qué no? Fue una idea intrépida, pero resultó ser correcta. Al año siguiente Thomson, en Cambridge,⁴ identificó los rayos catódicos como corrientes de electrones, o lo que entonces llamó corpúsculos... por cierto, en su famoso artículo sobre el descubrimiento del electrón citó uno de mis trabajos, ¿sabía usted eso?

C. C. N.: No, no lo sabía.

K. B.: Pues lo hizo, sí señor, lo hizo. En cualquier caso, mi idea era que el Sol es un enorme generador de electrones y que algunos de los electrones solares son desviados en el campo magnético de la Tierra, cerca de los polos: atrapados en él, por así decir. Las tormentas magnéticas se deben al disturbio del campo, al menos en mi opinión. Y aún hay más, porque los electrones interactúan con los átomos en los estratos superiores enrarecidos de la atmósfera, los ionizan y... *voilà!*, les hacen producir la enigmática luz auroral. Y entonces...

C. C. N.: Perdone que le interrumpa, pero cuando dice que la aurora se produce por electrones emitidos por el Sol que alcanzan la atmósfera exterior de la Tierra, ¿hay que entenderlo literalmente? ¿Son los electrones solares los que realmente alcanzan las moléculas de nuestra atmósfera y emiten luz?

K. B.: Eso es lo que pensaba yo. Pero tiene usted razón, hay otras maneras de explicar la acción. Se podría decir que las moléculas se alteran por acciones electromagnéticas que se originan en los electrones solares o porque son alcanzadas por ondas del éter que se mueven a la velocidad de la luz, en vez de por los propios electrones. De hecho, esta última idea puede ser más satisfactoria, aunque desde mi punto de vista no supone una gran diferencia. Es solo que resulta más fácil pensar en términos de electrones.

C. C. N.: Gracias. Tenía curiosidad porque he leído hace poco un divertido libro popular⁵ en el que el autor insinuaba que las ondas de éter del Sol son responsables de la aurora. Tengo dos preguntas

más, solo para empezar y por clarificar. Primero, respecto a la prioridad, ¿no es esta la misma idea que ha propuesto Arrhenius?⁶ Se le atribuye a él a menudo, según creo. Y segundo, ¿qué razones tenemos para creer en la hipótesis del rayo catódico solar? ¿Cómo podría ser verificada? Después de todo, no podemos viajar a la atmósfera superior y examinar lo que pasa allí.

K. B.: Me alegra que me haga esas preguntas, porque Arrhenius solo llegó a su hipótesis en 1900, varios años después que yo, y no es realmente la misma que la mía. De hecho, estoy un poco molesto de que él sea reconocido ampliamente por una idea que en realidad me pertenece. Arrhenius habla vagamente de partículas de polvo electrificadas expelidas por el Sol y que navegan impulsadas por la presión de su radiación, pero no de rayos catódicos transportados desde el Sol. Su concepto del mecanismo que causa la aurora, y del tejido del universo en general, es ciertamente ingenioso,⁷ pero se apoya por completo en la presión de la luz estelar. No digo que la presión de la luz no exista o no tenga un papel —lo tiene, sin duda—, pero es del todo insuficiente para explicar los fenómenos cósmicos y terrestres en cuestión. Espero que esto responda su pregunta.

C. C. N.: Lo hace, gracias, pero también estaba esa otra pregunta de...

K. B.: Desde luego, me había olvidado. Respecto a su segunda pregunta, en realidad tiene relación con la primera, pues mientras la hipótesis de Arrhenius es por completo especulativa, la mía se fundamenta con firmeza en las muchas analogías experimentales que he demostrado en mis experimentos con la *terrella* en Christiania.⁸ Usted sabrá algo de ellos, son bastante famosos y de hecho únicos, porque en ninguna otra parte se han hecho experimentos similares, ni en Francia, ni en Alemania ni en Inglaterra, y ni siquiera en Estados Unidos. Piense en que Noruega es un país pequeño que se hizo independiente hace solo unos años⁹ y que ha permanecido durante siglos bajo la dominación danesa, una especie de colonia, y que aun así tenemos el único laboratorio avanzado del mundo para el estudio de los fenómenos solares y otros fe-

nómenos cósmicos. En cierto modo, he bajado los cuerpos celestes del firmamento hasta mi laboratorio. Creo que los noruegos tenemos razones para sentirnos orgullosos.

C. C. N.: ¡Enhorabuena! Para centrarnos en el asunto, hace solo unas semanas dio usted una conferencia en la Academia Noruega de Ciencia¹⁰ sobre nada menos que «El origen de los mundos», que ya ha atraído la atención internacional. Un amigo mío me telegrafió que su conferencia fue cubierta por uno de los principales periódicos norteamericanos, *The New York Times*. ¿De verdad puede usted explicar el origen del universo?

K. B.: No, no puedo, pero tampoco dije que pudiera hacerlo. Por otro lado, sí creo poder explicar, aunque solo en principio, cómo llegaron a existir los planetas, cometas, estrellas y nebulosas de nuestro universo; pero en cuanto al universo en su conjunto, no lo sé, probablemente no tiene sentido hablar de su origen. Ahora mismo estoy preparando un artículo sobre el tema,¹¹ pero déjeme explicar en pocas palabras lo que tengo en mente.

Siempre se ha pensado que la cosmogonía está gobernada casi por completo por la fuerza gravitatoria que Newton descubrió de forma célebre en el siglo xvii. Pero he llegado a la conclusión de que los procesos electromagnéticos en el espacio tienen un papel¹² igualmente importante, quizá incluso más importante. ¿Y por qué lo pienso? Bueno, pues porque mis experimentos en Christiania con rayos catódicos y esferas de acero magnetizadas apuntan en esa dirección. Usted tiene razón, desde luego, en que no puedo viajar a la parte superior de la atmósfera o más allá de ella, pero tampoco lo necesito, pues puedo investigar los cielos en mi laboratorio.

C. C. N.: ¡Fascinante! ¿Un universo electromagnético? Pero ¿no es la fuerza de la gravedad la que gobierna el comportamiento de los cuerpos celestes?

K. B.: Bueno, sí que lo es, pero simplemente es posible que la gravedad pueda explicarse en último término en términos de electromagnetismo,¹³ como algunos de mis colegas de física han intenta-

do hacer. Pero esto no es realmente lo que tengo en mente, porque lo único que quiero es suplementar la gravitación newtoniana con las fuerzas electromagnéticas, ya que sin estas fuerzas perdemos la esperanza de comprender el cosmos como una máquina física. Verá usted, la imagen tradicional del espacio interestelar es que está vacío, o casi, o quizá que está lleno de manera homogénea de un éter sutil, lo que apenas supone diferencia alguna.

De todos modos, mi opinión es que eso dista mucho de ser el caso. Como yo lo veo —y sé que es una herejía— debemos pensar en el espacio cósmico como algo lleno de electrones y átomos electrificados¹⁴ que representan toda clase de elementos químicos, partículas atómicas que constituyen un tenue gas ionizado que resulta en promedio eléctricamente neutro. Todo el espacio consiste en esta sustancia oscura enteramente cargada de electricidad, una especie de éter electrificado si usted quiere, pero de un tipo corpuscular. Yo lo concibo como un cuarto estado de la materia —sumado a los estados sólido, líquido y gaseoso— y posiblemente relacionado con lo que Crooke llamó «materia radiante».¹⁵ Es tan importante que debería tener su propio nombre,¹⁶ aunque no se me ocurre ninguno que sea conveniente a la vez que apropiado.

C. C. N.: Entonces este gas cósmico o lo que sea resulta invisible para nuestros telescopios, ¿no? ¿Se ha formado usted una idea de cuánto hay en comparación con la materia ordinaria de la que están hechos los planetas y las estrellas?

K. B.: Sí que me la he formado, aunque no es más que una estimación aproximada. Déjeme ilustrarlo. Según mis cálculos, en un volumen esférico con el mismo radio que la distancia a la estrella más próxima a nosotros, Alfa Centauri, la cantidad de gas ionizado correspondería a una masa solar,¹⁷ o un átomo de hierro por cada ocho centímetros cúbicos de espacio. ¿Me sigue? Esto corresponde a una densidad media del orden de 10^{-23}g/cm^3 , lo que le parecerá a usted un número tan minúsculo que apenas difiere de cero, esto es, del vacío. Pero en realidad es un número grande, y probablemente incluso mayor que la densidad media de la materia estelar en el universo. Por otra parte, es lo bastante pequeño como

para no tener un efecto apreciable ni en el movimiento de los planetas ni en la propagación de la luz estelar en el espacio cercano. Esto es sin duda satisfactorio y me da una razón para creer que está en el orden de magnitud correcto.

C. C. N.: ¿Eso es porque sabemos por las observaciones que los planetas se mueven como si viajaran por el espacio vacío, y también que no hay extinción de luz en el sistema solar?

B. K.: Sí, exactamente, es una especie de materia oscura enrarecida. Por otro lado, la densidad del gas es lo bastante grande como para explicar la absorción interestelar de la luz¹⁸ que garantiza un universo infinitamente grande. Pero deje que siga. A ver... sí, también es pertinente señalar que, puesto que el universo en su conjunto es eléctricamente neutro —al menos no tenemos razones para pensar que no lo sea—, el gas cósmico debe contener rayos de electricidad positiva además de los rayos catódicos negativos. He hecho experimentos con cátodos contruidos con metales pesados a voltajes tan altos como 20.000 voltios y temperaturas cercanas a los 2.000 grados centígrados, y parecen mostrar —aunque no se ha confirmado aún— que los metales pesados se pueden desintegrar en elementos más ligeros. Parece que producen partículas positivas análogas a los rayos alfa, solo que mucho más pesadas y de movimiento mucho más rápido.

Es probable que haya alguna clase de radiactividad extendida por todo el cosmos, o lo que yo he llamado «electro-radiactividad», algo que ya anticipó Rutherford¹⁹ en relación con el origen del calor del Sol. Pero es un fenómeno nuevo que hay que seguir explorando. Es todo muy apasionante, ¿no cree usted?

C. C. N.: Absolutamente. El tipo de electro-radiactividad del que habla debe de ser un proceso subatómico, una desintegración del propio átomo. ¿Cómo encaja su idea con las actuales teorías de la estructura atómica? ¿Presupone algún modelo particular del átomo?

K. B.: En realidad, no. Un modelo del tipo del que propuso Thomson²⁰ puede servir, pero también podría ser un átomo compuesto de electrones y cargas positivas discretas. Lo único que importa es

que el átomo se pueda desintegrar en partículas cargadas, y eso es algo que ya sabemos por la radiactividad ordinaria. Por lo que sé, Rutherford ahora cree que la carga positiva está concentrada en el centro del átomo, lo que la gente llama el «núcleo». Seguramente está equivocado, pero incluso si fuera cierto mi idea sería coherente con ello.

- C. C. N.:** Creo que sigo su razonamiento, pero... si el cosmos es radiactivo, como insinúan usted, Rutherford y algunos otros científicos, ¿no llegaría a un final? Después de todo, se nos dice que la radiactividad es un proceso estrictamente irreversible, ¿no? Decae con el tiempo, pero nunca crece.
- K. B.:** Entiendo lo que quiere decir, señor Nielsen, pero debemos asumir que en promedio el espacio infinito está en un estado de equilibrio. Quiero decir que hay un equilibrio entre la desintegración de los cuerpos celestes, por un lado, y la concurrencia y condensación de los corpúsculos voladores electrificados, por otro. El universo es infinito en espacio, y también en materia y tiempo, de modo que el proceso de equilibrio entre formación y destrucción de materia prosigue eternamente. No soy el único que sostiene una idea de este tipo. Nada menos que Soddy,²¹ que es una autoridad en la ciencia de la radiactividad y un colaborador de Rutherford, ha defendido ideas en cierto modo similares, basadas en procesos atómicos destructivos y constructivos. Podría muy bien estar de acuerdo con mi teoría cosmológica.
- C. C. N.:** Y, si me lo permite, también Walter Nernst, en Alemania, que ha argumentado recientemente que la desintegración radiactiva en el espacio puede resultar en un éter enriquecido en energía²² que de algún modo compensaría la degradación universal de la materia y la energía. No estoy seguro de haber entendido a Nernst, pero se me ocurre que esa línea de pensamiento está en armonía con lo que indica usted.
- K. B.:** Gracias por la información, buscaré ese trabajo de Nernst. ¿Tendrá usted una referencia, tal vez?

C. C. N.: No la tengo aquí, pero se la mando en cuanto regrese a Alemania. Por otro lado, ya sea en su versión o en la de Nernst —o, ya puestos, en la de Rutherford—, ¿no es muy especulativa la idea de regeneración radiactiva a escala cósmica? Quiero decir, ¿hay alguna prueba de tales procesos?

K. B.: Tengo que admitir que no hay pruebas, al menos hasta ahora, pero es que la física atómica está aún en la infancia. En cualquier caso, mis experimentos de laboratorio que simulan la formación de las nebulosas espirales y el origen de las novas apuntan a un universo del tipo del que he mencionado. Soy un hombre ocupado con tantos otros intereses y obligaciones que, por desgracia, no tengo tiempo para desarrollar mi cosmología electromagnética como una teoría formal, pero confío en que otros se sientan inspirados para hacerlo.²³

Así que, resumiendo, estoy convencido de que el electromagnetismo es una clave que puede desentrañar muchos de los secretos del universo. No todos, pero sí muchos de ellos. Lo esencial de mi punto de vista, y lo que tiene de original, es que es una cosmología *física* guiada por hechos experimentales y por analogías. No se basa solo en la gravitación y la dinámica celestial, como las ideas, por ejemplo, de Seeliger en Alemania²⁴ y del fallecido Poincaré en Francia, o de hecho las de todos los astrónomos que conozco.

C. C. N.: Pero lo cierto, profesor Birkeland, es que usted es físico, no astrónomo. Me pregunto, entonces, ¿ha discutido usted su idea del universo con los astrónomos? ¿Cómo reaccionan a ella?

K. B.: No lo hacen, ¡simplemente la ignoran! Pero también debo admitir que no me he esforzado por interesarles en mis ideas, por ejemplo publicándolas en las revistas de astronomía. Tratar de convencerlos sería una tarea imposible, me temo. Los astrónomos suelen ser muy conservadores y totalmente incapaces de imaginar que hay fuerzas distintas de la gravedad operando en el universo. Sostienen con terquedad que la cosmología es una ciencia estrictamente astronómica —si es que es una ciencia en absoluto— y que

la física no tiene nada que decir ahí. Pero en realidad la espectroscopia estelar cuenta una historia diferente, como también la cuentan, e incluso en voz más alta, mis estudios de laboratorio. Deberían ser más receptivos a la evidencia experimental y dejar de pensar que la astronomía es tan solo una ciencia observacional y matemática.

C. C. N.: Sí, quizá deberían. Una última pregunta, si no le importa. Cuando habla del universo, ¿qué quiere decir? No es un concepto fácil. Para algunos astrónomos el universo material es más o menos lo mismo que la Vía Láctea,²⁵ mientras que otros tienden a considerar las nebulosas espirales como mundos enteros distintos de nuestra Vía Láctea. No hay consenso, hasta donde yo sé.

K. B.: No lo hay, pero al menos la gente está de acuerdo en que la Vía Láctea es un sistema estelar limitado, y es difícil imaginar que eso sea todo lo que hay. No solo es difícil de imaginar, sino que para mí es inimaginable. Es mucho más satisfactorio pensar que el universo es indefinidamente grande y que está lleno de estrellas, de nebulosas y de la invisible «materia oscura» gaseosa que he mencionado.

Bien, en cuanto a su pregunta sobre las nebulosas espirales y su relación con la Vía Láctea, hay evidencias crecientes de que la propia Vía Láctea es una nebulosa espiral y de que nuestro sistema solar está situado cerca de su centro. Muchas de las nebulosas que los astrónomos estudian con sus telescopios son sistemas estelares del mismo tipo que el nuestro,²⁶ y su número es indefinidamente grande. La evidencia de mis experimentos con rayos catódicos no puede probar esta imagen del universo, pero añade un valioso apoyo para ella. Hay pocas dudas de que será reivindicada en el futuro próximo.

C. C. N.: Profesor Birkeland, espero que no lo considere una pregunta inadecuada, pero ¿se le ha pasado por la cabeza que su trabajo sobre la aurora y asuntos relacionados pudiera merecer un premio Nobel?

K. B.: No negaré que se me ha pasado por la cabeza, y más que eso, pero hay varias razones por las que un premio de Física resultaría

improbable. Podría mencionar una razón concreta,²⁷ que es que... No, dejémoslo. Por otra parte, he podido saber que he estado nominado al premio de Química, así que... ¿quién sabe?

C. C. N.: Gracias, profesor Birkeland, no le voy a entretener más. Como me ha recordado usted amablemente, es un hombre ocupado y tiene que asistir ahora a una reunión de negocios en un hotel de otra parte de la ciudad. Solo por curiosidad, ¿es sobre los inventos que hizo para la fijación del nitrógeno atmosférico?²⁸

K. B.: Efectivamente, voy a reunirme con unos potenciales inversores, pero no puedo decirle más. ¡Desde luego que es usted curioso!

NOTAS

Olaf Kristian B. Birkeland nació en Christiania (Oslo) el 13 de diciembre de 1867 y murió en Tokio el 15 de junio de 1917. Dos años después de licenciarse en Física por la Universidad Royal Frederik en Oslo, se marchó con una beca a París y Ginebra, donde sus principales campos de investigación fueron la teoría de ondas electromagnéticas y los experimentos con rayos catódicos. Sus estudios de la acción de un imán en la forma de los rayos catódicos le condujeron a descubrir su denominado «espectro magnético». Fue en este contexto cuando percibió por primera vez la analogía entre la aurora y el comportamiento de los rayos catódicos en un campo magnético, que siguió investigando tras conseguir en 1898 un puesto de profesor de física en Oslo. Hizo una serie de espectaculares experimentos de laboratorio que simulaban los despliegues aurorales y otros fenómenos de naturaleza astronómica (véase la Figura 2). Además de su trabajo experimental, también se dedicó a observaciones extensas y trabajo de campo sobre la aurora. Los resultados se publicaron en una obra monumental, *La expedición noruega de la aurora polar*, que apareció en dos volúmenes profusamente ilustrados en 1908 y 1913.

El trabajo de Birkeland estimuló a varios jóvenes científicos noruegos, algunos empleados como sus ayudantes, a dedicarse a la investigación de la aurora y el geomagnetismo. Los más importantes fueron Carl Stormer, un joven matemático, y Lars Vegard, que sucedió a Birkeland en 1918 como profesor de física. Aunque no era astrónomo ni cosmólogo, en sus trabajos de 1911-1913 Birkeland generalizó de manera intrépida su teoría auroral

como un escenario para el universo y sus constituyentes. Su cosmología fue innovadora por ser física y basarse en el electromagnetismo (en vez de en la gravitación), pero solo recibió un reconocimiento limitado. En 1913 se mudó de Oslo a Helwan, en Egipto, y ya no volvió a Noruega. Fue nominado al premio Nobel ocho veces, sin éxito.

Junto a su trabajo en la ciencia pura, Birkeland fue un activo inventor y emprendedor industrial. Registró sesenta patentes en Noruega. En 1901 inventó una pistola electromagnética, que no tuvo éxito pero que le condujo unos años después a la invención de un instrumento basado en un arco eléctrico para manufacturar fertilizantes de nitrógeno a partir de aire atmosférico. El llamado «método de Birkeland-Eyde» desembocó en la fundación, en 1905, de Norsk Hydro, que enseguida se desarrolló como una gran empresa muy rentable.

Fuentes biográficas: Jago (2001), Brekke y Egeland (1983, pp. 97-103) y Egeland y Burke (2010), con listas de las publicaciones y patentes de Birkeland.

1. La capital de Noruega se llamaba Christiania, a veces escrito Kristiania, por el rey danés Christian IV. En 1924 la ciudad cambió su nombre oficial por el de Oslo, una denominación que recuperaba el que tuvo originalmente, que se remonta a la Edad Media.

2. El matemático francés Henri Poincaré hizo trabajos pioneros en varias materias, que abarcaban desde las matemáticas puras hasta la electrodinámica, la mecánica celeste y la cosmogonía. Inspirado por los experimentos de Birkeland con rayos catódicos, examinó teóricamente en un artículo de 1896 el movimiento de una carga eléctrica puntual en el campo de un (hipotético) monopol magnético.

3. Se debe admitir, escribió Birkeland (1896, p. 512), que «los rayos [catódicos] vienen del espacio cósmico y son absorbidos en particular por el polo magnético de la Tierra, y que de una forma u otra deben ser atribuidos al Sol».

4. A J. J. Thomson, director del laboratorio Cavendish, suele atribuírsele el descubrimiento del electrón en experimentos con rayos catódicos en 1897. En el artículo del *Philosophical Magazine* en el que anunció el descubrimiento citó el llamado «espectro magnético» de los rayos catódicos descrito por Birkeland (1896). También adoptó su idea de que el Sol es un generador de electrones, aunque sin reconocer la prioridad de Birkeland (Kragh,

2013b). El premio Nobel concedido a Thomson en 1906 no fue por su descubrimiento del electrón, sino de forma más general por «el gran mérito de sus investigaciones teóricas y experimentales sobre la conducción de la electricidad por los gases». Más o menos al mismo tiempo que Thomson, el físico alemán y sismólogo pionero Emil Wiechert concluyó que los rayos catódicos consistían en partículas minúsculas. Wiechert es mencionado a veces como otro descubridor independiente del electrón.

5. Lo más probable es que se tratara del libro de Gibson (1911), quien en la p. 131 escribe que hay que «pensar que las ondas de éter llegan a este planeta y alteran a los compasivos electrones, haciéndolos girar alrededor de sus átomos de forma similar a [sus] distantes colegas que producen las ondas de éter». Como resultado, «producen esos maravillosos efectos luminosos que el hombre describe como una “aurora”».

6. Las ideas aurorales y cósmicas de Birkeland y Arrhenius se comparan y discuten en Kragh (2013b). Véase más sobre Arrhenius en el capítulo 2.

7. Birkeland admitía que el concepto del universo de Arrhenius era «nuevo e ingenioso», pero sostenía que su propia teoría era «totalmente diferente, y su probable superioridad se debe a la circunstancia de que, más que ninguna otra, se basa en la analogía experimental». (Birkeland, 1913a, p. 32).

8. Entre 1900 y 1913 Birkeland hizo una serie de experimentos espectaculares en los que situó una esfera de acero (*terrella*) cubierta por una sustancia fosforescente y provista de un electroimán interno en una gran cámara de vacío. Bombardeando la *terrella* con rayos catódicos de alta velocidad, creó despliegues aurorales artificiales, como anillos luminosos alrededor de los polos magnéticos. Otros experimentos simulaban nebulosas espirales y el sistema de anillos de Saturno. Para generar los rayos catódicos «solares» hizo uso de un gigantesco tubo de descarga, alimentado por un generador de alta tensión capaz de producir una corriente de 300 mA a un voltaje de 15 000 V. Para más detalles sobre los experimentos de Birkeland, véanse Rypdal y Brundtland (1997) y Engeland y Burke (2010, pp. 36-43).

9. Hasta 1814 Dinamarca-Noruega fue una sola entidad gobernada por el rey danés. Como resultado de las guerras napoleónicas, Noruega fue forzada a aceptar una unión dominada por Suecia. Noruega obtuvo la plena independencia y un rey propio cuando la unión se disolvió finalmente en 1905.

10. Una extensa versión de la conferencia de Birkeland del 31 de enero apareció en Birkeland (1913a), y también fue publicada en noruego y fran-

cés. El 23 de febrero de 1913 *The New York Times* cubrió la conferencia de Birkeland y su «asombrosa imagen de la evolución futura del universo» en un largo artículo titulado *Imagina el espacio electrificado del universo* (<http://query.nytimes.com/mem/archive-free/pdf?res=9A00E0DA133BE633A25750C2A9649C946296D6CF>). Según el periódico, la base de la teoría de Birkeland era «la creencia de que todos los soles del universo están electrificados fuerte y negativamente, con su condición eléctrica mantenida por la radiación». Más aún, «el universo es infinito y... todo el espacio consiste en éter cargado con electricidad de punta a cabo».

11. Véase Birkeland (1913a) y también Birkeland (1913b), un volumen monumental y profusamente ilustrado que recoge observaciones de una serie de expediciones aurorales que Birkeland organizó en el norte de Noruega y en otros lugares de la zona ártica.

12. Los experimentos de Birkeland le condujeron a «una teoría cosmogónica, en la que los sistemas solares y la formación de los sistemas galácticos se discuten quizá más desde puntos de vista electromagnéticos que desde la teoría de la gravitación». (Birkeland, 1913b).

13. En el siglo XIX hubo varios intentos de explicar la gravitación como un fenómeno eléctrico, pero todos fallaron. Basándose en la nueva teoría electrónica de la materia algunos físicos, entre ellos Hendrik A. Lorentz en Holanda y Richard Gans en Alemania, derivaron leyes de electrogravitación. Pero no resultaron más satisfactorias que las teorías anteriores (Roseveare, 1982, pp. 114-131).

14. Como explicó Birkeland (1913b): «El espacio entre los cuerpos celestes se supone lleno de átomos volantes y corpúsculos de todas clases con tal densidad que la masa agregada de los cuerpos celestes en un espacio limitado y muy grande solo supondría una fracción muy pequeña de la masa agregada de los átomos volantes allí».

15. El químico y físico británico William Crookes hizo experimentos pioneros con rayos catódicos en tubos de vidrio vacíos y en la década de 1890 indicó que los rayos consistían en partículas cargadas a la manera de un cuarto estado de la materia, una nueva clase de materia gaseosa extremadamente enrarecida o materia radiante. Aunque el punto de vista de Crookes puede verse como una anticipación del electrón de Thomson, nunca llegó a pensar en las partículas del rayo catódico como subatómicas.

16. Sin usar ese nombre, Birkeland introdujo la noción de plasma espacial. El término «plasma» para designar un gas ionizado con el mismo número aproximado de electrones e iones positivos fue acuñado por el químico-físico estadounidense Irving Langmuir en 1928. Tomó prestada

la palabra del plasma sanguíneo que transporta células blancas y rojas. Llevó un par de décadas que los físicos empezaran a utilizar el nuevo nombre.

17. Véase Birkeland (1913a, p. 20): «Si, entonces, imaginamos un globo que tenga su centro en nuestro sistema solar y con un radio de cinco mil años luz... es posible que el espacio sin aire del globo contenga aún, en forma de corpúsculos invisibles, cien veces más partículas materiales que todas las estrellas juntas».

18. Esto es una referencia a la paradoja de Olber, según la cual la luz estelar en un universo infinito haría brillar por entero el cielo nocturno. La solución estándar a la paradoja era asumir una pequeña absorción de luz en el espacio interestelar. Sin embargo, durante las primeras décadas del siglo xx no había acuerdo sobre esta cuestión entre los astrónomos. Harlow Shapley y otros astrónomos de referencia creían que el espacio era transparente. La existencia de materia interestelar opaca solo se estableció firmemente en 1930 (Berendzen y col., 1976, pp. 70-99). Birkeland no usó el término «materia oscura» en sus escritos, aunque habría sido una denominación adecuada.

19. Ernest Rutherford fue uno de los físicos que, en la primera década del siglo xx, pensaba que todos los átomos eran radiactivos y que la energía del Sol se originaba en procesos radiactivos desconocidos en la Tierra. Conjeturó que los procesos inversos a la desintegración radiactiva podrían ocurrir en la naturaleza, con átomos pesados formándose a partir de átomos más ligeros y elementales. Otros físicos consideraron hipótesis similares en la primera década del siglo xx. Sobre el papel inicial de la radiactividad en la astrofísica y la cosmología, véase Kragh (2007a).

20. En el modelo atómico de J. J. Thomson, los electrones se movían sin fricción en una esfera cargada positivamente de dimensiones atómicas. Su modelo, o alguno similar, todavía se consideraba una posibilidad a principios de la década de 1910. Rutherford había propuesto su átomo nuclear en 1911 (sin usar el término «núcleo»), pero en la época de la entrevista pocos físicos fuera de Manchester lo veían como una alternativa atractiva.

21. El químico británico Frederick Soddy, laureado con el premio Nobel en 1921, es conocido sobre todo por el descubrimiento de la ley de desintegración radiactiva, que propuso en 1902 en colaboración con Rutherford. En un libro de 1909 insinuó que toda la materia del universo «se está rompiendo y su energía evoluciona y se degrada en una parte del ciclo de evolución, y en otra parte que todavía ignoramos la materia se está fabricando mediante el uso de energía de desecho... A pesar de los cambios incesantes, resulta

una condición de equilibrio que continúa indefinidamente» (Soddy, 1909, p. 241).

22. En una conferencia que impartió en el congreso de 1912 de la Sociedad de Científicos y Médicos Alemanes en Münster, el físico-químico Walter Nernst imaginó «un proceso que es lo contrario de la desintegración radiactiva». Basándose en esa hipótesis insinuó que los procesos físicos del universo pueden continuar indefinidamente sin violar la segunda ley de la termodinámica (Kragh, 2007b, pp. 214-215).

23. No ocurrió. Las ideas de Birkeland sobre el electromagnetismo cósmico se ignoraron durante mucho tiempo. Solo fueron reconsideradas mucho después en el contexto de la física del plasma y los problemas de la astrofísica. El físico sueco Hannes Alfvén, premio Nobel en 1970, fue decisivo en ese proceso. Consideraba a Birkeland el primer físico del plasma cósmico, y que su propio trabajo estaba en la tradición de Birkeland. Sobre las valoraciones de Birkeland como precursor de la moderna cosmología del plasma, véanse Peratt (1985) y Lerner (1991).

24. Referencia al famoso astrónomo de Múnich Hugo von Seeliger, cuya visión del universo es el tema del capítulo 4.

25. El distinguido astrónomo norteamericano Simon Newcomb (1906, pp. 5-6) escribió que la Vía Láctea «parece formar la base sobre la que el universo se construye, y agregar todas las estrellas en un sistema... Como no hay hechos observados sobre lo que existe más allá de las estrellas más lejanas, la mente del astrónomo está por completo en blanco sobre este asunto».

26. «Intentaré hallar una nueva explicación de la formación de las nebulosas espirales y del origen de las estrellas que conocemos como la Vía Láctea. Hay mucho apoyo del punto de vista de que la Vía Láctea debe considerarse como una nebulosa espiral, y de que las nebulosas espirales, en general, pueden ser designadas como sistemas galácticos» (Birkeland, 1913a, p. 21).

27. Birkeland estaba pensando en Arrhenius, que como poderoso miembro del Comité Nobel de Física, ejerció su influencia para impedir que su rival de Oslo recibiera el premio. Birkeland recibió cuatro nominaciones para el premio de Química (1907, 1909, 1912 y 1913) y otras cuatro para el de Física a partir de 1915 (Egeland y Burke, 2010, pp. 138-140).

28. En el proceso de Birkeland-Eyde, que data de 1903, el aire es conducido a través de un horno de arco eléctrico a muy alta temperatura, causando que el nitrógeno y el oxígeno se combinen para dar óxido de nitrógeno. Por subsiguiente oxidación y absorción en agua, se produce ácido nítrico

y después nitrato cálcico, un fertilizante. Las factorías noruegas de Birke-land-Eyde funcionaron hasta 1928, fecha en la que ya no pudieron competir con las factorías basadas en el proceso alternativo de Haber-Bosch, donde el nitrógeno y el hidrógeno se someten a altas presiones con catalizadores para sintetizar amoníaco y otros compuestos de nitrógeno.