



## ARGUING ABOUT SCIENCE

Edición preparada por Alexander Bird y James Ladyman. Routledge; Londres, 2013.

## Ciencia

*Presupuestos epistemológicos*

Existe una benemérita tradición anglosajona de edición de introducciones generales a un autor. Lo mismo se trate de Kant que de Newton. Son los famosos *Companion to*. Otro tipo de colección es la que corresponde a la reunión de artículos clásicos (antiguos y recientes), agavillados por temas y explicados por una mano experta. A este género literario corresponde el libro de cabecera, antología que se organiza en torno a nueve secciones: ciencia, no ciencia y pseudociencia; ciencia, raza y género; razonamiento científico; explicación científica; leyes y causalidad; ciencia y medicina; probabilidad y ciencia forense; riesgo, incertidumbre y política científica; realismo científico y antirrealismo. Se mezclan, pues, problemas de larga historia en filosofía de la ciencia con otras cuestiones más apegadas a los intereses prácticos que rodean a la ciencia. Con un  *caveat*  general: podemos alcanzar mucho conocimiento  *bona fide*  que no es científico.

Suele ser moneda de uso corriente la idea de que el avance de la ciencia entraña, a modo de consecuencia inevitable, la retirada del pensamiento filosófico. De manera rutinaria, se menciona el caso de los atomistas de la Grecia clásica que especulaban sobre la naturaleza de la realidad material, una especulación que se fue sustituyendo por el desentrañamiento de los componentes últimos de la materia con el avance de la química y la física. De igual modo, la psicología experimental y la neurociencia se hallarían ahora colonizando un territorio que fue antaño

dominio soberano de filósofos, poetas y artistas; aspectos de la mente humana tales como la imaginación, el lenguaje y el libre albedrío quedarían, en un breve plazo de tiempo, confinados dentro del vallado exclusivo de la ciencia. Pero la propia ciencia ha servido para retroalimentar, con sus nuevos conocimientos, cuestiones de muchos ámbitos de la filosofía. Pensemos, por ejemplo, en el progreso de la investigación cerebral y los dilemas neuroéticos que comporta. Por otro lado, la naturaleza, métodos y objetivos de la ciencia se hallan en continuo proceso de contrastación y evolución. La reflexión filosófica sobre ello ha contribuido a la depuración del propio quehacer científico.

En el sentir común, la ciencia va asociada a lógica, investigación empírica, razón y racionalidad. El significado original del término *scientia* es conocimiento, no uno cualquiera, sino el dotado de pruebas, justificación y razón. La palabra no se empleó en su sentido técnico actual hasta el siglo XIX, cuando las disciplinas y las instituciones científicas alcanzaron su madurez tras sus inicios dos centurias antes, a partir de raíces antiguas y medievales. Ese advenimiento de la revolución científica, a mediados del siglo XVII, tiene su componente más destacado en el giro copernicano, que sustituyó la idea de una Tierra fija e instalada en el centro del universo (geocentrismo) por la hipótesis de unos planetas, incluido aquélla, que se movían alrededor del Sol (heliocentrismo). No se trataba de una disputa solo astronómica, sino que además ponía en

cuestión la física aristotélica, en particular la explicación de la gravedad.

Otra característica de la revolución científica que merece mencionarse, en cualquier historia de la ciencia por breve y sumaria que sea, concierne al desarrollo extraordinario del conocimiento en numerosos dominios en un período corto de tiempo. Recordemos: las leyes de Kepler sobre el movimiento de los planetas (1609), la circulación de la sangre (Harvey, 1628), la primera ley de los gases ideales (Boyle, 1662) y la mecánica de Newton (1689). Menos la tercera, todas implicaban el abandono de ortodoxias muy arraigadas. Kepler arruinó la idea antigua de que todos los movimientos celestes eran circulares. Con Newton desapareció la creencia de que todo movimiento venía causado por contacto, con su fuerza gravitatoria misteriosa, aunque matemáticamente precisa (*actio in distans*). Harvey rechazó la ortodoxia que arranca de Galeno según la cual la sangre es creada por el hígado y la función del corazón se limita a aportar calor. La mecánica de Newton introdujo los conceptos de masa, fuerza y velocidad; constaba de tres leyes del movimiento y una ley de gravitación universal; unificó con acierto las leyes de Kepler sobre el movimiento de los planetas, las leyes de Galileo sobre la caída libre y el péndulo; explicaba las mareas en términos de la gravedad lunar; y predijo la vuelta del cometa Halley, la existencia de Neptuno y el hecho de que la Tierra no es redonda, sino achatada por los polos.

Revela también la historia que la ciencia no es siempre fiable. Abundan los ejemplos de tesis asentadas que resultaron erróneas. Lo habitual es que la corrección y refinamiento del conocimiento establecido ocurra en los márgenes, aunque hay también revisiones en componentes fundamentales de las teorías. En todo caso, someter las teorías y métodos científicos a permanente escrutinio se hace obligado para descubrir puntos débiles. Si ponemos las teorías en el centro de la naturaleza de la ciencia, les exigiremos precisión matemática, leyes que unifiquen fenómenos dispares y poder predictivo (de hechos que no se han observado todavía). Este enfoque, no obstante, adolece de ciertas limitaciones. La ciencia contiene teorías muy heterogéneas que cubren un amplio espectro de temas y que cambian en el curso del tiempo. Se dice a menudo que no existen leyes estrictamente matemáticas fuera de la física y, aunque ello pudiera ser una exageración, existe, sin

duda, una manifiesta distancia entre las teorías de la física y las teorías de otras ciencias. En una perspectiva positivista de la ciencia, persistente en muchos círculos, el fin de toda ciencia estriba en articular leyes generales bajo las cuales subsumimos todas las observaciones particulares y específicas.

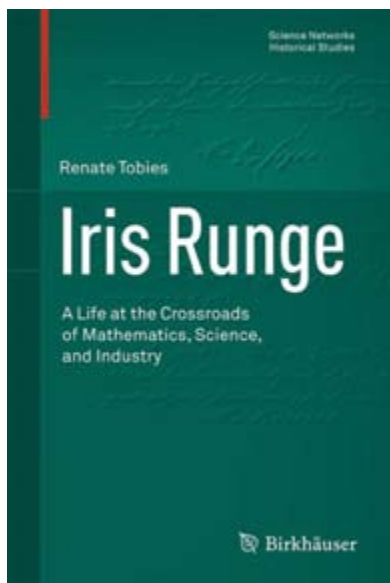
Ahora bien, en última instancia, el problema de separar la ciencia de lo que no lo es se denomina problema de demarcación. Las condiciones que nos facultan para hablar de ciencia son los criterios de demarcación, cuyo desarrollo debemos a Karl Popper. Ningún filósofo ha ejercido tanta influencia sobre el concepto de ciencia. La idea fundamental que introdujo fue negativa. Para Popper la ciencia no versa sobre la prueba y la certeza, sino sobre la refutación y la conjetura. En el marco de su racionalismo crítico, los científicos deben aceptar siempre teorías de una manera provisional; hemos de vivir sin certeza en el conocimiento científico (falibilismo).

Hasta entonces predominaba la explicación inductivista. Por inducción generalizamos a partir de los casos observados. Se trata de un componente básico de la cognición humana que utilizamos en cada momento de forma inconsciente, aunque se supone que, en ciencia, la universalización ha de fundarse en un número sustantivo de datos. En ciencia, generalizar a partir de casos específicos se denomina inducción enumerativa; suele esta expresarse como la inferencia desde «todos los Fs son Gs observados» hasta «todos los Fs son Gs», donde F y G denotan propiedades de cosas (F puede ser un planeta y G un objeto que se desliza trazando una elipse). Hans Reichenbach generaliza esta forma de inducción como sigue: si se han observado  $m$  Fs y  $n$  de ellos son G, entonces la proporción de todos los Fs que son G es  $n/m$ . Newton se mostraba convencido de que su método era inductivo.

Popper se percató de que las teorías científicas genuinas eran, en realidad,

falsables, en el sentido de que realizan predicciones que podrían resultar falsas. Cuanto más predictivas son las teorías y cuanto más precisas y arriesgadas esas predicciones, tanto más falsable es la teoría y mejor es. Por eso, el método científico consiste en falsar las teorías, no en confirmarlas. Ciertamente es que recurre a la idea de «corroboración» de las teorías cuando han superado numerosos intentos de falsación, lo que algunos han considerado otra manera de aceptar la confirmación y seguir anclado en la inducción. Sabido es que Thomas Kuhn dio un vuelco epistemológico en el panorama popperiano cuando escribió *The structure of scientific revolutions*, una historia de la ciencia que sugería que las pruebas y la razón no determinaban qué teorías se abandonaban y qué teorías se aceptaban. Apelaba a las fuerzas sociales como factores que intervenían en el desarrollo de la ciencia.

—Luis Alonso



**IRIS RUNGE. A LIFE AT THE CROSSROADS OF MATHEMATICS, SCIENCE, AND INDUSTRY**

Por Renate Tobies. Springer; Basilea, 2012. (Traducción de un libro publicado originalmente en alemán: «Morgen möchte ich wieder 100 herrliche Sachen ausrechnen». *Iris Runge bei Osram und Telefunken*. Franz Steiner Verlag, Stuttgart, 2010).

**Matemáticas y electrones**

*Iris Runge y la matemática aplicada en las primeras décadas del siglo xx*

Iris Runge (1888-1966), matemática alemana, fue pionera en la aplicación industrial de métodos estadísticos y en el desarrollo de métodos gráficos de integración. Hija del matemático Carl Runge (1856-1927) y de Aimée du Bois-Reymond —a su vez hija del físico Emile du Bois-Reymond—, Runge creció en el seno de una familia extensa, cosmopolita e igualitaria, que favoreció muy activamente la realización profesional de sus grandes do-

tes intelectuales. La formación de Runge y su actividad matemática en la industria eléctrica tuvieron lugar en momentos de profundo cambio en las relaciones entre ciencia, tecnología e industria, cambios que afectaron a las carreras de las mujeres de ciencia. Esta biografía es, por ello, mucho más que la biografía de una matemática industrial: es también un estudio sobre la educación y profesionalización de las mujeres en las décadas en

torno a 1900; un análisis de las posibilidades y retos que la industria eléctrica y de las comunicaciones planteó a los matemáticos en esos años; y finalmente una reflexión sobre el desarrollo de métodos numéricos y estadísticos de investigación y control de calidad en la era previa a la computación electrónica.

Renate Tobies describe en el primer capítulo las líneas historiográficas que se entrecruzan en su trabajo: la historia de la educación y las profesiones; la historia de las matemáticas y sus aplicaciones; y la historia social de la ciencia. Cada una de ellas genera uno de los tres capítulos centrales del libro, dedicados respectivamente a la formación de Runge, a las matemáticas en Osram y Telefunken, y a las interacciones entre ciencia, política y sociedad que marcaron su vida y su carrera. Un capítulo de conclusiones y un apéndice documental completan un volumen denso, documentado, historiográficamente sólido y ocasionalmente excesivo en sus contenidos y en el detalle de la exposición.

En el capítulo 2, dedicado a los «grupos formativos», Tobies describe el conjunto de círculos intelectuales (*thought collectives*, concepto que toma de Ludwig Fleck) a los que perteneció Runge, incluyendo entre otros al grupo familiar, al de sus compañeras de clase y al de sus

camaradas polítics. Runge perteneció a la generación pionera de mujeres que tuvo que superar el examen de acceso a la universidad (*Abitur*) por medios excepcionales, ya que hasta 1908 no hubo en Prusia escuelas para chicas que cualificaran para el acceso a la universidad. En Hannover, donde transcurrió parte de su infancia, Runge fue a una escuela secundaria para chicas, donde brilló como «un genio matemático». La mayoría de las alumnas eran tan ambiciosas como ella y acabaron realizando una tesis doctoral. El capítulo deja claro que la capacidad y las expectativas académicas de las mujeres de ciencia no han sido nunca un asunto estrictamente personal, sino que tienen una dimensión social.

El capítulo 3, el más extenso, trata sobre las matemáticas en Osram y Telefunken. En 1923 Runge entró a trabajar en el departamento de investigación de Osram, empresa de fabricación de bombillas y tubos catódicos fundada en 1919 por los tres gigantes de la industria eléctrica alemana, Siemens & Halske, AEG y Auer, con sede en Berlín. En 1939 Runge será transferida a Telefunken, tras adquirir esta la sección de tubos catódicos. Estas compañías habían empleado desde su creación a ingenieros eléctricos sin conocimientos matemáticos avanzados. El incremento de la producción y la sofisticación tecnológica de los productos conllevó el uso creciente de métodos matemáticos en los procesos de fabricación, control de calidad y diseño, y favoreció la incorporación de matemáticos profesionales como Runge. Tobies analiza de

manera brillante y convincente la cultura experimental en los laboratorios industriales, el papel de las matemáticas y la importancia de estos desarrollos para la comprensión de las relaciones entre ciencia e industria.

El capítulo incluye la sección matemáticamente más exigente del libro (3.4), en la que se discute el papel de las matemáticas como puente entre disciplinas científicas. Runge y sus colegas en Osram desarrollaron métodos estadísticos de control de calidad; por ejemplo, calcularon tablas para determinar el tamaño de una muestra de control, según el grado de calidad requerido. Algunos de estos trabajos fueron publicados en revistas científicas, y reunidos en el primer manual sobre aplicación de la estadística a los problemas de la producción en masa (*Anwendungen der mathematischen Statistik auf Probleme der Massenfabrikation*, Springer, Berlín, 1927). Runge desarrolló también métodos gráficos de integración, y preparó la reedición en 1931 de uno de los primeros manuales sobre el uso de estos métodos en ciencia y tecnología (*Graphische Darstellung in Wissenschaft und Technik*, por Marcello Pirani, 1914).

El título original del libro, en alemán, refleja la pasión de Runge por su trabajo y el valor intelectual de la aplicación de las matemáticas en la investigación industrial: «Mañana quiero hacer 100 maravillosos cálculos más» (p. 221). Runge utilizó sus conocimientos para investigar una de las tecnologías punta de comunicación en los años previos a la Segunda Guerra Mundial: los tubos de electrones, usados

principalmente en aparatos de radio para rectificar, amplificar o modular señales eléctricas —funciones que asumirán los transistores después de la guerra.

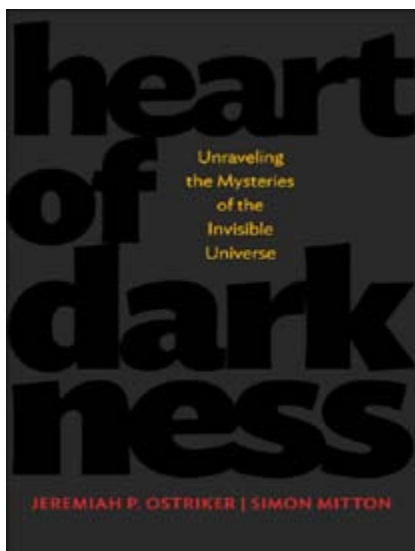
El último capítulo del libro trata sobre las relaciones entre ciencia, política y sociedad, en la Alemania de Weimar (1919-1933) y bajo el nazismo. Tobies se hace eco de los numerosos trabajos recientes sobre la cuestión, que sin embargo apenas han incidido sobre la historia de los laboratorios industriales. Runge, que trabajó en proyectos militares para Telefunken durante la Segunda Guerra Mundial, se enfrentó a la paradoja de que la ciencia que le había servido para emanciparse profesionalmente servía ahora para consolidar un régimen al que se oponía con todas sus fuerzas. La discusión de Tobies no elude estos dilemas y ofrece una perspectiva nueva sobre el exilio interior de matemáticos y científicos alemanes.

Completa la obra un apéndice documental que incluye una cronología, una relación de las publicaciones de Runge, y fragmentos de sus publicaciones e informes sobre el trabajo en el laboratorio.

El libro es, en definitiva, una valiosa aportación a nuestro conocimiento sobre la profesionalización de la matemática aplicada y las perspectivas académicas, laborales y personales de una mujer de ciencia en la Alemania de la primera mitad del siglo xx.

—Xavier Roqué

*Centro de Historia de la Ciencia  
Universidad Autónoma de Barcelona*



### HEART OF DARKNESS. UNRAVELING THE MYSTERIES OF THE INVISIBLE UNIVERSE

Por Jeremiah P. Ostriker y Simon Mitton.  
Princeton University Press; Princeton, 2013.

## Naturaleza del universo

*Lo que sabemos de sus dos componentes mayoritarios*

Las primeras inquisiciones racionales del hombre versaron sobre la naturaleza del mundo entorno. Una inquietud que le acompañó a lo largo de la historia y jalona las etapas principales del curso de la ciencia. Nacieron y se desarrollaron modelos cosmológicos, que fueron sustituidos por otros más exactos merced a la introducción de nuevos conceptos físicos y la ayuda de una instrumentación perfeccionada. A lo largo de los últimos 30 años, hemos llegado a conocer que dos componentes, materia oscura y energía oscura, tienen la llave del destino del universo. Merecen reseñarse, en particular, las pruebas que avalan el modelo «materia oscura fría lambda», que se expone aquí por Simon Mitton y Jeremiah Ostriker, pionero este del campo abordado. Cumplen en su

exposición la triple exigencia de toda descripción genuina de la ciencia astrofísica: aplicación de la medición directa y observación, introducción de la modelización matemática y contrastación de las hipótesis formuladas.

Lo invisible gobierna aquí lo invisible, mientras que lo infinitésimo determina lo cósmico. No es un galimatías pseudo-poético, sino rigurosa inferencia lógica. Miremos a nuestro alrededor. Vemos paredes, mesas, sillas. Todo está hecho de átomos y moléculas, protones, neutrones y electrones, como las alcachofas, los ratones o el planeta Marte. Si todo ello consta de los mismos factores, cabría deducir que el resto del universo esté construido con idéntica argamasa. No opinan así los astrónomos. Atribuyen nada menos que el 95 por ciento del cosmos a dos tipos diferentes de material extraño. Uno, la materia oscura, posee masa; su gravedad ayuda a que el universo se mantenga junto. El otro, la energía oscura, impulsa la expansión del universo. Las galaxias forman cúmulos allí donde la densidad de materia oscura es mayor. Aunque escapa a la observación, la gravedad de una masa de materia oscura curva la luz procedente de galaxias lejanas en un proceso denominado de lente débil. Merced a ello pudo realizarse un análisis estadístico de decenas de miles de galaxias que revelan la distribución de materia oscura.

La cosmología, estudio de la naturaleza, formación y evolución del universo, ha experimentado una transformación radical desde los años sesenta. Se partía de dos modelos vigorosos y enfrentados: la teoría de la gran explosión (*big bang*) y la teoría del estado estacionario del universo. Escaseaban datos y pruebas contundentes que pudieran inclinar la balanza. Mas las observaciones realizadas a lo largo de estos decenios han confirmado ampliamente el primer modelo, con unos telescopios que se ha convertido en máquinas del tiempo que nos permiten inferir el pasado del cosmos. Cuando el telescopio espacial Hubble nos introduce en un rincón del universo alejado de nosotros siete mil millones de años luz, contemplamos el mundo tal como era hace 7000 millones de años, la mitad de lo que se supone es la edad del universo. En consecuencia, podemos ver y medir las diferencias entre entonces y ahora, cartografiar la evolución del universo. Por su parte, los radiotelescopios nos revelan el camino hasta el momento en que los fotones emergieron de la sopa

primordial que los mantuvo aprisionados durante los primeros 300.000 años desde la singularidad de la gran explosión; con ello se nos ofrece una visión de la radiación residual. Podemos, por tanto, ver y medir directamente las tenues fluctuaciones primordiales, que crecen a través de la acción de la gravedad para convertirse en el mundo variopinto de las galaxias, estrellas y planetas.

No hemos encontrado todavía pruebas directas de materia oscura ni de energía oscura en laboratorios terrestres. Sin embargo, los indicios sobre su predominio aumentan por días. La materia oscura se descubrió, en los años 30 del siglo pasado, en los supercúmulos de galaxias, las mayores estructuras autogravitatorias del universo. Se supuso que residiría en el espacio intergaláctico. Luego, en los setenta, se la situó en los alrededores de galaxias normales, rodeándolas, a modo de halos. Los primeros cálculos sistemáticos revelaron que la propia concentración cósmica de materia oscura podía explicar no solo esos fenómenos observados, sino también, más fundamentalmente, la formación de galaxias y cúmulos. En los años noventa se descubrió la cuantía de materia y gravedad consiguiente necesarias para causar el desarrollo de estructuras.

Los grandes telescopios ópticos nos han suministrado imágenes brillantes y distorsionadas de objetos extremadamente alejados, imágenes que pudieran interpretarse como causadas por la intervención de masas de materia que actúan a modo de lentes gravitatorias, amplificando la imagen de objetos mucho más lejanos, un efecto predicho por Einstein. Las fuerzas gravitatorias que emergen de la materia oscura instan la concentración de materia ordinaria en galaxias. Pero ahora se sabe que los componentes químicos ordinarios de planetas y estrellas, el material que emite y absorbe luz, constituyen el cuatro por ciento del total: la guinda del pastel. Pero el pastel consta de materia oscura, energía oscura y radiación electromagnética, siendo la energía oscura la levadura que hincha el pastel, por seguir con la metáfora.

¿En qué consiste la materia oscura? ¿Existe en realidad necesariamente en su existencia o se trata simplemente de un recurso de la ciencia para cuadrar determinada interpretación del universo? Desde el punto de vista cronológico, la historia empieza con Fritz Zwicky, astrónomo nacido en Varna (Bulgaria), que se educó en el Instituto Federal Suizo de Tec-

nología y se trasladó al Caltech norteamericano en 1925. Trabajó la mayor parte de su vida en los observatorios Monte Wilson y Monte Palomar. Fue el descubridor de la materia oscura, llamándole así (*dunkle Materie*) en 1937, en un artículo donde analizaba la dinámica de los cúmulos de galaxias.

Pasaron decenios hasta que los físicos se percataron del alcance de tal descubrimiento. A grandes rasgos, Zwicky halló, marcó y catalogó cúmulos gigantes de galaxias y se esforzó por entender qué es lo que podía mantener juntas semejantes macroestructuras. En esos cúmulos, las galaxias desarrollan unas velocidades celerísimas, del orden de 1000 kilómetros por segundo. Pese a lo cual, ni salían despedidas ni se dispersaban por el medio. Sin duda, había alguna fuerza que mantenía íntegros los cúmulos. El candidato obvio para esa fuerza era la de la gravedad, merced a la cual nuestro satélite sigue su órbita alrededor de la Tierra. Ahora bien, para que la gravedad adquiriera una intensidad suficiente que logre sostener la cohesión de los cúmulos gigantes, debían poseer una masa mucho mayor que la que se ponía de manifiesto con el número de galaxias observadas, concediendo a cada galaxia la masa normalmente admitida.

La fuerza de la gravedad es proporcional a la cantidad de masa. Si suponemos que la estrella promedio hallada en estos sistemas tenía la masa de nuestro Sol, entonces la fuerza gravitatoria local sería deficiente al menos en un factor de 100 para ejecutar la tarea de mantener unidos los cúmulos galácticos. De ese modo, Zwicky postulaba que debía haber algo más en los cúmulos, a saber, materia oscura, que aportara la masa extra y fuera la responsable de que las galaxias no salieran despedidas fuera de los cúmulos.

En 1937 Horace Babcock, del observatorio Lick, se valió de un nuevo espectrógrafo que acababa de diseñar Nicholas Mayall que permitía investigar el tenue brillo superficial de regiones de las galaxias, para obtener la curva de rotación de Andrómeda, nuestra galaxia vecina; no solo en sus regiones centrales, sino también en las muy alejadas del centro. Babcock descubrió un fenómeno inesperado. A diferencia de lo que ocurre en nuestro sistema solar, la velocidad de rotación de la galaxia no decaía con el incremento del radio, sino que persistía constante. Incluso parecía aumentar en las zonas exteriores, oscuras, de Andrómeda. De

ese modo, el primer empeño serio en determinar la distribución de masa del interior de una galaxia aportaba ya una prueba sólida de la existencia de materia oscura. Ese trabajo de Babcock, junto con el análisis de Zwicky, constituyeron los principales hallazgos relativos a la materia oscura que se realizaron decenios antes de que su existencia recibiera una aceptación mayoritaria.

Lo que acontece en los setenta. En su redescubrimiento tuvo activa participación uno de los autores de la obra (Ostriker), junto con Jim Peebles y Amos Yahil, que redactaron un artículo en 1974 de título explícito: *The size and mass of galaxies, and the mass of the universe*, donde revisaban lo conocido sobre curvas de rotación de zonas alejadas del centro de las galaxias; todas ellas indicaban que la masa de cada uno de esos sistemas parecía aumentar en las partes exteriores a una ritmo proporcional al tamaño de la religión estudiada. Otra forma de expresar esos resultados peculiares era atender a la razón entre la luz emitida por una galaxia y la masa.

A finales de los setenta y comienzos de los ochenta las pruebas más convin-

centes sobre la materia oscura las recabaron Vera Rubin, Kent Ford y sus colaboradores. Este grupo hizo uso de una nueva técnica electrónica que permitía medir velocidades de zonas más alejadas del centro galáctico que ninguno de los métodos empleados hasta entonces. Hay hoy muchas más pruebas sobre la presencia de materia oscura; por ejemplo, el mencionado efecto de las lentes gravitatorias.

La expresión «energía oscura» fue acuñada por Michael Turner en 1998; designa cualquier material capaz de dar cuenta de la aceleración del universo observada. No se trata de una denominación acertada por su exactitud, habida cuenta de que la nota distintiva de la energía oscura no es su energía, sino su contribución como presión negativa. La energía oscura no tiene contrapartida en la Tierra. Se trata de una fuerza muy débil que, a diferencia del resto, adquiere mayor intensidad con la distancia. La evolución del universo en expansión, así como el desarrollo de estructuras en su interior, guardan relación con la intensidad del campo gravitatorio y con la energía potencial que contiene. En el modelo

de universo avanzado por Einstein, en los primeros decenios del siglo xx, con la constante cosmológica, existe un equilibrio exacto de fuerzas, donde la constante cosmológica, que insta el alejamiento de las galaxias, se ajusta con la gravedad, que las atrae. Imaginemos ahora que al alejarlas ligeramente, la gravedad se torna más débil (puesto que opera inversamente con el cuadrado de la distancia), pero la fuerza que insta su alejamiento se torna más fuerte (puesto que la nueva fuerza aumenta con la separación).

De acuerdo con el modelo cosmológico estándar, la forma más abundante de materia en el universo presente es la energía oscura. El componente menos conocido, también. Se la supone responsable de la aceleración del universo. Existen muchas líneas de prueba, recabadas con la batería de nuevos telescopios e instrumentación refinada (detectores electrónicos, radioastronomía y astronomía de rayos X), que contribuyeron a la ampliación del horizonte físico para los observadores, así como a la apertura de zonas invisibles del espectro electromagnético.

—Luis Alonso

# INVESTIGACIÓN Y CIENCIA

## OFERTA DE SUSCRIPCIÓN

Reciba puntual y cómodamente los ejemplares en su domicilio

Suscríbase a *Investigación y Ciencia*...

- ▶ por **1 año** y consiga un **17% de descuento** sobre el precio de portada (**65 €** en lugar de 78 €)
- ▶ por **2 años** y obtenga un **23% de descuento** sobre el precio de portada (**120 €** en lugar de 156 €)
- ▶ **REGALO** de 2 ejemplares de la colección TEMAS a elegir.\*

Y además podrá acceder de forma gratuita a la versión digital de los números correspondientes a su período de suscripción.

Puede suscribirse mediante:

[www.investigacionyciencia.es](http://www.investigacionyciencia.es) ◀

Teléfono: 934 143 344 ◀

\* Consulte el catálogo. Precios para España.