

Mariano Moles Villamate

El universo a vista de pájaro

Prólogo de Vicent J. Martínez



institutió
alfons el magnànim
centre valencià
d'estudis i d'investigació



COL·LECCIÓ URÀNIA

Direcció editorial: Vicent J. Martínez

© 2024, Mariano Moles Villamate

© 2024, del prólogo: Vicent J. Martínez

© 2024, de la ilustración de portada: Javier Pérez, sobre fotografías de 123RF

© 2024, de esta edición:

Institució Alfons el Magnànim -

Centre Valencià d'Estudis i d'Investigació

Diputació de València

Corona, 36 - 46003 València

Tel. +34 963 883 169

contacte@alfonselmagnanim.com

www.alfonselmagnanim.net

© de las figuras:

Figura II.1: © Hubble Heritage Team (AURA/STScI/NASA/ESA). **Figura III.1:** © ESA/Hubble & NASA. **Figura III.2:** © NASA, ESA, Joseph DePasquale. **Figura III.3:** © EHT Collaboration. **Figura IV.1:** © AURA, STScI, NASA, Hubble Heritage Project (STScI, AURA). **Figura IV.2:** © ESO, ALMA (ESO/NAOJ/NRAO)/A. Schruba, VLA (NRAO)/Y. Bagetakos/Little THINGS. **Figura IV.3:** © NASA/JPL-Caltech - Processing & Copyright: R. Gendler & R. Croman. **Figura IV.4:** © R. P. Kirshner, PNAS vol. 101, No. 1, pp 8-13, 2003. **Figura IV.5:** © Luiz de Costa, <https://arxiv.org/abs/astro-ph/9812258>. **Figura IV.6:** © M. Blanton and the Sloan Digital Sky Survey. **Figura IV.7:** © N. Benítez, R. Dupke, M. Moles et al., 2014, arXiv:1403.5237. **Figura IV.8:** © CEFCA, Augusto Llacer. **Figura IV.9:** © NASA COBE. **Figura IV.10:** © ESA & Planck Collaboration. **Figura IV.11:** © ESA and the Planck Collaboration (<https://sci.esa.int/web/planck/-/51555-planck-power-spectrum-of-temperature-fluctuations-in-the-cosmic-microwave-background>). **Figura IV.12:** © NASA, ESA, E. Jullo (Jet Propulsion Laboratory), P. Natarajan (Yale University), and J.-P. Kneib (Laboratoire d'Astrophysique de Marseille, CNRS, France); Acknowledgment: H. Ford and N. Benitez (Johns Hopkins University), and T. Broadhurst (Tel Aviv University). **Figura IV.13:** © X-ray: NASA/CXC/CfA/M.Markevitch, Optical and lensing map: NASA/STScI, Magellan/U. Arizona/D.Clowe, Lensing map: ESO WFI. **Figura IV.14:** © Perlmutter et al, *Astrophysical Journal* 517, 565, 1999

Correcció lingüística: Ofelia Sanmartín

Diseño de la colección y maquetación: Javier Pérez Belmonte

Tipografía: IBM Plex Serif, de Mike Abbink i Bold Monday; Bulo Rounded, de Jordi

Embotas. En el interior, papel Printset Ivori de 90 gramos y en la cubierta

Image Silk de 350 gramos

Impressió: Paper Plegat

ISBN: 978-84-1156-026-9

Depósito legal: V-466-2024

Para mis padres, in memoriam.

Para Sylvia.

Para Vanessa y Vital.

Para mis hermanos, Jesús (in memoriam) y Carmen.

Para mis abuelos, in memoriam.

Para Jean-Pierre Vigier, in memoriam.

*Para investigar la verdad es preciso dudar,
en cuanto sea posible, de todas las cosas.*

R. Descartes

Agradecimientos

Cualquier trabajo es deudor de numerosas influencias que provienen no ya solo del ámbito directamente profesional, sino también de otros más generales, desde los que se incide en el modo de aproximarse a la ciencia y la actitud ante sus logros y dificultades. Quizás por eso, estos agradecimientos siguen lo que ha sido mi trayectoria profesional.

El impacto, aún niño, de las noticias sobre el primer satélite artificial, me había decidido a la ingeniería aeronáutica. Pero, según descubrí algo después, no era el espacio como lugar para recorrer con ingenios, sino el cielo y lo que contiene lo que realmente me atraía, lo que me llevó a una total reorientación una vez acabados los estudios universitarios. El primer contacto con la investigación en astronomía se produjo a través de los estudios entonces llamados de tercer ciclo y la incorporación como becario al Institut Henri Poincaré en París. Dirigidos por el profesor Jean-Pierre Vigié, y en contacto frecuente con el profesor Jean-Claude Pecker, nos reunimos un grupo de jóvenes que aceptamos dirigir nuestros esfuerzos en ámbitos cosmológicos controvertidos, algo alejados del núcleo del paradigma dominante. Éramos Gerard LeDenmat, Laurent Nottale, Hiroshi Karoji, Jean-Luc Nieto y

yo mismo. Fue una etapa que se desarrolló en un clima efervescente, durante la que pudimos disfrutar de las opiniones, críticas y sugerencias de muchos expertos y colegas, con los que intercambiamos opiniones y largas discusiones que nos enriquecieron para siempre. Pero destacaba, sobre todo, el carácter, la vitalidad, la gran capacidad y entusiasmo del profesor Vigier, quien no solo influyó decisivamente en mi enfoque de las cuestiones científicas, sino en la actitud general ante la realidad. Mi recuerdo agradecido perdurará conmigo.

En una situación de gran entusiasmo y muy limitados medios, el empeño de científicos como Francisco Sánchez, José María Quintana y Jesús Gómez, desde instituciones diferentes, pusieron los fundamentos de lo que se ha convertido, años después, en nuestro país, en una disciplina del máximo nivel, con las mejores instalaciones y equipos. Esa situación de efervescencia inicial fue la que motivó mi regreso a España. En esos momentos iniciales pude incorporarme, desde el Observatorio de Calar Alto, al esfuerzo de establecer una investigación de calidad en astronomía y astrofísica en nuestro país. Recuerdo con gran viveza las discusiones, generalmente largas, en las que tratábamos de analizar la situación, preparar el futuro y la manera de hacerlo realidad. Tras una breve estancia en el Observatorio Astronómico Nacional, durante la cual mis vínculos de amistad y respeto profesional por Jesús Gómez se reforzaron, a través de las discusiones, que aún ahora tenemos, sobre astronomía, ciencia y la vida en general, me incorporé al CSIC. Ya he nombrado a José María Quintana, quien propició el marco en el que pudimos crear el primer departamento de Astronomía Extragaláctica en España, en el joven Instituto de Astrofísica de Andalucía. En ese clima de entusiasmo llegaron a Granada los primeros doctorandos decididos a estudiar las galaxias:

Pepa Masegosa, Ascensión del Olmo, Eija Laurikainen, Jaime Perea y Antonio Aparicio. Llegarían luego Isabel Márquez, Ana Campos, Carlos Barceló, Begoña Ascaso. Todos ellos salieron magníficamente adelante y con todos ellos pude tener largas y muy sustanciosas discusiones. Poderosos intercambios de ideas, cuyo recuerdo quiero rememorar por su importancia en mi devenir como astrónomo.

Quiero recordar también a M. V. Penston por su indispensable guía en nuestros primeros pasos y, junto con Enrique Pérez, por las maravillosas discusiones sobre las galaxias activas y sus propiedades. Y también a Halton Arp, cuya capacidad científica, experiencia y capacidad de análisis general me hicieron apreciar sus contribuciones, siempre desde la capacidad de discrepar que no solo practicó, sino que siempre respetó profundamente. Junto con Jean-Pierre Vigier y Jean-Claude Pecker, ejemplos de honestidad intelectual, compromiso y consistencia tanto en sus vidas como en su trabajo, son algunos de mis referentes más importantes.

Las últimas etapas de mi actividad profesional se centraron en la definición, planificación y ejecución de los proyectos científicos que pusieron de manifiesto la necesidad de un nuevo tipo de observatorio, no tanto de carácter generalista, sino orientado a propósitos específicos, a saber, los grandes cartografiados necesarios para caracterizar el universo a gran escala, a la vez que pudieran servir los intereses de diferentes ramas de la astrofísica por las técnicas que implementa. Este último proyecto ha resultado la etapa más intensa de mi carrera, en la que se han puesto en tensión permanente nuestra capacidad y conocimientos, y me han forzado, a nivel personal, a un esfuerzo extraordinario de aprendizaje e imaginación. Y, cómo no, toda esa actividad y sus logros está asociada a colegas y compañeros que han contribuido

decisivamente a que pudiera llevarse a cabo. Si bien son muchos más, quiero citar en particular las contribuciones imprescindibles de Vicent Martínez, Alberto Fernández Soto y Narciso Benítez, sin los cuales no se hubieran elaborado los proyectos científicos que están en la base del Centro de Estudios de Física del Cosmos de Aragón y del Observatorio Astrofísico de Javalambre.

La realidad de ese nuevo centro y su observatorio es obra de un extraordinario grupo de jóvenes científicos e ingenieros, de los que quiero destacar a Javier Cenarro, Antonio Marín Franch, David Cristóbal, Jesús Varela, Carlos López San Juan, Axel Yáñez, Alessandro Ederoclite, Fernando Rueda, Sergio Rueda, Ángel López Sáinz, Tamara Civera, Javier Hernández, sin olvidar el papel necesario que desde la gestión de todo lidera Silvia Vaquero. Qué extraordinaria oportunidad, ya en la última etapa profesional, para discutir, argumentar, aprender e imaginar la ciencia y sus necesidades con todo ese grupo de jóvenes brillantes, entusiastas y profundamente comprometidos con la ciencia. Gracias a todos.

No puedo terminar sin mi más profundo agradecimiento al profesor Manuel Lozano Leiva, sin quien este libro no hubiera sido escrito. Y, de nuevo, al profesor Vicent Martínez por haber aceptado escribir el prólogo que abre esta presentación.

A todos los nombrados y a tantos más que de una u otra forma han contribuido a mi formación como científico y a mi modo de percibir la ciencia y la cosmología, mi más profundo reconocimiento.

Índice

<i>Prólogo, Vicent J. Martínez</i>	19
<i>Introducción</i>	25
I El universo y la cosmología	37
Universo y dominio cosmológico	41
Extensión y duración del universo.....	43
Inteligibilidad del universo. Unicidad de la materia y de las leyes físicas.....	47
Hacia la cosmología. Gravedad y principios cosmológicos.....	61
II La luz, mensajera de los cielos	69
Propagación y naturaleza de la luz	72
La luz, onda y corpúsculo	82
Radiación de cuerpo negro. Los colores de las estrellas.....	85
Otros mecanismos de radiación.....	89
Naturaleza observacional de la astronomía	93
III La gravedad o la cohesión del universo	101
El camino hacia Newton	102
La formulación de la ley de gravitación universal	115
La causa y velocidad de propagación de la gravedad....	119
Dificultades de una cosmología newtoniana.....	123

Mecánica newtoniana <i>versus</i> electromagnetismo.	
La relatividad restringida.....	126
La relatividad general, la nueva teoría de la gravitación.....	136
Conceptos y geometría. Las ecuaciones de Einstein.....	137
Una constante nueva. La constante cosmológica.....	144
La aproximación newtoniana. Los tests clásicos de la relatividad general	148
Ondas gravitatorias y agujeros negros	157
IV Descubriendo el universo	167
Estrellas. Movimientos y evolución en el universo.....	168
Producción de energía en las estrellas	172
Medidas de distancias en astronomía	181
Galaxias. La escala del universo	191
Galaxias y cosmología. El desplazamiento hacia el rojo.....	204
Distancia y desplazamiento hacia el rojo. Ley de Hubble-Lemaître	206
Distribución de las galaxias. Agrupaciones.....	214
La radiación de fondo y sus irregularidades	221
Las abundancias de los elementos. La cuestión del helio.....	230
Las componentes oscuras del universo.....	233
El argumento de Zeldóvich sobre la materia oscura	242
La energía oscura y la aceleración de la expansión.....	243
V La cosmología relativista	249
Fundamentos y bases de la cosmología relativista.....	250
Formulación del modelo estándar. Friedman y Lemaître	251
El desplazamiento hacia el rojo. Comentarios sobre una fusión frecuente.....	256
Universo evolutivo: la historia del universo	261

Distancia y edad.....	262
Los parámetros cosmológicos	264
Etapas del universo evolutivo. La radiación domina	270
El universo actual: materia y constante cosmológica	279
El modelo estándar. La hipótesis de la inflación.....	284
Modelo y datos. Valores de los parámetros cosmológicos.....	289
Aproximación desde la astrofísica	290
Aproximación desde la Radiación Cósmica de Fondo.....	296
VI Acerca del modelo estándar	299
Algunas constataciones simples sobre el universo	301
Las vías astrofísica y cosmológica para estudiar el universo	306
Otras consideraciones: el valor de k y de Λ	314
Acerca de la homogeneidad (a gran escala) del universo	316
La paradoja de Hubble-Lemaître-De Vaucouleurs y la escala cosmológica	322
Una alternativa jerárquica. ¿Un universo fractal?	325
¿Alternativas? Otras visiones sobre cuestiones cosmológicas.....	330
A vueltas con el <i>redshift</i> y la naturaleza de la luz.....	337
Una gran teoría y algunos problemas.....	344
Notas por capítulos	353

Prólogo

Cuando entre 1599 y 1601 William Shakespeare escribió Hamlet, comienza un siglo que culminaría con una revolución científica que cambiaría para siempre nuestra concepción del cosmos. Una revolución iniciada en el siglo xvi, con personajes como Giordano Bruno, Nicolás Copérnico y Tycho Brahe, que culminará, ya en el siglo xvii, con Johannes Kepler, Galileo Galilei e Isaac Newton. La genialidad y la enorme intuición del dramaturgo de Stratford-upon-Avon le lleva a poner en boca de Hamlet, dirigiéndose a Horacio, su compañero de estudios en la Universidad de Wittenberg, la siguiente frase: «Hay más cosas en el cielo y en la tierra, Horacio, de las que han sido soñadas en tu filosofía».

Sin duda, cuando Shakespeare habla de «en el cielo y la tierra» se refiere a «todo lo que existe». Hoy podríamos hablar del universo. Ese es el objetivo que pretende conocer, a través de la filosofía natural, Horacio, el personaje que representa la racionalidad en Hamlet. Pero el príncipe de Dinamarca advierte a su amigo de que hay mucho más por descubrir y conocer de lo que hubiera soñado llegar a saber.

La cosmología pretende estudiar el universo en su totalidad, su origen, su evolución y su destino. La historia de esta

disciplina en los últimos cien años queda muy bien descrita por la frase de Hamlet: hay en el universo más cosas de las que habíamos soñado. Hoy, las personas que trabajan en cosmología hablan de materia oscura, de energía oscura, de neutrinos, de grandes estructuras cósmicas y de grandes vacíos, de una radiación cósmica que todo lo inunda, de ondas gravitacionales..., mucho más de lo que hubiéramos soñado.

En la descripción de nuestro universo necesitamos teorías y modelos que lo expliquen y observaciones cosmológicas que nos aporten la información necesaria para contrastar estas teorías. Y necesitamos de cierta perspectiva: observar el universo «a vista de pájaro», como acertadamente ha elegido titular Mariano Moles este libro.

Decía el biólogo Lluís Montoliu al recoger el Premio COSCE de difusión de la ciencia de 2022: «Mi consejo: primero investiga y acumula conocimiento, porque cuanto más conoces un tema más capaz eres de simplificarlo y ponerlo a disposición de la gente». Sin duda, esa ha sido la trayectoria de Mariano Moles, un investigador en astrofísica y cosmología con una trayectoria científica impresionante que no pretendo glosar en este prólogo, pero de la que sí diré que ha combinado sabiamente estudios teóricos de gran calado en diferentes áreas de física y cosmología con una intensa actividad en proyectos observacionales en astrofísica, incluidos los desarrollos tecnológicos asociados al Observatorio Astrofísico de Javalambre operado por el Centro de Estudios de Física del Cosmos de Aragón (CEFCA), del que Mariano fue su fundador y primer director. Al leer *El universo a vista de pájaro* quedan patentes los profundos conocimientos de astrofísica teórica y observacional del autor, enmarcados en un amplio

bagaje cultural, que abarca desde la propia historia de la cosmología –de la cual el propio autor ha sido protagonista– hasta sus repercusiones en filosofía y en otras áreas de conocimiento.

Déjenme poner solo un ejemplo. En 1991, el autor del libro que el lector tiene en sus manos publicó un artículo en la prestigiosa revista *The Astrophysical Journal*, cuyo título podríamos traducir como «Modelos cosmológicos físicamente admisibles con constante cosmológica distinta de cero». El artículo se adelantaba –en prácticamente una década– al rescate de la constante cosmológica introducida por Einstein en 1917.

Este rescate vino primero de la mano de los estudios de las supernovas más remotas que podemos observar en el universo y que llevaron a la comunidad que se dedica a la cosmología a hablar de expansión acelerada del universo y de energía oscura. En 1998 la revista *Science* consideró que este descubrimiento, llevado a cabo por dos equipos de investigación liderados por Saul Perlmutter, Adam Riess y Brian Schmidt, que más tarde recibirían el Premio Nobel, debía ser considerado el gran avance científico de ese año. En nuestro modelo cosmológico la componente dominante es la energía oscura, una versión de la cual es equivalente a la constante cosmológica. Representa en torno al 70 % de la densidad de materia y energía del universo, valor que ya aparece indicado, haciendo gala de una acertada intuición, en el artículo de Mariano Moles de 1991.

Una vez invité al periodista científico Javier Sampedro a participar como ponente en un curso de la Cátedra de Divulgación de la Ciencia de la Universitat de València que llevaba por título: «Escenarios y actores para la

comunicación científica». Le pregunté sobre los diferentes canales de la difusión de la ciencia y contestó:

La tele es hechicera; la radio, benévola; la web, inmediata: la dimensión que queda disponible para el libro científico es la profundidad, y esa es la que el escritor debe explotar a fondo. Pese a lo que suele pensarse, la metáfora es solo un recurso secundario en la divulgación. Lo esencial es explicar con transparencia el fondo de la cuestión. Y la única forma de hacerlo es entender con claridad el fondo de la cuestión. Escribir de ciencia para el público general es un trabajo duro: poco serio abstenerse.

Mariano Moles entiende con claridad la cosmología moderna y el modelo cosmológico estándar, así como las teorías físicas en las que se basa y las observaciones cosmológicas que lo sustentan, y eso le permite explicar con transparencia cuestiones complejas.

Cuentan que el editor del libro de Stephen Hawking *Breve historia del tiempo* le indicó que por cada fórmula que pusiera en su libro perdería la mitad de lectores. Al final Hawking dejó solo una fórmula, la famosa relación de Einstein $E=mc^2$. Ya hace más de cuarenta años que se publicó el libro de Hawking. Los tiempos han cambiado. Mariano Moles evita el uso de las fórmulas matemáticas en su libro, pero tampoco rehúye de ellas, y cuando, a su juicio, es más clarificador introducirlas, así lo hace. El texto se lee con fluidez. Muchos de los conceptos que introduce el autor no son fáciles de explicar, pero el autor consigue hacerlos comprensibles manteniendo siempre el rigor científico. En algunos casos aclara, con maestría, confusiones frecuentes y recurrentes en cosmología, como la interpretación del desplazamiento al rojo cosmológico como efecto Doppler o la propia ley de

Hubble-Lemaître. La visión del autor acerca de cómo hemos aprendido lo que sabemos del universo es extremadamente lúcida y original. Espero que disfruten de su lectura del mismo modo que he disfrutado yo.

Vicent J. Martínez

Universitat de València