

# Introducción

*En efecto, las cosas que aparecen nos hacen  
vislumbrar las cosas no-patentes.*

Anaxágoras

La luz, si se nos admite usar esta denominación para la radiación electromagnética en todo el rango del espectro, es la señal que nos llega del Universo. La luz, parafraseando a Galileo, es la mensajera celestial que nos aporta la información sobre los astros, sus propiedades y sus vicisitudes.

Desde las observaciones visuales sin ayuda instrumental, hasta las más recientes capaces de explorar todo aquel rango, desde las ondas de radio hasta los rayos  $\gamma$  más energéticos, las observaciones astronómicas han consistido en coleccionar primero y analizar después esa luz, débil, que nos llega de las estrellas. Aun sólo con las observaciones visuales, y valiéndose de instrumentos de medida de ángulos, la Astronomía de posición consiguió elaborar un panorama completo de los planetas y sus movimientos, y describir el Universo tal y como entonces se percibía. La entrada en escena del telescopio constituyó una extraordinaria revolución que supuso poner un nuevo Universo, infinitamente más vasto y rico que el anterior, a disposición de la ciencia que estaba emergiendo. Maravillado, Galileo abre su *Sidereus Nuncius* en 1610 con un *Avviso Astronomico* en el que dice al lector:

*Verdaderamente grandes son las cosas que propongo en este breve tratado a la  
visión y a la contemplación de los estudiosos de la naturaleza. Grandes, digo, ya*

*sea por la excelencia del tema por sí mismo, ya sea por su novedad jamás oída en todo el tiempo transcurrido, ya sea incluso por el instrumento, gracias al cual aquellas mismas cosas se han hecho manifestas a nuestros sentidos.*<sup>1</sup>

F. Brunetti, Galileo, *Opere. I. Sidereus Nuncius*

El libro nos relata el descubrimiento de los *planetas mediceos*, que así llama su descubridor a los cuatro satélites mayores de Júpiter. Y las observaciones de la Luna, de las estrellas fijas y de la Vía Láctea. Con las revoluciones de los mediceos alrededor de Júpiter, profusamente ilustrada por Galileo en su obra, queda afirmado de manera rotunda el sistema copernicano, y con la actitud metodológica de Galileo se cimenta la Ciencia moderna. A partir de ese momento, el firmamento se convierte en fuente inagotable de descubrimientos y sorpresas. La aplicación, dos siglos más tarde, de la naciente espectroscopia al análisis de la luz estelar abrirá el camino de la Astrofísica y, con él, el de la comprensión de los fenómenos que se observan en el cielo.

Mientras, Newton enunció su ley universal de la gravitación en 1687. Universal porque rige para todos los cuerpos, en la tierra y en los cielos. Se comprenden los movimientos de los planetas y se predicen sus posiciones. La confianza en su capacidad es total y, por un método en cierto modo análogo al que después nos ha permitido llegar a los conceptos que hoy maneja la Cosmología, se predice la existencia de otros planetas: las perturbaciones observadas en los movimientos de planetas conocidos con respecto a las predicciones de la teoría conducen a concluir que existen otros cuerpos aún no identificados que las causan. Incluso, se anticipa dónde deben encontrarse, y las observaciones consagran de manera indisputable la veracidad de la teoría. La luz reflejada por los planetas conocidos había conducido a reconocer la existencia y a descubrir nuevos planetas, que habían permanecido *ocultos* hasta entonces.

Ése era el Universo para los científicos hasta comenzado el siglo XX. Los planetas con sus satélites, orbitando alrededor del Sol, y las estrellas, conformando, junto con nebulosas de diferentes formas y aspecto, la Vía Láctea. Nuestra Galaxia era, para los científicos de esas épocas, todo el Universo. La entrada en escena de nuevos y más poderosos telescopios en las primeras décadas de 1900, como antes

---

1. *Grandi invero sono le cose che in questo breve trattato io propongo alla visione e alla contemplazione degli studiosi de la natura. Grandi, dico, sia per l'eccellenza della materia per sé stessa, sia per la novità loro non mai udita in tutti i tempi trascorsi, sia anche per lo strumento, in virtù del quale quelle cose medesime si sono rese manifeste al senso nostro.*

con el telescopio de Galileo, iba a cambiar de manera extraordinaria nuestra percepción del Universo.

Resulta ya muy conocido el largo debate sobre la existencia de galaxias exteriores como para ni siquiera tener que resumirlo aquí. El hecho es que ese debate quedó cerrado con los datos aportados por Hubble sobre las distancias a algunas de las nebulosas conocidas, Andrómeda entre ellas. Quedaba fuera de toda duda que esas distancias eran mucho mayores que el tamaño admitido para nuestra Galaxia y, por lo tanto, se trataba de nuevos sistemas, similares al nuestro y, en algunos casos, incluso mayores que la Vía Láctea. Acababa de descubrirse *el mundo de las galaxias*, con sus formas características, poblando el Universo en cualquier dirección que se observase. De pronto, el Universo físico se había convertido en un enjambre poblado por un inmenso número de galaxias diversas en formas, tamaños y luminosidades. El cambio que supuso ese descubrimiento fue fenomenal: si nuestra Galaxia tiene un tamaño aproximado de 100.000 años luz, Andrómeda, la más próxima visible desde el Hemisferio Norte, se encuentra a más de 2.000.000 de años luz. Había ya que usar un gran múltiplo de la unidad parsec (equivalente a 3,28 años luz), el Mpc, para hablar de las distancias de las galaxias.

A partir de ese momento, podemos comenzar a hablar de Cosmología en el sentido moderno de la palabra. La revolución cosmológica que se produce tiene, por otro lado, un nuevo soporte teórico necesario: la Teoría de la Relatividad General de Einstein de 1905, una nueva formulación de la teoría de la gravedad, que contiene y supera a la de Newton. La conjunción de ambos descubrimientos hará posible el florecimiento que hoy conocemos.

El avance, en materia de Cosmología, será sin embargo lento. Los datos se toman con dificultad debido a la poca sensibilidad de los detectores usados hasta tiempos relativamente recientes. De modo que la acumulación de información, necesaria para poder extraer conclusiones fiables, es muy costosa. Es por ello de resaltar el golpe de genio que supone el hallazgo por el mismo Hubble de la ley que lleva su nombre, y que nos dice que la distancia a la que se halla una galaxia está en relación directa con el desplazamiento hacia mayores longitudes de onda (de ahí el nombre de *desplazamiento hacia el rojo*) de sus líneas espectrales. Y que esa relación es de simple proporcionalidad cuando esas galaxias no están demasiado lejos.

La *ley de Hubble* se constituye en la piedra angular de la Cosmología actual. Su interpretación en términos de *expansión del Universo* nos proporciona una visión estructurada y evolutiva del mismo, descrita por modelos extraídos de la Relatividad General de Einstein. El problema a resolver está bien formulado y, por tanto, se trataría *solamente* de encontrar, con las observaciones, los valores de los parámetros

que particularizan el modelo de Universo que mejor se ajusta de entre todos los que ofrece la teoría.

En ese recorrido de décadas hacia la determinación de esos parámetros, el progreso en el conocimiento astrofísico ha sido extraordinario. Y, con el conocimiento, han ido viniendo las sorpresas. Nuestra guía sigue siendo el análisis de la luz que nos llega de los astros, pero lo visible muy pronto apuntó hacia lo que no veíamos. Así, desde los primeros análisis, la dinámica de los cúmulos de galaxias ya indicaba claramente la presencia de materia que, si bien no veíamos, se manifestaba por su acción gravitatoria. Como en el caso de Neptuno, o de la compañera de Sirio, su presencia no había sido delatada por su propio brillo, sino por su efecto en los movimientos de los cuerpos que forman parte del mismo sistema. Sólo que ahora, como se iría poniendo de manifiesto poco a poco, juntando argumentos diferentes, esa materia no estaba simplemente oculta (como se le llamó en un principio), sino que resultaba ser de una naturaleza diferente a la que constituyen las estrellas, los planetas o a nosotros mismos. Aparecía en escena la *materia oscura*.

Los argumentos sobre su existencia y características básicas se han ido multiplicando con los años, aunque sigue sin haber sido caracterizada. Podemos decir, salvo que consideremos errónea la teoría gravitatoria actual, que ha sido ya descubierta, puesto que sus efectos están medidos. Pero no sabemos cuál es su naturaleza y propiedades, lo que está motivando importantes esfuerzos observacionales en la confluencia entre la Física de partículas y la Astrofísica.

La estructura básica del Universo, la métrica del espacio-tiempo, se ha ido determinando paulatinamente, usando fuentes cada vez más lejanas, que permiten una mejor separación entre las predicciones de los diferentes modelos. Y con la capacidad de medidas cada vez más precisas ha llegado la segunda gran sorpresa: *la expansión del Universo es acelerada*. Dado que la presencia de materia y energía, cualesquiera que sean sus naturalezas, sólo puede frenar la expansión por sus efectos gravitatorios, se deduce que debe haber una nueva componente, que se comporte de manera diferente, que sea responsable de esa aceleración de la expansión.

Una componente de ese tipo fue ya incluida por Einstein en su teoría, no en su primera formulación, pero sí cuando elaboró el primer modelo cosmológico y quiso darle estabilidad: la *constante cosmológica*. No tuvo buena prensa al principio, precisamente por haber sido introducida *ad hoc* para salvar el modelo estático, lo que significó, de hecho, el retraso en la admisión de los primeros modelos evolutivos de Friedman. Pero no desapareció nunca completamente de la escena cosmológica, ya que se recurrió a ella en varias ocasiones para conseguir que la edad del Universo-

modelo no fuese inferior a la del Universo-real, indicada por sistemas reconocidos como muy viejos, tales como los cúmulos globulares. Pero su estatus como ingrediente necesario para comprender los datos disponibles, que apuntan a que la expansión es acelerada, es relativamente reciente. Con un añadido, y es que, en el lado teórico, aun manteniendo la posibilidad de que sea una constante de la teoría, se ha ensanchado el concepto para abarcar la posibilidad de que se trate de una entidad física, totalmente desconocida por el momento, que también evolucione con el tiempo. Estamos hablando de la *energía oscura*.

Entre los triunfos de la Cosmología actual, convertida en herramienta fundamental para determinar los diferentes parámetros cosmológicos, está sin duda la predicción y descubrimiento de la *radiación cósmica de fondo*. Esa radiación, que producía un extraño ruido en la antena que estaban caracterizando Penzias y Wilson, se ha revelado como una componente cosmológica, la más homogénea e isótropa del Universo, que nos informa de una época remota en la que el Universo estaba mucho menos diferenciado y estructurado que ahora. El análisis de sus propiedades y de sus minúsculas irregularidades ha abierto un auténtico camino real por el que nuestro conocimiento cosmológico dará, sin duda, un gran salto adelante. Junto con las otras componentes de la disciplina, está haciendo posible el conocimiento del Universo con una precisión y detalle inimaginables hace tan sólo unos años. Conocimiento que, no sería de extrañar, nos llevará a nuevas sorpresas y nuevos retos que constituirán los objetivos de la Cosmología inmediatamente futura.

No sin cierta ironía, presentida desde muy antiguo, el hilo de la luz que nos llega del cielo nos ha ido conduciendo hacia la evidencia de que, finalmente, esa parte luminosa del Universo no sería sino una minúscula fracción de su contenido total. Contenido que, por ahora, sólo hemos sido capaces de nombrar como materia y energía oscuras, y a cuyo desvelamiento se están orientando grandes esfuerzos coordinados tanto en el dominio observacional como en el teórico. Pequeña parte sí, pero como el hilo de Ariadna, imprescindible para salir de este hermoso laberinto al que el desarrollo de la Astrofísica y la Cosmología en las últimas décadas nos ha conducido. Y que nos llevará, como no puede ser de otra forma, a un nivel superior de comprensión del Universo y de los astros.

Como se dice en un informe reciente sobre la necesidad de coordinar esfuerzos para abordar el estudio de la energía oscura:

*La aceleración del Universo es, junto con la materia oscura, el fenómeno observado que de forma más directa demuestra que nuestras teorías de partículas*

*elementales y gravedad son incorrectas o incompletas. La mayoría de los expertos cree que se necesita nada menos que una revolución en la manera en que comprendemos la física fundamental para entender plenamente la aceleración cósmica.*<sup>2</sup>

Albrecht *et al.*, *Report of the Dark Energy Task Force*, Abstract, 2006,  
astro-ph/0609501

Es fácil también comprender por qué la revista *Science*, al listar los 100 problemas más interesantes de la Ciencia, pone el de la energía oscura en primer lugar. Si la Ciencia avanza sobre todo cuando se plantean nuevos problemas fundamentales, no cabe duda de que la Astrofísica y la Cosmología han hecho una aportación extraordinaria, desafiando a la Física a resolver los problemas que la paciente acumulación de datos y elaboraciones ha planteado.

MARIANO MOLES VILLAMATE  
*Coordinador*

---

2. *The acceleration of the universe is, along with dark matter, the observed phenomenon that most directly demonstrates that our theories of fundamental particles and gravity are either incorrect or incomplete. Most experts believe that nothing short of a revolution in our understanding of Fundamental Physics will be required to achieve a full understanding of the cosmic acceleration*