

# Grandes Ideas de la Astronomía

*Una propuesta para la alfabetización en Astronomía*





# Grandes Ideas de la Astronomía

*Una propuesta para la alfabetización en Astronomía*

## ***Autores:***

João Retrê (Institute of Astrophysics and Space Sciences, Portugal), Pedro Russo (Leiden University, Países Bajos), Hyunju Lee (Smithsonian Science Education Center, EE.UU), Eduardo Penteado (Museu de Astronomia e Ciências Afins, Brasil), Saeed Salimpour (Deakin University, Australia), Michael Fitzgerald (Edith Cowan University, Australia), Jaya Ramchandani (The Story Of Foundation, TSO), Markus Pössel (Haus der Astronomie, Alemania), Cecilia Scorza (Ludwig Maximilians University of Munich & Haus der Astronomie, Alemania), Lars Lindberg Christensen (European Southern Observatory, ESO), Erik Arends (Leiden University, Países Bajos), Stephen Pompea (National Optical Astronomy Observatory, NOAO, EE. UU) and Wouter Schrier (Leiden University, Países Bajos)

***Diseño y Diagramación:*** Aneta Margraf-Druc (ScienceNow/Leiden University)

***Versión en español a cargo de:*** Gladis Magris, Carmen Rodríguez, Gerardo Sánchez (Centro de Investigaciones de Astronomía, CIDA, Venezuela).

***Paginación de la versión en español:*** Paola Pernia y Arisbel González.

[www.gnome360.com](http://www.gnome360.com)

***2da Edición, Junio 2020***



***ISBN/EAN: 978-94-91760-21-1***

***Licencia:*** Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

## ***Agradecimientos a:***

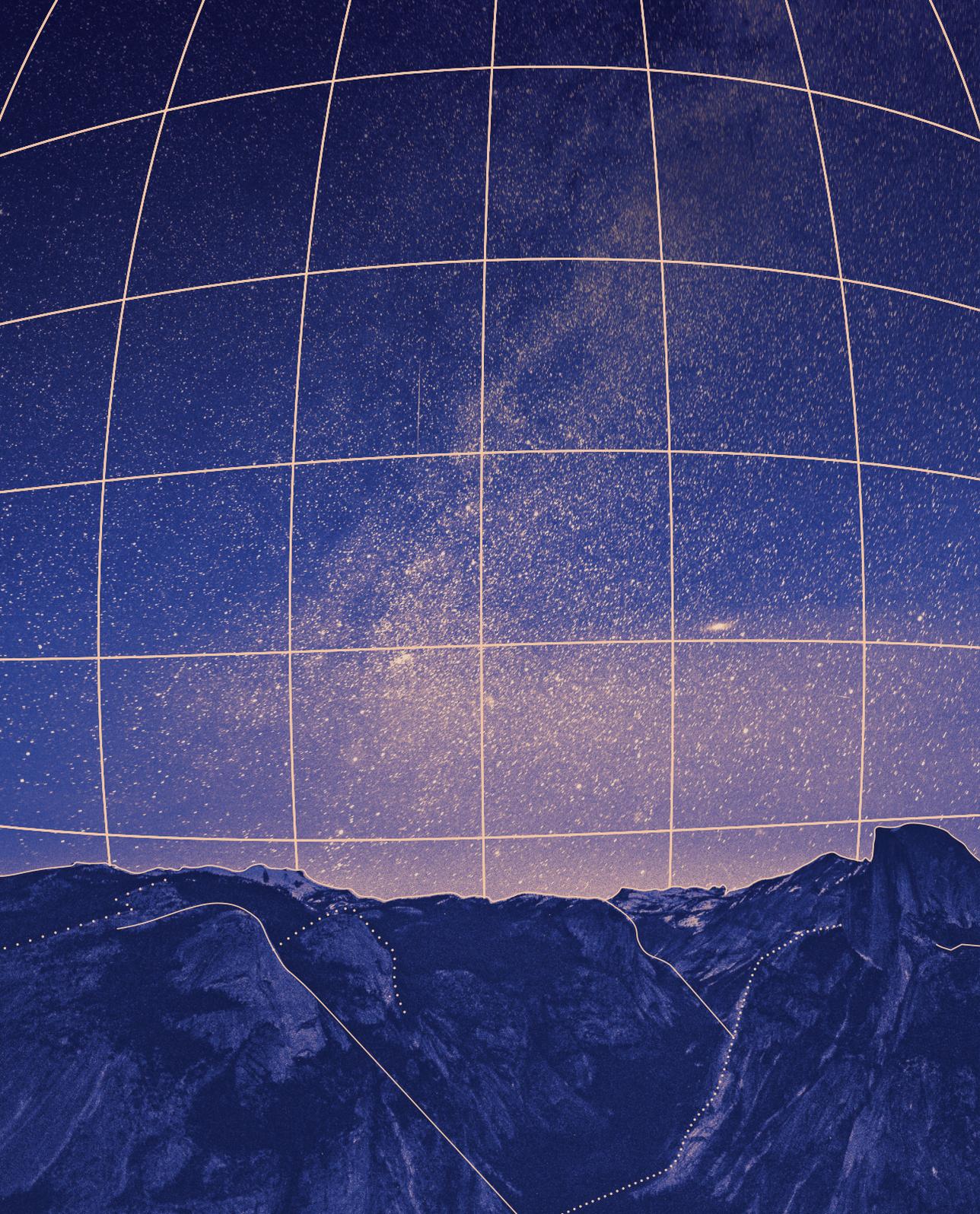
Ismael Tereno (Institute of Astrophysics and Space Sciences), Pedro Figueira (European Southern Observatory), Sérgio Pereira (Institute of Astrophysics and Space Sciences), Monica Bobra (Stanford University), Piero Bienvenuti (Università di Padova) y Roy Bishop (Acadia University) por sus comentarios a los objetivos de esta versión. João Retrê agradece el apoyo financiero de la Fundación Portuguesa para la Ciencia y la Tecnología a través de las subvenciones IA2017-09-BGCT y UID/FIS/04434/2013. Pedro Russo agradece el apoyo del proyecto "Alfabetización en Astronomía" de la Universidad para Estudios Avanzados del Observatorio Nacional de Japón, SOKENDAI, coordinado por el Prof. Dr. Hidehiko Agata. NOAO es operado por la Association of Universities for Research in Astronomy (AURA), Inc. bajo un acuerdo de cooperación con la National Science Foundation de EE. UU. También queremos agradecer a la comunidad por sus comentarios sobre este documento durante el proceso de revisión.

Astronomy Literacy Goals es un proyecto del Leiden Observatory, Leiden University (Países Bajos) y del Institute of Astrophysics and Space Sciences (Portugal) en el marco de la Comisión C1 de la Unión Astronómica Internacional (UAI): Grupo de Trabajo sobre Alfabetización y Desarrollo Curricular.

***Comisión C1 de la UAI, Educación y Desarrollo en Astronomía, Presidente:*** Paulo Bretones

***Grupo de Trabajo C1 de la UAI sobre Alfabetización en Astronomía y Desarrollo Curricular, Presidente:*** Robert Hollow





# Tabla de Contenido

06	<b>Grandes Ideas</b>
08	<b>Introducción</b>
10	<b>Una breve introducción a algunas Grandes Ideas de la Astronomía</b> <i>por Pedro Russo</i>
12	<b>Visión General de las Grandes Ideas</b>
18	<b>La astronomía es una de las ciencias más antiguas de la historia de la humanidad</b>
22	<b>Experimentamos fenómenos astronómicos en nuestra vida cotidiana</b>
26	<b>El cielo nocturno es rico y dinámico</b>
30	<b>La astronomía es la ciencia que estudia los objetos celestes y los fenómenos en el Universo</b>
34	<b>La astronomía estimula el desarrollo tecnológico y se beneficia de él</b>
38	<b>La cosmología es la ciencia que explora el Universo como un todo</b>
44	<b>Todos vivimos en un pequeño planeta dentro del Sistema Solar</b>
50	<b>Estamos hechos de polvo de estrellas</b>
56	<b>Hay cientos de miles de millones de galaxias en el Universo</b>
62	<b>Puede que no estemos solos en el Universo</b>
66	<b>Debemos preservar la Tierra, nuestro único hogar en el Universo</b>

# Grandes Ideas

1

*La astronomía es una de las ciencias más antiguas de la historia de la humanidad*

2

*Experimentamos fenómenos astronómicos en nuestra vida cotidiana*

3

*El cielo nocturno es rico y dinámico*

4

*La astronomía es la ciencia que estudia los objetos celestes y los fenómenos en el Universo*

5

*La astronomía estimula el desarrollo tecnológico y se beneficia de él*

6

*La cosmología es la ciencia que  
explora el Universo como un todo*

7

*Todos vivimos en un pequeño  
planeta dentro del Sistema Solar*

8

*Estamos hechos de  
polvo de estrellas*

9

*Hay cientos de miles de millones  
de galaxias en el Universo*

10

*Puede que no estemos  
solos en el Universo*

11

*Debemos preservar la Tierra,  
nuestro único hogar en el  
Universo*

# Introducción

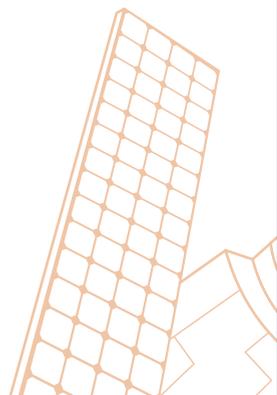
## *Astronomía para Todos.*

Este es el lema de la Oficina para la Divulgación de la Astronomía de la Unión Astronómica Internacional (UAI). Si “Todos” es un término muy vasto para definir a la sociedad y sus comunidades, “Astronomía”, como un cuerpo de conocimiento, también es igualmente vasto. Este proyecto, “Grandes Ideas de la Astronomía”, explora el tema: “¿Qué deberían saber los ciudadanos del planeta Tierra sobre astronomía?”

Como resultado de varias discusiones, reuniones, talleres, presentaciones, teleconferencias e interacciones de texto, en este documento proponemos un conjunto de Grandes Ideas de la Astronomía, una propuesta para la alfabetización en Astronomía. Este documento establece las “Grandes Ideas” y los conceptos de apoyo que todos los ciudadanos de nuestro planeta deberían conocer sobre la astronomía.

Grandes Ideas de la Astronomía se basa en el pionero “Proyecto 2061” de la Asociación Estadounidense para el Avance de la Ciencia (American Association for the Advancement of Science, AAAS). El Proyecto 2061 comenzó en 1986, el año en que el cometa Halley pasó cerca de la Tierra. La AAAS estaba interesada por saber cuáles factores influyen en la conexión de los niños con el mundo natural, esos niños empezando la escuela en 1986, que podrán asistir al regreso del cometa. ¿Qué otros cambios científicos y tecnológicos verán en su vida? ¿Cómo puede la educación prepararlos para entender cómo funciona el mundo; para pensar de forma crítica e independiente; y para llevar vidas interesantes, responsables y productivas, en una cultura cada vez más moldeada por la ciencia y la tecnología? Grandes Ideas de la Astronomía también amplía el trabajo desarrollado por otras disciplinas y proyectos científicos, a saber: Alfabetización en Ciencias del Clima, Principios de Alfabetización en Ciencias de la Tierra, Alfabetización en Océanos y Grandes Ideas de la Ciencia.

Grandes Ideas de la Astronomía presenta once Grandes Ideas y las amplía a través de subideas e información adicional. Este documento está diseñado pensando en los educadores y astrónomos, es un documento de orientación para decidir cuáles temas deben abordar en su enseñanza, sesiones de capacitación, actividades de divulgación o desarrollo de recursos. Sin embargo, es necesario que sea un documento dinámico, y acogemos con agrado los comentarios y observaciones de la comunidad astronómica, la comunidad de educación astronómica y la comunidad de educación científica.

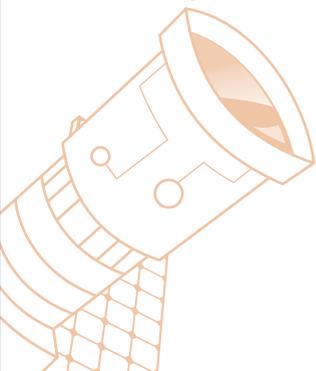


# Siguientes pasos

Nuestro siguiente paso es el desarrollo ulterior de este documento, mediante la realización de un proyecto de investigación que lo valide sistemáticamente como una representación de lo que los expertos consideran debe ser la alfabetización en astronomía. Siguiendo esta línea, trabajaremos en:

- × *Desarrollo curricular alineado con estas Grandes Ideas*
- × *Desarrollo de herramientas de evaluación para las Grandes Ideas*
- × *Guías de materiales educativos*
- × *Materiales para el desarrollo profesional de los maestros*
- × *Informes de política*

El plan estratégico 2020-2030 de la UAI sitúa la enseñanza de la astronomía en el centro del esfuerzo astronómico global. La UAI ha fijado como objetivo el uso de la astronomía para la enseñanza y la educación a nivel escolar. Nosotros esperamos que este documento contribuya con este objetivo y proporcione el primer análisis y un marco de referencia para las metas de la alfabetización en astronomía para la educación.



# Una breve introducción a algunas Grandes Ideas de la Astronomía<sup>1</sup>

*por Pedro Russo*

La astronomía es la ciencia que estudia el origen y la evolución del Universo y todo lo que hay en él. Esta definición parece simple, pero el Universo es un lugar extenso, lleno de fascinantes objetos celestes de todos los tamaños, formas y edades y con fenómenos sorprendentes.

*1. Publicado originalmente en la revista Portuguesa Visão, 3 de Enero 2012.*

Como parte de la historia cultural y científica de la humanidad, la astronomía ha revolucionado repetidamente la forma en que pensamos, la forma en que vemos nuestro mundo y nuestro lugar en el amplio Universo. En el pasado, los avances en astronomía se han utilizado para aplicaciones prácticas como la medición del tiempo o la navegación por los vastos océanos. Hoy en día, los resultados del desarrollo científico y tecnológico de la astronomía y áreas relacionadas se han vuelto esenciales para muchas partes de nuestra vida cotidiana: computadoras, satélites de comunicación, sistemas de navegación, paneles solares, internet inalámbrico y muchas otras aplicaciones tecnológicas.

Como cualquier ciencia, la astronomía avanza como resultado de la acumulación de conocimientos. A veces, el progreso constante es acelerado por repentinos avances en la tecnología y el pensamiento, como la revolucionaria idea de la visión heliocéntrica del Sistema Solar y el modelo del Big Bang. El modelo del Big Bang cuenta la historia de la evolución del Universo. Hace unos 14.000 millones de años, el recién nacido "Universo" era infinitamente pequeño y caliente. Una repentina y continua expansión y un posterior enfriamiento llevaron a la formación de los bloques fundamentales de partículas atómicas y subatómicas, las cuales permitieron la formación de galaxias, estrellas, planetas y eventualmente la vida. Los astrónomos creen, basándose en los datos disponibles hasta ahora, que la expansión del Universo está impulsada principalmente por una misteriosa forma de energía llamada Energía Oscura.

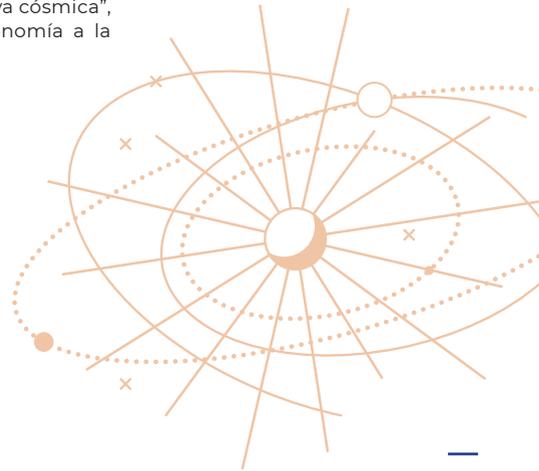
Si miramos al cielo en una noche oscura, vemos una banda de luz atravesando el cielo de horizonte a horizonte. Esta banda y todas las estrellas que vemos en el cielo son parte de la galaxia en la que vivimos, la Vía Láctea. Las galaxias a menudo se forman en filamentos y cúmulos: grupos de islas rodeadas por extensos mares vacíos del Universo. Nuestra

galaxia contiene cientos de miles de millones de estrellas, de las cuales el Sol es solo una, tan anónima como un grano de arena en una playa. Estas estrellas orbitan armoniosamente, siguiendo las leyes naturales de la gravedad, alrededor del centro de la galaxia donde hay un monstruoso agujero negro. Este “océano” que es el Universo contiene muchas otras islas; la nuestra es solo una entre los cientos de miles de millones de galaxias que lo pueblan.

Aunque es un tipo de estrella relativamente promedio, el Sol disfrutaba, hasta hace poco, de un estatus especial para nosotros los humanos: era la única estrella que sabíamos que estaba rodeada de planetas. Hoy conocemos miles de estrellas con planetas, llamados exoplanetas. Se estima que más del 20% de las estrellas que se asemejan a nuestro Sol están orbitadas por planetas – algunos similares a la Tierra. Muchos de estos planetas son pequeños y orbitan a una distancia suficientemente grande y no demasiado lejos de la estrella madre como para permitir la existencia de agua líquida y, por ende, quizás vida.

Pero, ¿de qué está hecho el Universo? Las cosas que podemos ver – planetas, estrellas y galaxias – están hechas de materia como protones, electrones, neutrones y quarks (todo lo que los científicos llaman “materia bariónica”), pero hay algo más, algo extendido, extraño y misterioso, y nadie sabe lo qué es. Se esperaría que las estrellas orbiten el centro de las galaxias, de manera similar a como los planetas orbitan alrededor del Sol en nuestro Sistema Solar. Los planetas más cercanos al Sol se mueven más rápido que los planetas más lejanos. Pero esto no ocurre: las estrellas en las galaxias orbitan todas más o menos con la misma velocidad alrededor del centro de la galaxia. Debe haber algo que no podemos ver y que mantiene a las estrellas orbitando de esta manera. Los astrónomos lo llaman “Materia Oscura”. Se estima que lo que somos capaces de ver es solo una pequeña porción de todo lo que existe en el Universo. ¡Todo lo demás no se comprende bien y aun no ha sido observado directamente!

La astronomía no solo se trata de avances científicos o aplicaciones tecnológicas: nos brinda la oportunidad de ampliar nuestros limitados horizontes, descubrir la belleza y la grandeza del Universo y nuestro lugar en él. Esta visión, comunmente conocida como “la perspectiva cósmica”, es una de las contribuciones más importantes de la Astronomía a la Humanidad.



# Visión General de las Grandes Ideas



## 1

*La astronomía es una de las ciencias más antiguas de la historia de la humanidad*

- 1.1 Comprender el cielo y los movimientos del Sol y los planetas fue uno de los primeros intentos por entender el mundo natural
- 1.2 Las culturas antiguas imaginaron patrones que conectaban las estrellas en el cielo nocturno
- 1.3 La astronomía ha sido fuente de inspiración y está representada en el arte y la cultura de muchas civilizaciones
- 1.4 La astronomía proporcionó importantes conocimientos para medir el tiempo, esenciales para la agricultura en la antigüedad
- 1.5 La astronomía fue importante para los navegantes en el pasado
- 1.6 La astronomía, al utilizar el método científico, es diferente de la astrología
- 1.7 La mayoría de las culturas antiguas creían que la Tierra era el centro del Universo
- 1.8 La revolución copernicana, con más de un siglo de duración, condujo a que el Sol reemplazara a la Tierra como el centro aceptado del Sistema Solar
- 1.9 Hace más de 400 años, los astrónomos emprendieron las primeras observaciones metódicas de la astronomía usando un telescopio
- 1.10 El planeta Tierra tiene una forma aproximadamente esférica y ha sido representado durante siglos de muchas formas diferentes

## 2

### *Experimentamos fenómenos astronómicos en nuestra vida cotidiana*



- 2.1 Experimentamos el día y la noche debido a la rotación de la Tierra alrededor de su eje
- 2.2 Experimentamos las estaciones debido a la inclinación del eje de rotación de la Tierra conforme se mueve alrededor del Sol en un año
- 2.3 Vemos diferentes fases de la Luna a lo largo de un ciclo lunar
- 2.4 Los eclipses ocurren debido a alineaciones especiales del Sol, la Tierra y la Luna
- 2.5 Las mareas en la Tierra son el resultado de la gravedad del Sol y la Luna
- 2.6 La luz del Sol es esencial para la mayoría de las formas de vida en la Tierra
- 2.7 Las partículas del Sol viajan a la Tierra y causan las auroras
- 2.8 La tecnología desarrollada para la investigación astronómica es parte de nuestra vida cotidiana

## 3

### *El cielo nocturno es rico y dinámico*



- 3.1 Podemos ver varios miles de estrellas con nuestros ojos en una noche despejada y oscura
- 3.2 El cielo nocturno puede ayudar a orientarnos en la Tierra y a navegar
- 3.3 El eje de rotación de la Tierra se bambolea (precesa) en miles de años
- 3.4 Solo unos pocos cuerpos celestes son lo suficientemente brillantes como para ser vistos a simple vista cuando el Sol está sobre el horizonte
- 3.5 Los objetos celestes salen por el Este y se ocultan por el Oeste debido a la rotación de la Tierra
- 3.6 Las estrellas titilan debido a nuestra atmósfera
- 3.7 Millones de meteoroides entran en la atmósfera de la Tierra diariamente

## 4

### *La astronomía es la ciencia que estudia los objetos celestes y los fenómenos en el Universo*

- 4.1 La luz (también conocida como radiación electromagnética) es la principal fuente de información para la investigación astronómica
- 4.2 A gran escala, la gravitación es la interacción dominante en el Universo
- 4.3 Las ondas gravitacionales y las partículas subatómicas proporcionan nuevas formas de estudiar el Universo
- 4.4 La astronomía utiliza los datos obtenidos de las observaciones y simulaciones para modelar los fenómenos astronómicos en el marco de las teorías actuales
- 4.5 La investigación astronómica combina conocimientos de diferentes campos, como la física, las matemáticas, la química, la geología y la biología
- 4.6 La astronomía se divide en varias especialidades
- 4.7 Las escalas de tiempo y distancia en astronomía son mucho más grandes que las que usamos en nuestra vida diaria
- 4.8 La espectroscopia es una técnica importante que nos permite explorar el Universo a distancia

## 5

### *La astronomía estimula el desarrollo tecnológico y se beneficia de él*

- 5.1 Los telescopios y detectores son cruciales para el estudio de la Astronomía
- 5.2 Algunos telescopios pueden ser enlazados para actuar como un gran telescopio
- 5.3 Los observatorios astronómicos están situados en la Tierra y en el espacio
- 5.4 Los observatorios astronómicos terrestres a menudo se encuentran en regiones remotas de todo el mundo
- 5.5 La astronomía hoy en día es parte de la "Big Science" y los "Big Data"
- 5.6 Las simulaciones más complejas y los enormes datos en astronomía requieren el desarrollo de poderosas supercomputadoras
- 5.7 La astronomía es una ciencia global, con grupos de trabajo internacionales, y donde los datos y publicaciones se comparten libremente
- 5.8 Numerosas naves espaciales han sido lanzadas al espacio para estudiar el Sistema Solar

# 6

## *La cosmología es la ciencia que explora el Universo como un todo*

- 6.1 El Universo tiene más de 13.000 millones de años
- 6.2 El Universo es homogéneo e isótropo a gran escala
- 6.3 Nosotros siempre observamos el pasado
- 6.4 Solo podemos observar directamente una fracción de todo el Universo
- 6.5 El Universo está compuesto principalmente de energía oscura y materia oscura
- 6.6 El Universo se expande a un ritmo acelerado
- 6.7 La expansión del espacio hace que la luz de las galaxias distantes se desplace al rojo
- 6.8 Las leyes naturales (por ejemplo, la gravedad) que estudiamos en la Tierra parecen funcionar de la misma manera en todo el Universo
- 6.9 La estructura a gran escala del Universo está compuesta de filamentos, láminas y vacíos
- 6.10 El Fondo Cósmico de Microondas nos permite explorar el Universo temprano
- 6.11 La evolución del Universo puede ser explicada mediante el modelo del Big Bang

# 7

## *Todos vivimos en un pequeño planeta dentro del Sistema Solar*

- 7.1 El Sistema Solar se formó hace unos 4.600 millones de años
- 7.2 El Sistema Solar está compuesto por el Sol, planetas, planetas enanos, lunas, cometas, asteroides y meteoroides
- 7.3 Hay ocho planetas en el Sistema Solar
- 7.4 Hay varios planetas enanos en el Sistema Solar
- 7.5 Los planetas se dividen en planetas terrestres (rocosos) y gigantes gaseosos
- 7.6 Algunos planetas tienen docenas de satélites naturales
- 7.7 La Tierra es el tercer planeta que orbita alrededor del Sol, y tiene un satélite natural, la Luna
- 7.8 Hay millones de asteroides, lo cuales son restos de la formación temprana de nuestro Sistema Solar
- 7.9 Un cometa es un objeto helado que adquiere una cola cuando es calentado por el Sol
- 7.10 La frontera del Sistema Solar se llama la Heliopausa





## *Estamos hechos de polvo de estrellas*

- 8.1 Una estrella es un cuerpo con luz propia que genera su energía mediante reacciones nucleares internas
- 8.2 Las estrellas se forman a partir de nubes masivas de polvo y gas
- 8.3 La estrella más cercana a la Tierra es el Sol
- 8.4 El Sol es una estrella dinámica
- 8.5 El color de una estrella nos dice la temperatura de su superficie
- 8.6 El espacio entre las estrellas puede estar esencialmente vacío o puede contener nubes de gas, las cuales pueden producir nuevas estrellas
- 8.7 Una estrella atraviesa un ciclo de vida que está determinado en gran medida por su masa inicial
- 8.8 Las estrellas masivas pueden terminar su ciclo de vida como agujeros negros estelares
- 8.9 Las nuevas estrellas y sus sistemas planetarios nacen del material dejado por estrellas anteriores en la misma región
- 8.10 El cuerpo humano está formado de átomos que pueden ser rastreados hasta estrellas anteriores



## *Hay cientos de miles de millones de galaxias en el Universo*

- 9.1 Una galaxia es un gran sistema de estrellas, polvo y gas
- 9.2 Las galaxias parecen contener grandes cantidades de Materia Oscura
- 9.3 La formación de las galaxias es un proceso evolutivo
- 9.4 Hay tres tipos principales de galaxias: espirales, elípticas e irregulares
- 9.5 Vivimos en una galaxia espiral llamada la Vía Láctea
- 9.6 Los brazos espirales de las galaxias están formados por acumulaciones de gas y polvo
- 9.7 La mayoría de las galaxias tienen un agujero negro supermasivo en su centro
- 9.8 Las galaxias pueden estar extremadamente distantes unas de otras
- 9.9 Las galaxias forman cúmulos
- 9.10 Las galaxias interactúan entre sí a través de la gravedad

# 10

## *Puede que no estemos solos en el Universo*

- 10.1 Se han detectado moléculas orgánicas fuera de la Tierra
- 10.2 Se ha descubierto que los organismos vivos sobreviven en ambientes extremos en la Tierra
- 10.3 Indicios de trazas de agua líquida abren la posibilidad de vida primitiva en Marte
- 10.4 Algunos satélites naturales en el Sistema Solar parecen tener las condiciones para que exista vida
- 10.5 Hay numerosos planetas llamados exoplanetas, que orbitan alrededor de estrellas distintas al Sol
- 10.6 Los exoplanetas pueden ser muy diversos y a menudo se encuentran en sistemas
- 10.7 Estamos cerca de la detección de un planeta similar a la Tierra
- 10.8 Los científicos están buscando inteligencia extraterrestre

# 11

## *Debemos preservar la Tierra, nuestro único hogar en el Universo*

- 11.1 La contaminación lumínica afecta a los seres humanos, a muchos otros animales y a las plantas
- 11.2 Hay muchos desechos creados por el hombre que orbitan la Tierra
- 11.3 Monitoreamos objetos espaciales potencialmente peligrosos
- 11.4 Los seres humanos tienen un impacto significativo en el medio ambiente de la Tierra
- 11.5 El clima y la atmósfera están fuertemente afectados por la actividad humana
- 11.6 Es necesaria una perspectiva global para preservar nuestro planeta
- 11.7 La astronomía proporciona una perspectiva cosmológica única que refuerza nuestra unidad como ciudadanos de la Tierra

1

*La astronomía es una de las ciencias más antiguas de la historia de la humanidad*



---

*Pinturas rupestres prehistóricas de Lascaux que muestran un grupo de puntos sobre la parte posterior de un uro, que se asemeja al asterismo de las Pléyades.*

*Créditos: Ministerio de Cultura/Centro Nacional de la Prehistoria/Nobert Aujoulat*



## 1.1

### **Comprender el cielo y los movimientos del Sol y los planetas fue uno de los primeros intentos por entender el mundo natural**

Los primeros registros de observaciones astronómicas provienen de dibujos y artefactos creados por los pueblos prehistóricos, que documentan lo que veían en el cielo. En las culturas antiguas, la astronomía estaba relacionada con creencias religiosas y mitológicas. Los fenómenos astronómicos se usaban para medir el tiempo y crear calendarios, lo que permitió a estas culturas planificar eventos diarios y estacionales.

## 1.2

### **Las culturas antiguas imaginaron patrones que conectaban las estrellas en el cielo nocturno**

Los patrones en el cielo nocturno formados por la conexión de estrellas usando líneas imaginarias se llaman constelaciones. Las primeras constelaciones fueron definidas por culturas antiguas. Estos grupos reconocibles de estrellas a menudo estaban conectados a historias culturales y mitológicas de culturas como la Griega, la Maya, la Nativa Americana y la China. En la astronomía moderna, las constelaciones son regiones bien definidas del cielo, que combinan tanto las constelaciones antiguas como las definidas en los siglos XV, XVI, XVII y XVIII. Algunas culturas, como los Indígenas Australianos y los pueblos indígenas de Sudamérica, también identificaron patrones usando las siluetas oscuras de la banda luminosa de la Vía Láctea.

## 1.3

### **La astronomía ha sido fuente de inspiración y está representada en el arte y la cultura de muchas civilizaciones**

A lo largo de los siglos, artistas, poetas, escritores y muchos pensadores creativos, han utilizado el cielo nocturno como inspiración y/o como tema en sus obras. Los temas astronómicos se encuentran representados en pinturas, esculturas, música, películas y literatura. Estas obras han utilizado los patrones observables en la noche para comunicar, directa o indirectamente, la esencia, la belleza y el misterio del cielo nocturno. La universalidad del arte y su íntima conexión con la cultura, pueden ser así un poderoso medio para hacer que las personas aprecien no solo la belleza innata de los objetos y fenómenos celestes, sino además el conocimiento que hemos adquirido sobre ellos. Esto aumenta el interés mundial por la astronomía y promueve una comprensión intercultural que abarca la noción de estar bajo un solo cielo.

## 1.4

### **La astronomía proporcionó importantes conocimientos para medir el tiempo, esenciales para la agricultura en la antigüedad.**

En muchas culturas antiguas, la astronomía se desarrolló para aumentar la precisión de los calendarios agrícolas. Por ejemplo, los egipcios desarrollaron un calendario basado en sus observaciones de la estrella Sirio, utilizándolo para determinar la inundación anual del río Nilo.

## 1.5

### **La astronomía fue importante para los navegantes en el pasado**

Muchas civilizaciones utilizaron la posición de las estrellas y otros objetos celestes para navegar por la tierra, los mares y los océanos. La navegación astronómica se sigue enseñando hoy en día.

## 1.6

### **La astronomía, al utilizar el método científico, es diferente de la astrología**

Hasta la época pre-moderna, la distinción entre astronomía y astrología era vaga. Hoy día la astronomía y la astrología se distinguen claramente una de la otra. La astronomía es una ciencia y la astrología no. La astrología utiliza las posiciones de los objetos celestes para predecir eventos futuros. Sin embargo, numerosos estudios sobre la astrología y sus predicciones muestran que la astrología no es precisa en sus predicciones y no tiene ningún fundamento científico.

## 1.7

### **La mayoría de las culturas antiguas creían que la Tierra era el centro del Universo**

La mayoría de las culturas ancestrales, con notables excepciones de algunos astrónomos griegos activos alrededor del 300 A.C., creían que la Tierra era el centro del Universo. Esta visión geocéntrica duró más de dos milenios en las culturas europeas y asiáticas, hasta la llamada Revolución Copernicana en el siglo XVI. Los astrónomos modernos han descubierto que el Universo parece no tener un centro específico en el espacio.

## 1.8

### **La revolución copernicana, con más de un siglo de duración, condujo a que el Sol reemplazara a la Tierra como el centro aceptado del Sistema Solar**

En el siglo XVI, Copérnico propuso argumentos para la teoría heliocéntrica en la cual el Sol era el centro del Universo y la Tierra se movía a su alrededor. Aunque ahora sabemos que el Sol no es el centro del Universo, sabemos que es el centro del Sistema Solar y la teoría del heliocentrismo copernicano fue revolucionaria en aquel momento, contribuyendo al desarrollo de la astronomía moderna.

## 1.9

### **Hace más de 400 años, los astrónomos emprendieron las primeras observaciones metódicas de la astronomía usando un telescopio**

Aunque no inventó el telescopio, Galileo fue el primero en utilizarlo con fines científicos. Sus mejoras en el telescopio refractor lo llevaron a descubrimientos como las fases de Venus y las cuatro lunas más grandes de Júpiter, que aún se conocen como lunas galileanas. Sus descubrimientos proporcionaron evidencias convincentes en apoyo a la visión heliocéntrica del Universo.

## 1.10

### **El planeta Tierra tiene una forma aproximadamente esférica, y ha sido representado durante siglos de muchas formas diferentes**

Como parte de su descripción del Universo, algunas culturas antiguas, en diversas partes del mundo, han descrito la Tierra como un plano o como un disco. Sin embargo, la idea que la Tierra es una esfera ha existido durante varios milenios y ha sido una parte significativa de la visión del mundo de muchas culturas, convirtiéndose en el paradigma dominante hace más de 1.000 años. Hay numerosas formas empíricas de probar que la Tierra tiene una forma aproximadamente esférica (técnicamente conocida como esferoide achatado). Uno de los primeros métodos matemáticos fue el de Eratóstenes, quien midió la circunferencia de la Tierra analizando las longitudes de las sombras proyectadas por estacas en diferentes lugares del antiguo Egipto (siglo III a.C.).

2

*Experimentamos fenómenos  
astronómicos en nuestra vida  
cotidiana*

---

*El imponente espectáculo  
de luces en el cielo nocturno:  
La Aurora Boreal, en la  
tierra virgen de Alaska.*

*Créditos: Jean Beaufort  
(Imagen de dominio público)*



## 2.1

### Experimentamos el día y la noche debido a la rotación de la Tierra alrededor de su eje

El lado de la Tierra que está de cara al Sol experimenta el día, mientras que el lado opuesto experimenta la noche. El tiempo que tarda la Tierra en girar alrededor de su eje, de manera que el Sol vuelva a la misma posición en el cielo, define la duración del día (solar), que en promedio es de 24 horas.

## 2.2

### Experimentamos las estaciones debido a la inclinación del eje de rotación de la Tierra conforme se mueve alrededor del Sol en un año

El eje de rotación de la Tierra está inclinado  $23,4^\circ$  con respecto a la línea perpendicular a su plano orbital alrededor del Sol. Por esta razón, durante parte de la órbita de la Tierra alrededor del Sol, el hemisferio Norte o Sur está inclinado hacia el Sol mientras que el otro está inclinado en sentido contrario. El primero experimenta el verano, ya que la luz solar incide más directamente sobre su superficie y los días son más largos porque el Sol alcanza una mayor altitud en el cielo. Por otro lado, el hemisferio inclinado lejos del Sol experimenta el invierno porque la luz solar cae en un ángulo muy inclinado hacia la superficie de la Tierra, causando que se extienda sobre un área mayor. Los días se acortan porque el Sol está a menor altitud en el cielo. En la franja ecuatorial este fenómeno es casi imperceptible, ya que la luz solar incide casi de la misma forma durante todo el año.

## 2.3

### Vemos diferentes fases de la Luna a lo largo de un ciclo lunar

A medida que la Luna orbita alrededor de la Tierra, su posición relativa con respecto al Sol y la Tierra cambia. La región de la superficie de la Luna que está iluminada por la luz solar cambia, produciendo las diferentes fases que vemos desde la Tierra - Luna nueva, cuarto creciente, Luna llena y cuarto menguante, tomando 29,53 días ir de la Luna llena a la Luna llena. Mientras que las fases de la Luna son (más o menos) las mismas para cualquier observador en la Tierra, la orientación de la Luna variará, dependiendo del hemisferio del observador. Por ejemplo, algunos observadores podrían ver la media luna abierta a la izquierda mientras que otros, observando la misma fase, pero desde un lugar diferente, podrían ver la media luna abierta a la derecha.

## 2.4

### Los eclipses ocurren debido a alineaciones especiales del Sol, la Tierra y la Luna

Ocasionalmente, cuando la Luna pasa exactamente entre el Sol y la Tierra, la Luna bloquea la luz del Sol y proyecta una sombra sobre la Tierra, creando un eclipse solar. Ocasionalmente, la Tierra puede estar directamente entre el Sol y la Luna. En ese caso, la Tierra proyecta una sombra sobre la Luna, oscureciendo su superficie y creando un eclipse lunar. Un eclipse puede ser parcial, cuando solo se eclipsa una fracción del objeto, o total, cuando todo el objeto es eclipsado. Un eclipse lunar solo ocurre en Luna llena y, por consiguiente, solo puede observarse de noche. En cualquier lugar de la Tierra, es más probable que veas un eclipse lunar que un eclipse solar. Además, los eclipses lunares duran más tiempo que los eclipses solares.

## 2.5

### Las mareas en la Tierra son el resultado de la gravedad del Sol y la Luna

La Luna y, en menor grado, el Sol causan mareas en la Tierra. Sobre la Tierra, especialmente en sus océanos, ocurren leves abultamientos tanto en el lado más cercano a la Luna y más cercano al Sol, como en el más lejano a ellos. A medida que la Tierra gira, estos abultamientos alcanzan las costas, causando que el nivel del agua aumente. Cuando el Sol, la Tierra y la Luna están casi en línea recta (en Luna llena y en Luna nueva), experimentamos las “mareas vivas o sizigias”, las más altas. Por el contrario, cuando el Sol y la Luna están en ángulo recto entre sí con respecto a la Tierra (en la Luna de cuarto creciente y cuarto menguante) experimentamos las “mareas muertas o de cuadratura”, las más bajas.

## 2.6

### La luz del Sol es esencial para la mayoría de las formas de vida en la Tierra

El Sol es la principal fuente de energía utilizada por las formas de vida en la Tierra. Por ejemplo, las plantas realizan la fotosíntesis utilizando la luz solar, lo que permite su crecimiento y posteriormente, la producción de oxígeno molecular. Ese oxígeno es utilizado por los animales para respirar. Se cree que la devastación del medio ambiente mundial cuando un asteroide chocó con la Tierra fue la causa de la extinción de los dinosaurios no voladores y de la mayoría de las especies de la Tierra. La explosión resultante transportó grandes cantidades de polvo a la atmósfera, bloqueando la luz del Sol y provocando un invierno de gran impacto. La luz del Sol también afecta a nuestra salud física y mental. Cuando se expone a la luz solar, nuestra piel produce vitamina D, que juega un papel importante en los procesos bioquímicos de nuestro cuerpo. Algunos estudios muestran una relación entre la depresión humana y la falta de exposición a la luz solar.

## 2.7

### Las partículas del Sol viajan a la Tierra y causan las auroras

Durante una erupción solar, las partículas cargadas (principalmente electrones y protones) provenientes del Sol viajan 150 millones de kilómetros hacia la Tierra. Se aferran al campo magnético de la Tierra, fluyen hacia los polos magnéticos e interactúan con las partículas de la atmósfera. La más rápida de estas partículas puede viajar desde el Sol a la Tierra en aproximadamente media hora; las más lentas tardan unos cinco días. Ocasionalmente, estas tormentas de partículas perturban el campo magnético de la Tierra, dañando los satélites y las redes eléctricas. A menudo, las partículas del Sol interactúan con el oxígeno y el nitrógeno de la atmósfera terrestre. Esta interacción da lugar a las auroras: maravillosos espectáculos de luz que iluminan el cielo nocturno alrededor de los polos magnéticos de los hemisferios Norte (aurora boreal) y Sur (aurora austral).

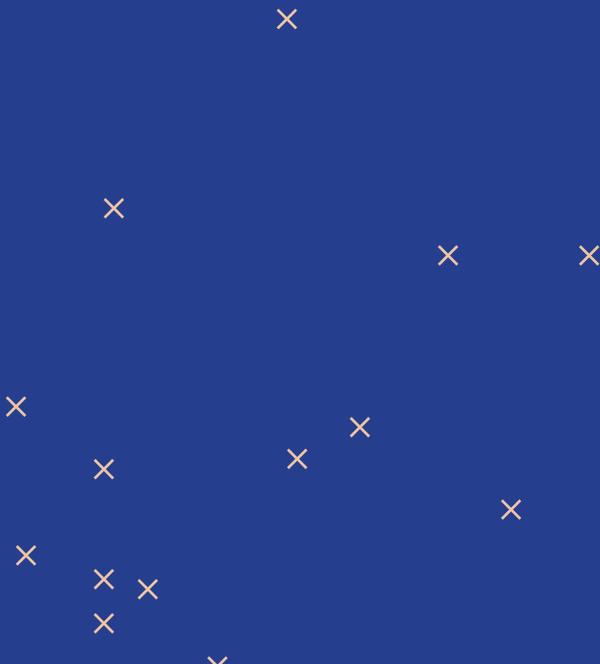
## 2.8

### La tecnología desarrollada para la investigación astronómica es parte de nuestra vida cotidiana

Las herramientas y métodos de análisis utilizados para estudiar los datos astronómicos se han aplicado a la industria, las ciencias médicas y la tecnología que utilizamos a diario. Los detectores desarrollados originalmente para la investigación astronómica también se utilizan en cámaras digitales, como las de nuestros teléfonos móviles. El vidrio especial desarrollado para los telescopios astronómicos se utiliza en la fabricación de pantallas de cristal líquido (LCD) y chips de computadoras, así como en las cocinas de cerámica. La transferencia de conocimientos entre la astronomía y la medicina ha contribuido al desarrollo de las imágenes por resonancia magnética (IRM) y la tomografía computarizada (TAC), entre otros dispositivos.

3

*El cielo nocturno  
es rico y dinámico*



*Trazas de estrellas que resultan del movimiento de rotación de la Tierra en una foto de larga exposición tomada en la meseta de Chajnantor, en los Andes Chilenos.*

*Créditos: S. Otárola/ESO*



## 3.1

### Podemos ver varios miles de estrellas con nuestros ojos en una noche despejada y oscura

Cuando miramos al cielo nocturno, lejos de la contaminación lumínica de las ciudades y durante la Luna nueva o cuando la Luna no está en el cielo, podemos ver aproximadamente 4.000 estrellas a simple vista. Todas las estrellas que vemos a simple vista pertenecen a nuestra galaxia. Aunque hay miles de millones de estrellas en otras galaxias y billones de galaxias en el Universo observable, esas estrellas están demasiado lejos y por lo tanto son demasiado débiles para que nuestros ojos las distingan como puntos de luz individuales. Dependiendo de nuestra ubicación en la Tierra y del momento de la observación, también son visibles a simple vista los cinco planetas más brillantes de nuestro Sistema Solar, la banda de la Vía Láctea, dos galaxias satélites de la Vía Láctea (la Gran y Pequeña Nube de Magallanes) y la galaxia de Andrómeda (una gran galaxia espiral).

## 3.2

### El cielo nocturno puede ayudar a orientarnos en la Tierra y a navegar

Mirar al cielo nocturno nos permite encontrar las direcciones cardinales. En el Hemisferio Norte, la forma más fácil de encontrar el Norte es buscar la estrella Polar, también conocida como la Estrella del Norte, que está muy cerca del polo Norte celeste. La forma más fácil de encontrar a la estrella Polar es a través de las constelaciones de la Osa Mayor y la Osa Menor. En el Hemisferio Sur, la estrella Sigma Octantis, que es la estrella más cercana al Polo Sur celeste, no es fácilmente visible. Sin embargo, un método rápido para encontrar el Sur es utilizar la constelación la Cruz del Sur y las dos estrellas más brillantes de la constelación Centauro.

## 3.3

### El eje de rotación de la Tierra se bambolea (precesa) a lo largo de milenios

A medida que la Tierra gira sobre su eje, éste se mueve como un trompo. La dirección de su eje de rotación cambia en una precesión lenta con un período de unos 26.000 años. Este movimiento hace que el eje apunte en diferentes direcciones a lo largo del tiempo y, como consecuencia, los polos celestes Norte y Sur cambian lentamente de posición con el tiempo. Por ejemplo, la estrella Polar dejará eventualmente de indicar la dirección Norte, aunque otra estrella podría hacerlo, dependiendo de la dirección del eje de la Tierra en ese momento. Aunque actualmente no hay ninguna estrella brillante cerca del polo Sur celeste, ¡en el futuro tendremos una "Estrella del Sur" adecuada!

## 3.4

### **Solo unos pocos cuerpos celestes son lo suficientemente brillantes como para ser vistos a simple vista cuando el Sol está sobre el horizonte**

La mayoría de los objetos del cielo nocturno son demasiado débiles para ser observados durante el día, en el brillante cielo iluminado por el Sol. Un efecto similar ocurre por la noche en las ciudades, donde, debido a la contaminación lumínica, podemos ver solo una pequeña fracción de las estrellas debido al brillo del cielo por la iluminación artificial. Solo unos pocos cuerpos celestes son lo suficientemente brillantes para ser vistos a simple vista cuando el Sol está sobre el horizonte. Dependiendo de su fase, es posible ver la Luna durante el día. En ciertos momentos, Venus puede ser observado por la mañana ("Estrella del alba"), por la tarde ("Estrella de la tarde"), y si se sabe dónde mirar, Venus también es visible en el cielo del mediodía. Muy raramente, un cometa particularmente brillante podría ser visible durante el día.

## 3.5

### **Los objetos celestes salen por el Este y se ocultan por el Oeste debido a la rotación de la Tierra**

Debido a la rotación de la Tierra alrededor de su eje de Oeste a Este, un observador en la superficie ve todo el cielo moverse en dirección opuesta, de Este a Oeste, aparentemente rotando alrededor de nuestro planeta. Este movimiento aparente del cielo alrededor de la Tierra se llama movimiento diurno. Esta es la razón por la que vemos que los cuerpos celestes se elevan por la mitad oriental del horizonte, y se ponen por la mitad occidental.

## 3.6

### **Las estrellas titilan debido a nuestra atmósfera**

Cuando la luz de una estrella entra en nuestra atmósfera y viaja a través de sus diferentes capas, cambia constantemente de dirección debido a la refracción cambiante en capas con diferente temperatura y densidad. Como consecuencia, el brillo de la luz de una estrella, y la dirección desde la que nos llega aquí en la Tierra, cambian constantemente. Por esta razón, para un observador en la Tierra, las estrellas parecen titilar. Para los planetas, el efecto es mucho menos aparente (o perceptible). La razón es que los planetas pueden verse como pequeños discos (fácilmente discernibles con binoculares, por ejemplo). Las estrellas, por otro lado, se nos presentan como pequeños puntos de luz, y debido a que toda la luz proviene de un único punto, es muy susceptible a los cambios de refracción.

## 3.7

### **Millones de meteoroides entran en la atmósfera de la Tierra diariamente**

Un meteoroides es un pequeño objeto rocoso o metálico con tamaño que va desde el de un grano de arena hasta un metro. Cuando entra en la atmósfera de la Tierra se calienta por la presión del choque, lo que crea un rayo de luz en el cielo nocturno. Este fenómeno se llama meteoro (o estrella fugaz). Cuando un meteoroides sobrevive a su paso a través de la atmósfera terrestre y aterriza en la superficie, se le llama meteorito. Aunque ocurren millones de meteoros en la atmósfera de la Tierra diariamente, la mayoría de los meteoroides que los originaron se queman hasta convertirse en gas y polvo antes de llegar al suelo.

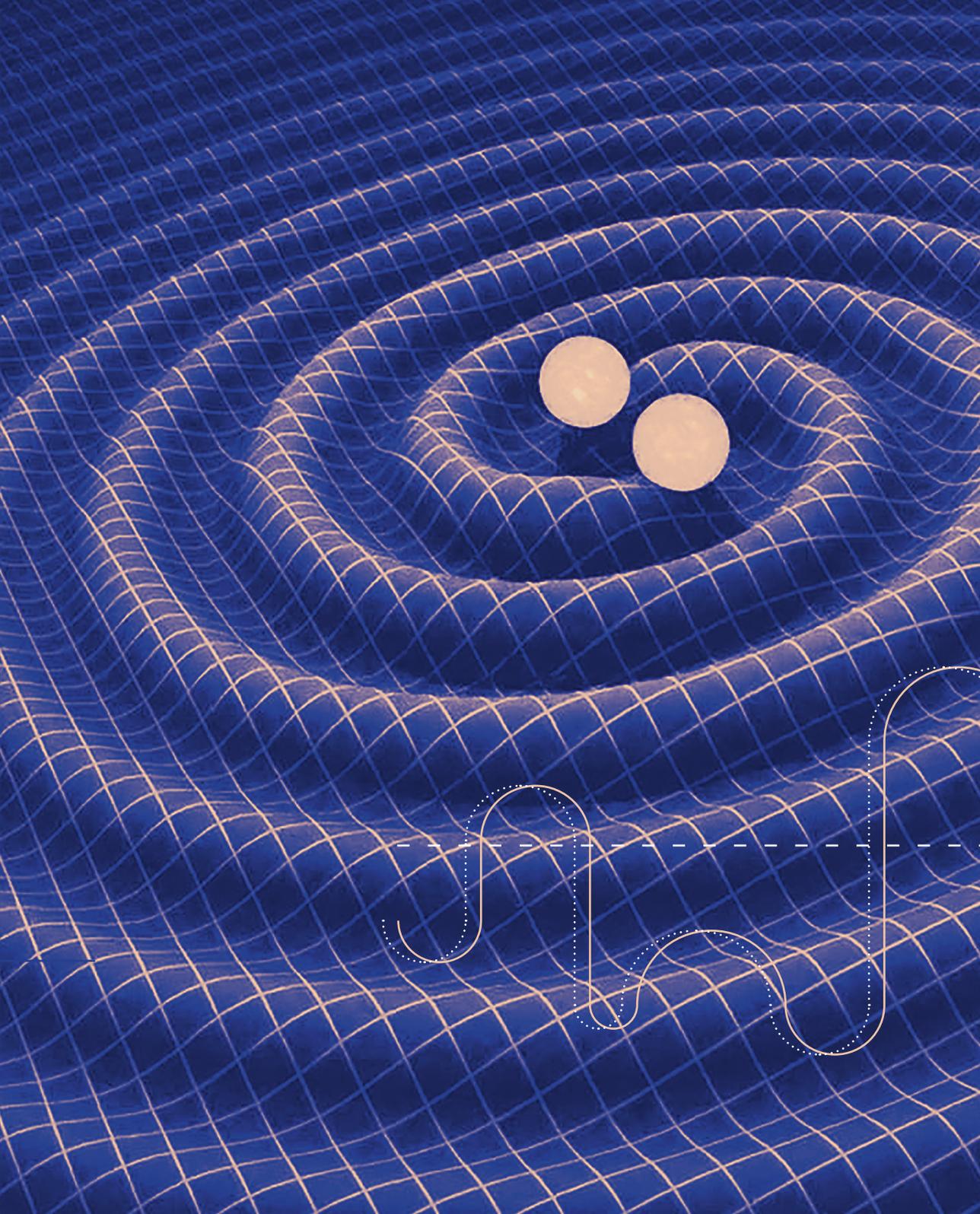


*La astronomía es la ciencia que estudia los  
objetos celestes y los fenómenos en  
el Universo*



*Representación artística  
de las ondas gravitatorias  
generadas por estrellas de  
neutrones binarias, cayendo  
en espiral una sobre otra  
antes de fusionarse.*

*Créditos: R. Hurt/Caltech-JPL*



## 4.1

### La luz (también conocida como radiación electromagnética) es la principal fuente de información para la investigación astronómica

Dado que la mayoría de los objetos celestes están demasiado lejos para viajar a ellos, debemos confiar en su radiación electromagnética (luz) para estudiarlos. Las diferentes longitudes de onda del espectro electromagnético proporcionan información sobre varios mecanismos de los fenómenos astronómicos y sobre la naturaleza de los objetos celestes. En la astronomía moderna, el estudio del Universo se realiza principalmente utilizando todo el espectro electromagnético: radio, microondas, infrarrojo, visible, ultravioleta, rayos X y rayos gamma. Aunque en el lenguaje común la "luz" solo se refiere a la luz visible, en astronomía la "luz" puede referirse a cualquier parte del espectro electromagnético.

## 4.2

### A gran escala, la gravitación es la interacción dominante en el Universo

En promedio, los objetos astronómicos no tienen carga eléctrica neta. La forma dominante en la que estos objetos interactúan a grandes distancias es la gravitación. La gravitación es lo que hace que los planetas orbiten alrededor del Sol, las estrellas orbiten alrededor de los centros de las galaxias, y mantiene el plasma caliente de las estrellas unido en forma esférica. La mayoría de los fenómenos astronómicos pueden describirse utilizando la ley de la gravitación de Newton, pero en las situaciones más extremas se requiere la teoría general de la relatividad de Einstein para proporcionar una descripción precisa.

## 4.3

### Las ondas gravitacionales y las partículas subatómicas proporcionan nuevas formas de estudiar el Universo

La existencia de ondas gravitacionales - ondas en el espacio-tiempo - fue predicha por la teoría general de la relatividad a principios del siglo XX. Su primera detección directa confirmada se logró en 2015, y los científicos pueden ahora usarlas como una nueva ventana para estudiar el Universo. Las ondas gravitacionales se generan por fuertes interacciones gravitacionales, como la fusión de dos agujeros negros masivos o estrellas de neutrones. Los astrónomos también detectan varios tipos de partículas subatómicas, tales como neutrinos, electrones o protones para aprender sobre el interior de nuestro Sol y algunos de los procesos más energéticos del cosmos.

## 4.4

### La astronomía utiliza los datos obtenidos de las observaciones y simulaciones para modelar los fenómenos astronómicos en el marco de las teorías actuales

Los astrónomos crean modelos matemáticos de objetos astronómicos, sus fenómenos asociados y su evolución. El marco de estos modelos está dado por las teorías fundamentales de la física y la química. Algunos modelos consisten en relaciones matemáticas elementales, mientras los modelos más complejos hacen uso de simulaciones numéricas. Las simulaciones más sofisticadas se ejecutan en algunas de las supercomputadoras más grandes del mundo. Los datos de observaciones de telescopios y detectores se utilizan para probar y perfeccionar los modelos. La interacción entre la evidencia observacional y los modelos es un aspecto importante del descubrimiento.

## 4.5

### La investigación astronómica combina conocimientos de diferentes campos, como la física, las matemáticas, la química, la geología y la biología

La investigación astronómica profesional combina conocimientos de matemáticas, física, química, ingeniería, ciencias de la computación, así como otros campos. Esta amplia visión ha demostrado ser esencial para descubrir y modelar la naturaleza de los objetos y fenómenos astronómicos. Por ejemplo, para comprender las reacciones nucleares que tienen lugar en el interior de las estrellas, los científicos necesitan la física nuclear; para detectar los elementos provenientes de las atmósferas de las estrellas, necesitan la química. La ingeniería es esencial para la fabricación de telescopios y detectores, y el desarrollo de software personalizado es crucial para analizar los datos proporcionados por esos instrumentos.

## 4.6

### La astronomía se divide en varias especialidades

Dado que una buena descripción de los objetos y fenómenos astronómicos requiere de un buen conocimiento de otros campos científicos, la astronomía moderna se divide comúnmente en especialidades según los principales temas tratados. Algunas de estas especialidades incluyen: astrobiología, cosmología, astronomía observacional, astroquímica y ciencia planetaria. Los astrónomos también pueden elegir una especialidad de estudio de un tipo particular de objeto, tal como las estrellas enanas blancas. Dado el papel importante que desempeña la física en la astronomía, los términos "astrofísica" y "astronomía" se utilizan indistintamente.

## 4.7

### Las escalas de tiempo y distancia en astronomía son mucho más grandes que las que usamos en nuestra vida diaria

La Luna es el objeto celeste más cercano a la Tierra a una distancia de unos 384.400 kilómetros. Nuestro Sol tiene un diámetro de 1,39 millones de kilómetros, una masa de unos 1.989 mil billones de billones de kilogramos, y es la estrella más cercana a la Tierra a una distancia de alrededor de 150 millones de kilómetros (lo que define la Unidad Astronómica, UA). La estrella más cercana al Sol es Próxima Centauri que está a unos 4,25 años luz de distancia. Un año luz es la distancia que la luz viaja (en el vacío) en un año, que es poco más de 9 billones de kilómetros. Nuestra galaxia tiene entre 100.000 y 120.000 años luz de diámetro y otras galaxias pueden estar a miles de millones de años luz de distancia. Las unidades en la astronomía son mucho más grandes de lo que podríamos imaginar. Las escalas de tiempo astronómicas son largas y las edades de millones o miles de millones de años son típicas.

## 4.8

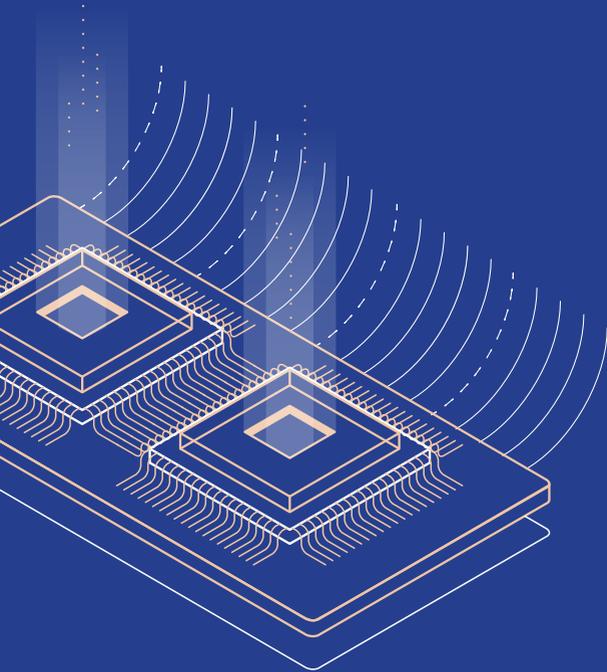
### La espectroscopia es una técnica importante que nos permite explorar el Universo a distancia

Varias características de los objetos astronómicos pueden ser reveladas solo estudiando su espectro - la descomposición de su luz -, similar a un arco iris, en miles de colores diferentes, cada uno caracterizado por la longitud de onda de la luz. Analizando la luz recogida de estos objetos, los astrónomos pueden determinar detalles como su composición, temperatura, presión, campo magnético, entre otras características.



5

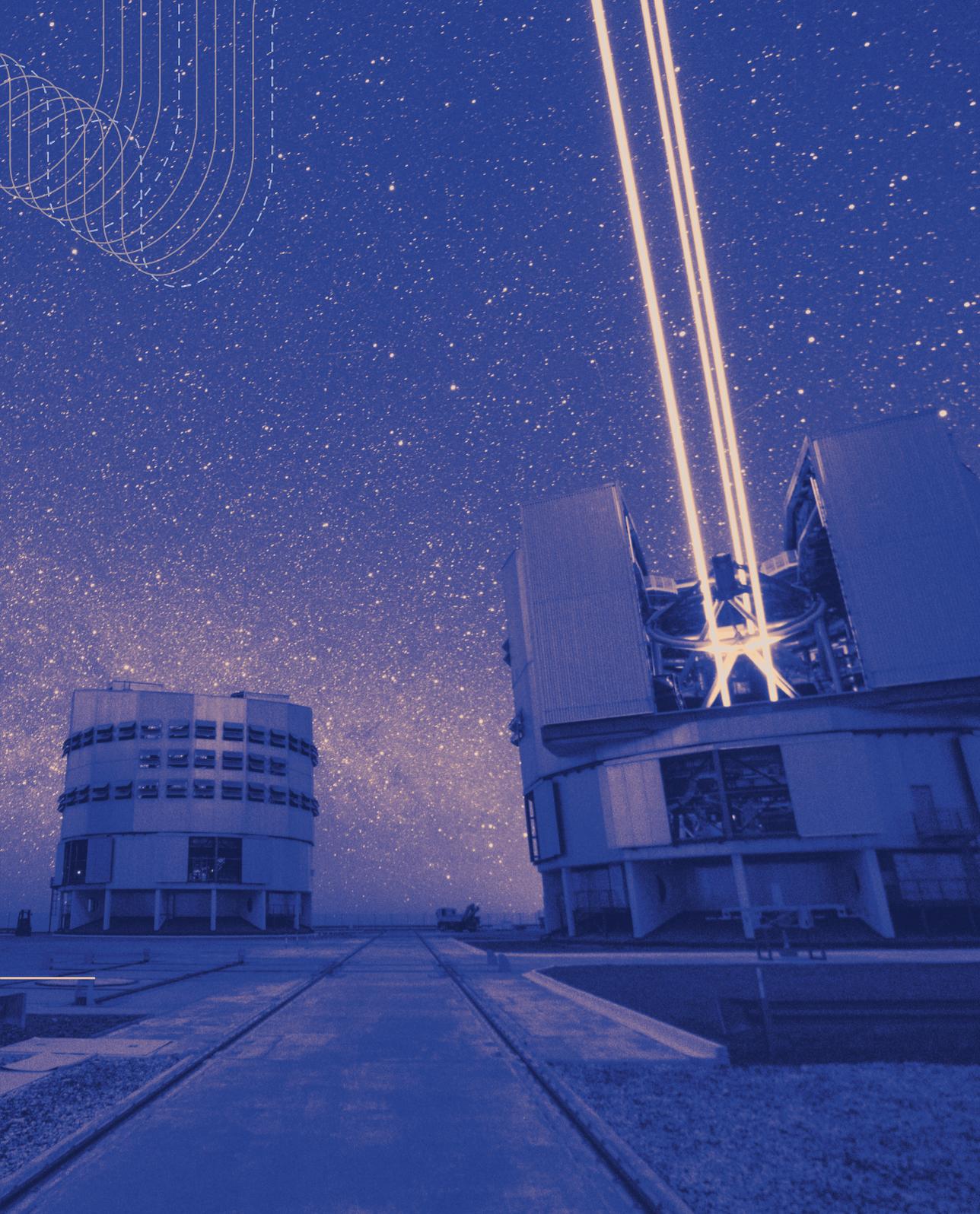
*La astronomía estimula el desarrollo tecnológico y se beneficia de él*



---

*Dos de los cuatro telescopios de 8 m que forman el Very Large Array (VLT), situados en lo alto de los Andes Chilenos.*

*Créditos: ESO/P. Horálek*



## 5.1

### Telescopios y detectores son cruciales para el estudio de la astronomía

Dado que las ondas electromagnéticas son la principal fuente de información para la astronomía, los telescopios y detectores juegan un papel importante a la hora de recolectar y analizar estas ondas. Los telescopios más grandes recogen más luz, lo que permite a los astrónomos identificar y analizar objetos muy débiles. Los telescopios más grandes también tienen más poder de resolución, lo que permite a los astrónomos estudiar los objetos con mayor detalle. Mientras que las primeras observaciones astronómicas se realizaban mirando directamente a través de un telescopio, los detectores de hoy en día permiten a los astrónomos documentar sus observaciones de manera objetiva, en muchas longitudes de onda diferentes.

## 5.2

### Algunos telescopios pueden ser conectados para actuar como un gran telescopio

Al conectar muchos telescopios, los astrónomos pueden hacerlos funcionar como un solo gran telescopio usando una técnica llamada interferometría. La resolución de los instrumentos combinados será la de un solo telescopio con un diámetro igual a la mayor distancia entre cualquiera de los dos telescopios más pequeños que han sido conectados. Esto permite a los astrónomos ver detalles más pequeños y finos en los objetos astronómicos, así como distinguir de forma separada una estrella y su sistema planetario.

## 5.3

### Los observatorios astronómicos están situados en la Tierra y en el espacio

La atmósfera de la Tierra absorbe radiación en la mayor parte del espectro electromagnético. Es transparente a la luz visible, algo de ultravioleta e infrarrojo, y a las ondas cortas de radio, por lo demás es mayormente opaca. La mayoría de las bandas ultravioleta y grandes porciones de luz infrarroja, así como los rayos X, no pueden penetrar la atmósfera. Por esta razón, la mayoría de los telescopios que captan luz distinta a la visible, radio y un número menor de otras bandas de longitud de onda, deben ser colocados en el espacio. Aunque la luz visible puede observarse desde la superficie de la Tierra, la turbulencia de la atmósfera terrestre afecta la calidad de las imágenes, por lo que algunos telescopios ópticos también se colocan en el espacio.

## 5.4

### Los observatorios astronómicos terrestres a menudo se encuentran en regiones remotas de todo el mundo

Pocos lugares en la Tierra proporcionan las condiciones de observación prístinas asociadas a las grandes altitudes, la ausencia de contaminación lumínica y la transparencia de la atmósfera a ciertas longitudes de onda. Estos lugares pueden ser a menudo hostiles, de difícil acceso, y suelen estar muy alejados de los grandes asentamientos humanos. Los astrónomos o viajan a esos lugares para realizar sus observaciones, o permiten que operadores locales con experiencia las lleven a cabo por ellos, o hacen uso de telescopios robóticos, que se operan de manera remota.

## 5.5

### **La astronomía hoy en día es parte de la “Big Science” y de los “Big Data”**

Los sondeos astronómicos han comenzado a producir grandes cantidades de datos, y esto aumentará enormemente en los próximos años. Esta evolución se denomina “Big Data Astronomy” (astronomía con grandes volúmenes de datos), donde el enfoque está en desarrollar formas novedosas de almacenar, entregar y analizar estos datos. Esto ha llevado al desarrollo de varios proyectos de ciencia ciudadana para aprovechar la aguda capacidad de reconocimiento de patrones de los humanos. Por otro lado, los telescopios e instrumentos modernos son costosos, y su construcción requiere una variedad de habilidades técnicas. En esta era de la “Big Science” (gran ciencia), estos equipos son construidos comúnmente por organizaciones internacionales o consorcios que involucran a numerosos institutos astronómicos de diferentes países.

## 5.6

### **Las simulaciones más complejas y los enormes datos en astronomía requieren el desarrollo de poderosas supercomputadoras**

El procesamiento de grandes cantidades de datos, procedentes tanto de simulaciones como de observaciones, requiere computadoras que sean capaces de realizar simulaciones complejas en poco tiempo. Las supercomputadoras actuales pueden realizar del orden de un par de cientos de cuatrillones de cálculos por segundo. Estas supercomputadoras permiten a los astrónomos crear universos simulados y compararlos con observaciones de estudios a gran escala.

## 5.7

### **La astronomía es una ciencia global, con grupos de trabajo internacionales, y donde los datos y publicaciones se comparten libremente**

Los datos disponibles de la mayoría de los observatorios profesionales son de acceso público. A lo largo de su carrera, los astrónomos suelen trabajar en diferentes países. Los grandes proyectos astronómicos, desde la construcción de telescopios e instrumentos hasta las campañas de observación coordinadas, se realizan con frecuencia en colaboración entre investigadores e institutos de diferentes naciones. La astronomía es global e internacional. Todos somos miembros de la tripulación de la “Nave Espacial Tierra”, bajo un solo cielo, explorando el cosmos.

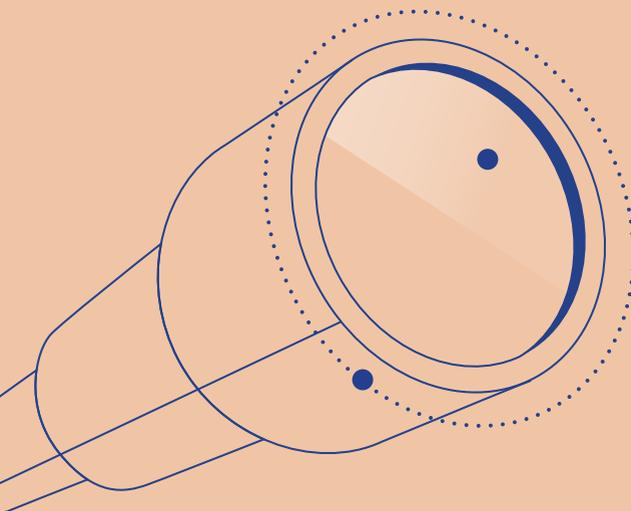
## 5.8

### **Numerosas naves espaciales han sido lanzadas al espacio para estudiar el Sistema Solar**

Para explorar y aprender más sobre nuestro lugar en el Universo, hemos estado enviando sondas robóticas por todo el Sistema Solar. Algunas de estas sondas orbitan alrededor de planetas, lunas o incluso asteroides, mientras que otras han aterrizado sobre tales objetos. Entre algunos lugares del Sistema Solar que han sido visitados (aterrizaje, órbita o sobrevuelo) por sondas robóticas están todos los planetas, los planetas enanos Plutón y Ceres, nuestra Luna y lunas de Júpiter y Saturno, cometas y asteroides.

# 6

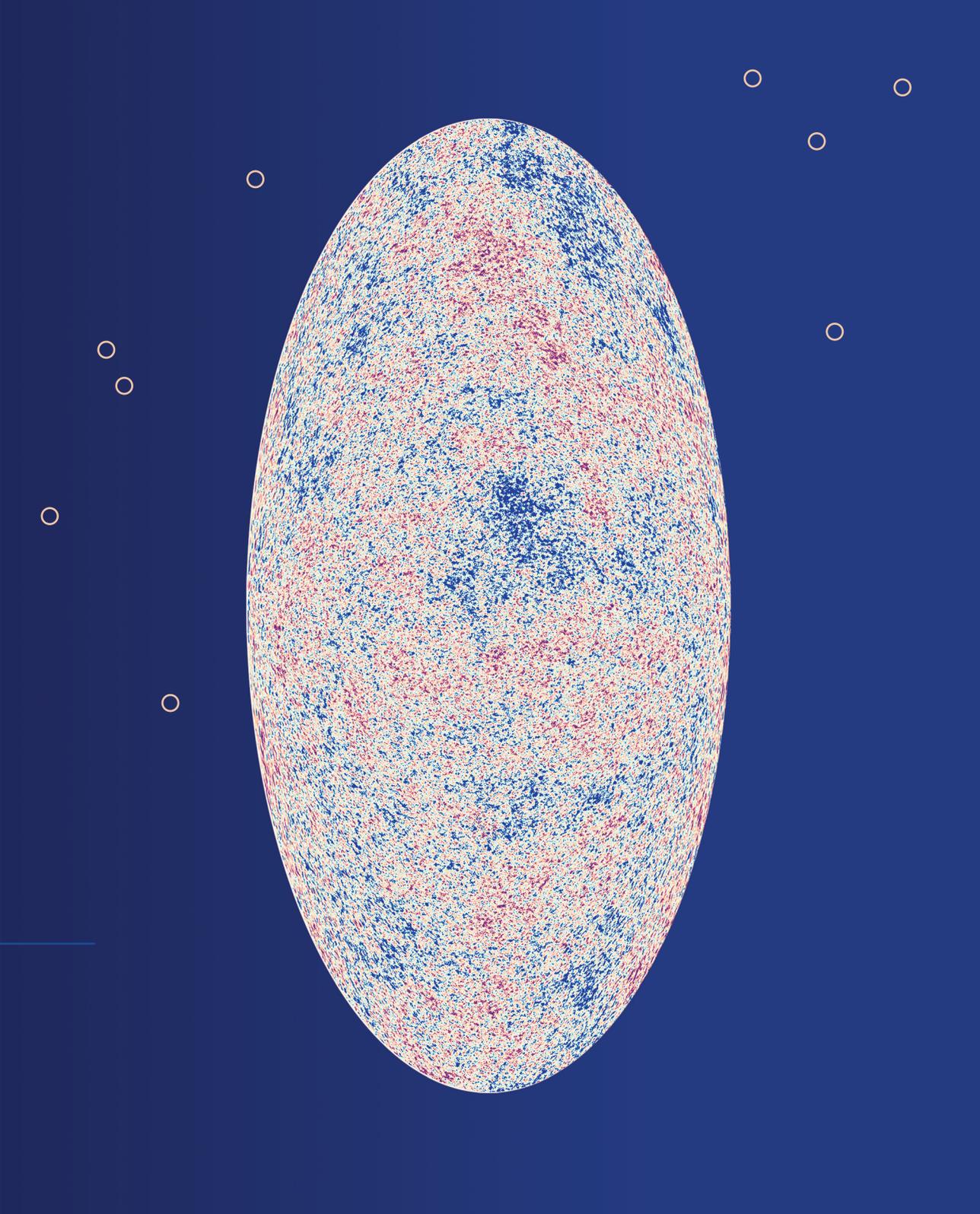
*La cosmología es la ciencia que  
explora el Universo como un todo*



---

*Una imagen de la radiación  
del Fondo Cósmico de  
Microondas (CMB), la reliquia  
que nos quedó de cuando el  
Universo tenía 380.000 años.*

*Créditos: ESA y la  
Colaboración Planck*



## 6.1

### El Universo tiene más de 13.000 millones de años

La edad estimada del Universo, basada en observaciones modernas y en los más recientes modelos cosmológicos para su evolución temprana, es de aproximadamente 13.800 millones de años. La cosmología es un campo de investigación que estudia la evolución y la estructura del Universo.

## 6.2

### El Universo es homogéneo e isótropo a gran escala

A las mayores escalas (aproximadamente más de 300 millones de años-luz), la materia en el Universo parece estar distribuida uniformemente. Debido a esta densidad y estructura casi uniforme, el Universo se ve casi igual en cualquier lugar (homogéneo) y en todas las direcciones (isótropo).

## 6.3

### Nosotros siempre observamos el pasado

Debido a la velocidad finita de la luz, nunca vemos los objetos como son ahora, sino siempre como eran en el pasado. Solo podemos ver el Sol como era hace unos ocho minutos, ya que la luz del Sol tarda unos ocho minutos en llegar a nosotros. Vemos la galaxia Andrómeda como era hace unos 2,5 millones de años, ya que la luz de la galaxia tarda ese tiempo en llegar a la Tierra. Es de esta forma que los astrónomos siempre observan el pasado, incluso hasta hace 13.800 millones de años. Observar objetos astronómicos a varias distancias proporciona una sección transversal de la historia cósmica. Dado que en promedio, el Universo tiene las mismas propiedades en todas partes, esta sección transversal proporciona valiosas pistas sobre nuestra propia historia.

## 6.4

### Solo podemos observar directamente una fracción de todo el Universo

Dado que la luz viaja en el espacio a una velocidad finita, hay regiones distantes del Universo que aún no podemos observar. La razón de esto es simplemente que la luz de esas regiones no ha tenido suficiente tiempo para llegar a nuestros detectores en la Tierra. Solo podemos ver los objetos que se encuentran dentro de una cierta región llamada "Universo Observable", que incluye todos los objetos cuya luz ha tenido el tiempo necesario para llegar a nosotros. De particular interés son los objetos muy distantes, cerca de la frontera de esa región. Estos nos aparecen en la forma que tenían cuando el Universo acababa de empezar.

## 6.5

### El Universo está compuesto principalmente de energía oscura y materia oscura

Las estrellas, el aire que respiramos, nuestros cuerpos y todo lo que vemos a nuestro alrededor está formado por átomos, que a su vez están compuestos de protones, neutrones y electrones. Esta llamada materia bariónica es con la que interactuamos en nuestra vida diaria. La evidencia observacional muestra que representa solo cerca del 5% de la composición total del Universo. De hecho, el Universo está compuesto principalmente por una forma desconocida de energía, conocida como energía oscura (alrededor del 68%), y una forma inusual de materia llamada materia oscura (alrededor del 27%). La naturaleza de la llamada energía oscura y materia oscura es un área activa de investigación, especialmente a través de las observaciones de su influencia sobre la materia bariónica.

## 6.6

### El Universo se expande a un ritmo acelerado

La evidencia observacional muestra que el Universo se está expandiendo a un ritmo acelerado, observación atribuida a la energía oscura. Ya que el Universo se expande de forma sistemática a gran escala, los cúmulos de galaxias se alejan unos de otros. En los modelos modernos, todas las distancias entre cúmulos de galaxias crecen en proporción al mismo factor de escala universal. Los datos observacionales muestran que cuanto más lejos está una galaxia de nosotros, más rápido se aleja de nosotros (Ley de Hubble-Lemaître). Observadores alienígenas hipotéticos en otras galaxias detectarían lo mismo que nosotros. Los sistemas vinculados, como los cúmulos de galaxias, y los grupos de galaxias ligados por su propia gravedad, o las galaxias mismas, no se ven afectados por la expansión cósmica. Dentro de los cúmulos y grupos de galaxias, las galaxias individuales pueden estar orbitando entre sí, o pueden estar en curso de colisión. Esto último ocurre para la Vía Láctea y la galaxia Andrómeda.

## 6.7

### La expansión del espacio hace que la luz de las galaxias distantes se desplace al rojo

La expansión cósmica influye en las propiedades de la luz en el Universo. La luz que nos llega de galaxias distantes se desplaza cada vez más al rojo a medida que aumenta la distancia. Este corrimiento al rojo cosmológico puede entenderse directamente en términos de las longitudes de onda de la luz que aumentan (estiramiento a longitudes de onda más largas) con el factor de escala cósmica. Es por eso que las galaxias distantes solo pueden ser observadas en las bandas infrarrojas o de radio, y la razón por la cual la Radiación Cósmica de Microondas nos llega mayormente en el régimen de microondas.

## 6.8

### Las leyes naturales (por ejemplo, la gravedad) que estudiamos en la Tierra parecen funcionar de la misma manera en todo el Universo

Se han realizado muchas pruebas para ver si las leyes de la física, como las leyes que rigen la gravedad, la termodinámica y el electromagnetismo, son las mismas en la Tierra y en el Universo distante. Hasta ahora, todas las pruebas indican que las leyes fundamentales de la física aplican en todo el Universo.

## 6.9

### La estructura a gran escala del Universo está compuesta de filamentos, láminas y vacíos

Los estudios a gran escala del desplazamiento al rojo del Universo han revelado que a grandes escalas, del orden de pocos cientos de millones de años-luz, el Universo se asemeja a una red tridimensional, similar a una esponja, de filamentos y vacíos, que los astrónomos denominan la “red cósmica”. Los filamentos y las láminas contienen millones de galaxias. Estas estructuras a gran escala se extienden por cientos de millones de años-luz y suelen tener decenas de millones de años-luz de espesor. Los filamentos y las láminas forman fronteras que bordean vacíos, los cuales tienen un diámetro del orden de cientos de millones de años-luz, y contienen solo muy pocas galaxias.

## 6.10

### El Fondo Cósmico de Microondas nos permite explorar el Universo temprano

La radiación electromagnética más antigua, que emana de las regiones más distantes del Universo que podemos observar, es la radiación del Fondo Cósmico de Microondas. Es la reliquia que queda del caliente y denso Universo temprano, impresa con información de una época en la que el Universo tenía unos 380.000 años de edad. El Fondo Cósmico de Microondas nos permite medir las características claves del Universo como un todo: la cantidad de materia oscura, materia bariónica y energía oscura, su geometría y su actual tasa de expansión. El Fondo Cósmico de Microondas muestra que el Universo es prácticamente isotrópico y por lo tanto también proporciona evidencia indirecta de homogeneidad.

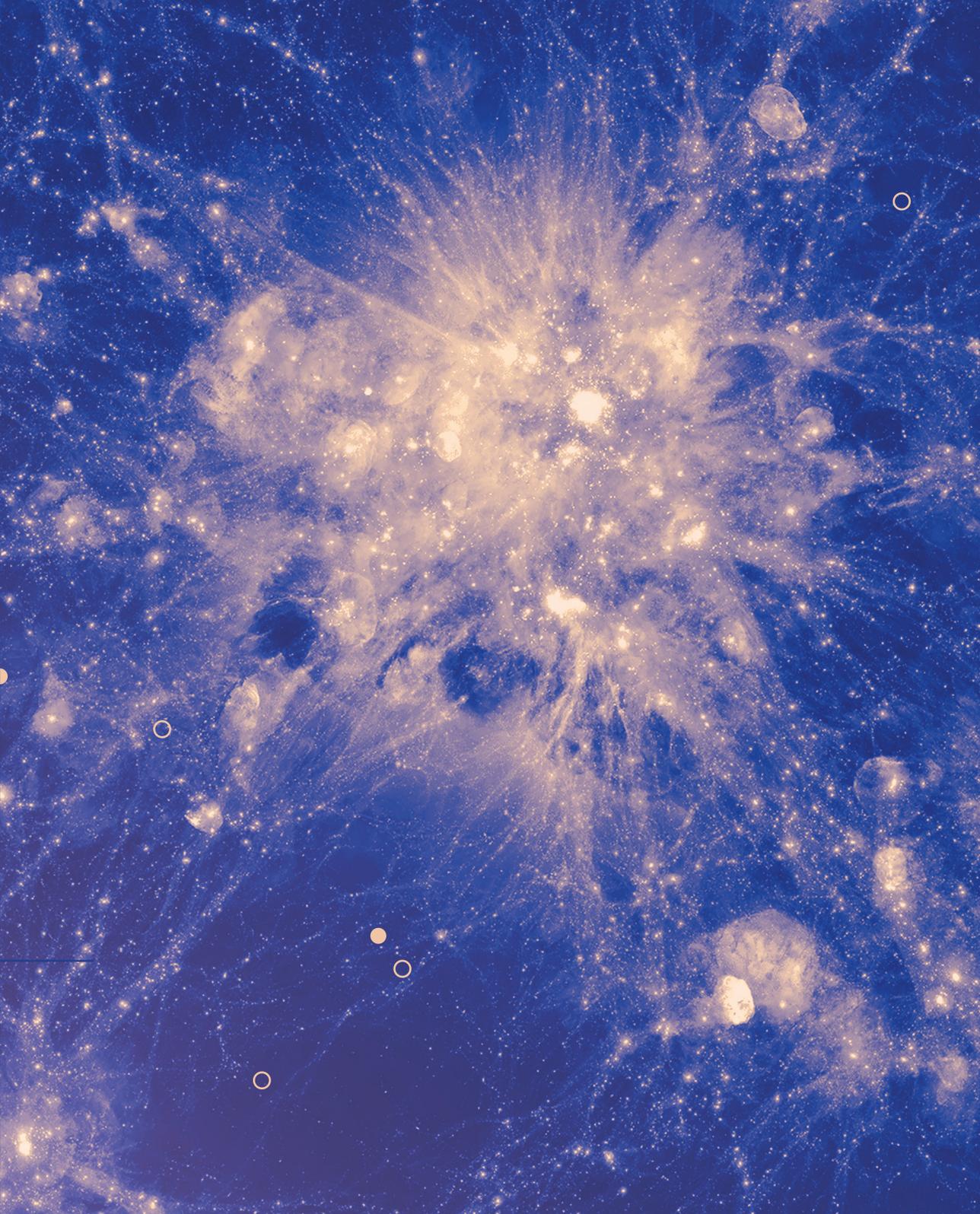
## 6.11

### La evolución del Universo puede ser explicada mediante el modelo del Big Bang

De acuerdo a la mejor evidencia disponible hasta ahora, toda la materia y la energía que vemos a nuestro alrededor estaban contenidas en un volumen menor que un átomo hace más de 13.000 millones de años. El Universo se expandió desde esta fase de muy alta densidad y temperatura (fase de Big Bang) hasta su estado actual. Los modelos que describen el Universo en expansión se conocen como LambdaCDM (donde Lambda representa la componente de energía oscura del Universo, y CDM la materia oscura fría, Cold Dark Matter en inglés). La fase de Big Bang, a pesar de su nombre, no fue una explosión en la que la materia es arrojada al espacio vacío previamente existente. Todo el espacio disponible se llenó de materia desde el principio y, al aumentar el espacio, la densidad media de la materia ha disminuído desde entonces. Desde que se formaron las galaxias, las distancias medias entre ellas han ido aumentando constantemente. El modelo del Big Bang hace numerosas predicciones comprobables sobre nuestro Universo actual, la mayoría de las cuales han sido confirmadas mediante datos observacionales.

*Simulación cosmológica a gran escala de la evolución de una sección del Universo, donde se muestra la densidad de materia oscura superpuesta a la velocidad del gas.*

*Créditos: Colaboración Ilustris*



7

*Todos vivimos en un  
pequeño planeta dentro  
del Sistema Solar*

---

*Representación artística de  
algunos de los exoplanetas  
que orbitan una estrella  
llamada TRAPPIST-1, la  
cual tiene al menos siete  
planetas rocosos del tamaño  
de la Tierra en su órbita.*

*Créditos: ESO/M. Kornmesser*



## 7.1

### **El Sistema Solar se formó hace unos 4.600 millones de años.**

La datación radiactiva de los meteoritos ha permitido determinar la edad del Sistema Solar. Esta edad es consistente con la datación de muestras de rocas lunares y de las rocas más antiguas encontradas en la superficie de la Tierra.

## 7.2

### **El Sistema Solar está compuesto por el Sol, planetas, planetas enanos, lunas, cometas, asteroides y meteoroides**

Nuestro Sistema Solar consta de una estrella central, que llamamos Sol y de cada objeto en su órbita, bajo la influencia de su gravedad. Estos objetos incluyen planetas y sus satélites naturales, planetas enanos, asteroides, meteoroides y cometas. El Sol concentra más del 99,87% de la masa total del Sistema Solar.

## 7.3

### **Hay ocho planetas en el Sistema Solar**

Según la resolución de la Unión Astronómica Internacional en 2006, para que un objeto sea un planeta debe cumplir tres criterios. El primero es que debe orbitar alrededor del Sol. El segundo es que debe tener suficiente masa para que la gravedad lo transforme en una forma aproximadamente esférica y, por último, su influencia gravitacional debe ser suficiente para despejar su vecindad orbital de otros objetos. Los objetos que no son lunas y obedecen a las dos primeras reglas, pero no a la tercera, se llaman planetas enanos. Contando desde el Sol, los planetas de nuestro Sistema Solar son Mercurio, Venus, la Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno.

## 7.4

### **Hay varios planetas enanos en el Sistema Solar**

Los planetas enanos son todos más pequeños que la Luna de la Tierra, la cual tiene un diámetro de unos 3.474 km. Plutón es actualmente el más grande de los planetas enanos, seguido por Eris, Haumea, Makemake y Ceres. Cada uno de estos objetos es sólido, con superficies heladas, y composiciones similares. Ceres se encuentra entre las órbitas de Marte y Júpiter, mientras los otros cuatro planetas enanos se pueden encontrar más allá de la órbita de Neptuno, en el cinturón Edgeworth-Kuiper.

## 7.5

### Los planetas se dividen en planetas terrestres (rocosos) y gigantes gaseosos

Los cuatro planetas más cercanos al Sol se denominan planetas terrestres. Todos estos planetas tienen una superficie sólida y están compuestos principalmente de roca. Mercurio no tiene atmósfera, en cambio, Venus tiene una atmósfera más densa respecto a la de la Tierra y Marte más tenue. En contraste con los pequeños planetas interiores, los cuatro planetas exteriores, llamados gigantes gaseosos, son mucho más grandes. Estos planetas son principalmente gaseosos (hidrógeno y helio) y sus atmósferas son muy densas. Todos los gigantes gaseosos tienen anillos a su alrededor. Saturno tiene por lejos el sistema de anillos más impresionante, que es visible incluso a través de un telescopio pequeño.

## 7.6

### Algunos planetas tienen docenas de satélites naturales

Con la excepción de Mercurio y Venus, todos los planetas tienen al menos un satélite natural. La Tierra es el único planeta del Sistema Solar que posee solo una luna, en tanto que Marte tiene dos. A diferencia de los planetas terrestres, todos los gigantes gaseosos tienen un gran número de objetos orbitándolos. Con más de 75 lunas confirmadas cada uno, Júpiter y Saturno son los planetas con más satélites naturales, seguidos por Urano y Neptuno.

## 7.7

### La Tierra es el tercer planeta que orbita alrededor del Sol, y tiene un satélite natural, la Luna

Nuestro planeta es el tercer planeta contando desde el Sol y tiene una órbita casi circular. La atmósfera de la Tierra está compuesta principalmente de nitrógeno y oxígeno y la temperatura media en su superficie, que está cubierta en más de un 70% por agua, es de unos 15 grados centígrados. La Luna es el único satélite natural de la Tierra y el único objeto celeste sobre el que los humanos han puesto un pie.

## 7.8

### Hay millones de asteroides, los cuales son restos de la formación temprana de nuestro Sistema Solar

Los restos de la formación temprana del Sistema Solar se pueden encontrar principalmente en el cinturón de asteroides, situado entre las órbitas de Marte y Júpiter, y en el cinturón Edgeworth-Kuiper, situado más allá de la órbita de Neptuno. Los asteroides del Sistema Solar tienen un tamaño que oscila entre unos 10 m y 1.000 km y la masa combinada de todos ellos es inferior a la masa de la Luna.

## 7.9

### Un cometa es un objeto helado que adquiere una cola cuando es calentado por el Sol

Los cometas están compuestos principalmente de hielo, pero también contienen polvo y material rocoso. El hielo es volátil y se evapora cuando el cometa se acerca al Sol debido a los vientos y la radiación solar. Esto crea dos colas: una cola de polvo que está ligeramente curvada en la dirección opuesta al movimiento del cometa, la cual se extiende por millones de kilómetros, y una cola de plasma que es recta y a menudo no visible a simple vista. Las colas de los cometas siempre apuntan en la dirección opuesta al Sol, independientemente de la dirección en que se mueva el cometa. Se cree que la mayoría de los cometas provienen de dos regiones específicas: el Cinturón Edgeworth-Kuiper, situado más allá de la órbita de Neptuno, y la Nube de Oort, en los bordes del Sistema Solar.

## 7.10

### La frontera del Sistema Solar se llama la Heliopausa

El campo magnético del Sol se extiende mucho más allá de su superficie. Esto crea una burbuja que envuelve a todo el Sistema Solar. La región donde el campo magnético del Sol interactúa con el campo magnético de otras estrellas se llama Heliofunda. El límite exterior de esta agitada y turbulenta región se llama la Heliopausa. Más allá de la Heliopausa se encuentra el espacio interestelar. En 2012, la nave espacial Voyager 1 fue el primer objeto creado por el hombre que cruzó la Heliopausa.



*Esta imagen de alta resolución capturada por la nave espacial New Horizons de la NASA combina imágenes en azul, rojo e infrarrojo tomadas por la cámara Ralph/Multispectral Visual Imaging Camera (MVIC)*

*Créditos: NASA/JHUAPL/SwRI*



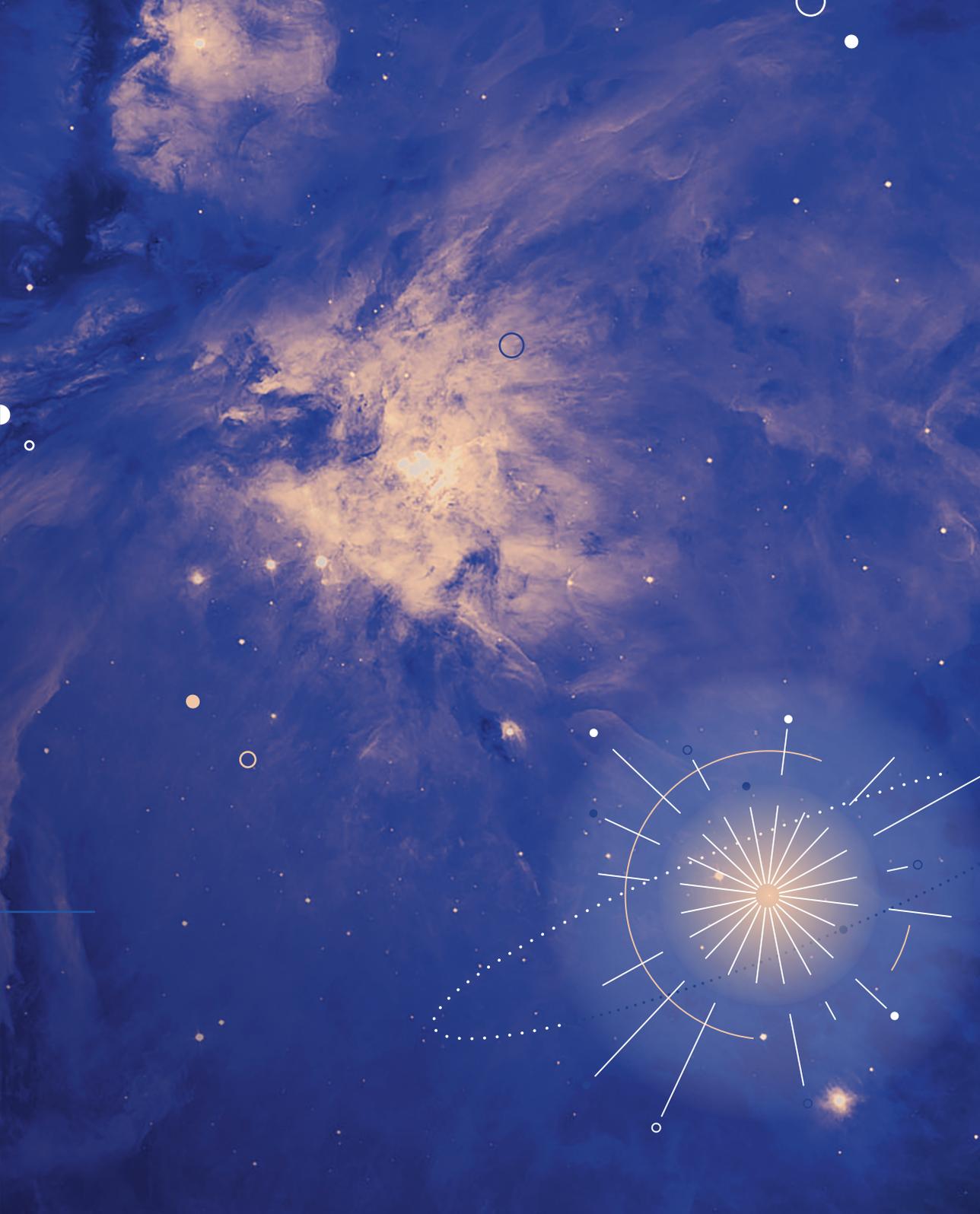


*Estamos hechos  
de polvo de  
estrellas*

---

*La Nebulosa de Orión (M42),  
la región de formación  
de estrellas masivas  
más cercana, a casi 1500  
años luz de distancia.*

*Créditos: NASA, ESA, M.  
Roberto (Space Telescope  
Science Institute / ESA) y el  
Equipo del Proyecto "Orion  
Treasury" del Telescopio  
Espacial Hubble*



## 8.1

### Una estrella es un cuerpo con luz propia que genera su energía mediante reacciones nucleares internas

Las estrellas están compuestas de plasma muy caliente (un gas en el que los electrones y los núcleos de los átomos están muy separados) que se mantiene unido por su propia gravedad. La producción de energía que sostiene a una estrella se genera mediante reacciones nucleares que tienen lugar en su centro, las cuales inicialmente fusionan hidrógeno en helio, a través de la cadena protón-protón (y para las estrellas más masivas a través del ciclo carbono-nitrógeno-oxígeno, CNO) antes de pasar a fusionar elementos más pesados. Las estrellas se estabilizan gracias a la presión ejercida por la energía liberada durante los procesos de fusión central, los cuales contrarrestan el impulso de la estrella de colapsar bajo su propia gravedad. De esta manera, la mayoría de las estrellas de masa similar o menor a la de nuestro Sol permanecen estables durante unos pocos miles de millones o incluso decenas de miles de millones de años.

## 8.2

### Las estrellas se forman a partir de nubes masivas de polvo y gas

El colapso gravitacional de gigantescas nubes moleculares frías da origen a las estrellas. A medida que la nube colapsa, se fragmenta en núcleos cuyas regiones centrales se vuelven cada vez más densas y calientes. Por encima de valores críticos de temperatura y presión, la fusión nuclear se enciende y nace una estrella. Esta joven estrella está inicialmente rodeada por un disco protoplanetario de polvo y gas. En el transcurso de millones de años, este disco se diferencia en planetas y cuerpos más pequeños.

## 8.3

### La estrella más cercana a la Tierra es el Sol.

Con un diámetro ecuatorial de unos 1,4 millones de kilómetros, el Sol, la estrella más cercana a la Tierra, es tan grande que podríamos meter aproximadamente 1,3 millones de Tierras en su interior. Aunque nuestra estrella es enorme comparada con nuestro planeta, hay estrellas mucho más grandes en el Universo. La supergigante VY Canis Majoris, con unas 1400 veces el diámetro del Sol, es la estrella más grande conocida hasta la fecha. Si se sitúa en el centro del Sistema Solar, la superficie de VY Canis Majoris se extendería más allá de la órbita de Júpiter. También hay estrellas mucho más pequeñas que el Sol. La estrella más cercana, Próxima Centauri, es una enana roja con un diámetro de unos 200.000 kilómetros, solo 16 veces el diámetro de la Tierra.



## 8.4

### El Sol es una estrella dinámica

Aunque parece uniforme en apariencia, la superficie del Sol puede estar moteada con manchas oscuras. Estas manchas solares, o regiones de fuerte campo magnético, lucen oscuras porque son más frías que el material circundante. Cada 11 años, el Sol alterna entre producir muchas manchas y producir unas pocas. A veces, el campo magnético del Sol se retuerce, acumula mucha energía, y libera esta energía en una explosión de luz y partículas. Estas explosiones se denominan llamaradas o eyecciones de masa coronal. Pero incluso cuando está en calma, el Sol arroja constantemente al espacio alrededor de 1.500 millones de kilogramos de gas caliente y magnetizado cada segundo. Este viento solar fluye a través del Sistema Solar e interactúa con los planetas. Otras estrellas también producen llamaradas y vientos.

## 8.5

### El color de una estrella nos dice la temperatura de su superficie

Las estrellas pueden tener temperaturas superficiales entre unos pocos miles de grados centígrados y cincuenta mil grados centígrados. Las estrellas calientes irradian la mayor parte de su energía en la región azul y ultravioleta del espectro electromagnético (en longitudes de onda cortas), y por lo tanto se ven azuladas a nuestros ojos. Las estrellas frías se ven rojizas, ya que irradian la mayor parte de su energía en las regiones roja e infrarroja del espectro electromagnético (en longitudes de onda largas).

## 8.6

### El espacio entre las estrellas puede estar esencialmente vacío o puede contener nubes de gas, las cuales pueden producir nuevas estrellas.

El espacio entre las estrellas contiene diminutos rastros de materia en forma de gas, polvo y partículas de alta energía ("rayos cósmicos"). Este contenido de materia se llama el medio interestelar. Puede ser más o menos denso en diferentes partes de la galaxia. Sin embargo, incluso las regiones más densas del medio interestelar siguen siendo mil veces menos densas que el mejor vacío creado en un laboratorio.

## 8.7

### Una estrella atraviesa un ciclo de vida que está determinado en gran medida por su masa inicial.

Las simulaciones por computadora revelan que las primeras estrellas tenían un tiempo de vida de algunos millones de años. En contraste, en promedio la esperanza de vida de una estrella similar al Sol es de unos 10.000 millones de años. Las estrellas enanas rojas de baja masa pueden vivir trillones de años. Una estrella con una masa similar a la de nuestro Sol evolucionará eventualmente en una estrella gigante roja y más tarde expulsará la mayor parte de su masa al espacio, dejando atrás una compacta estrella enana blanca, rodeada por lo que se llama una nebulosa planetaria. Una estrella con al menos ocho masas solares evolucionará en una supergigante roja antes de explotar en un evento llamado supernova, dejando atrás una estrella de neutrones o un agujero negro estelar.

## 8.8

### Las estrellas masivas pueden terminar su ciclo de vida como agujeros negros estelares

Un agujero negro es una región del espacio cuyo campo gravitacional extremo impide que cualquier cosa, incluyendo la luz, escape una vez que ha cruzado el horizonte de sucesos. El horizonte de sucesos es una superficie límite que rodea al agujero negro, donde la velocidad necesaria para escapar de su campo gravitacional es mayor que la velocidad de la luz. Los modelos teóricos predicen que en el centro de un agujero negro hay una singularidad, donde la densidad de la materia y la curvatura del espacio-tiempo se acercan al infinito. Los agujeros negros de masa estelar tienen masas del orden de unas pocas decenas de masas solares, en una región que tiene un radio de unos pocos kilómetros a decenas de kilómetros (dependiendo de la masa).

## 8.9

### Las nuevas estrellas y sus sistemas planetarios nacen del material dejado por estrellas anteriores en la misma región

Excluyendo el hidrógeno, la mayor parte del helio y una pequeña cantidad de litio, todos los elementos del Universo actual han sido producidos dentro de las estrellas por fusión nuclear. Las estrellas de baja masa, como el Sol, producen elementos más ligeros, hasta el oxígeno, mientras que las estrellas masivas pueden crear elementos más pesados que el oxígeno y hasta el hierro. Los elementos más pesados que el hierro, como el oro y el uranio, se crean durante las explosiones de supernovas de alta energía y las colisiones de estrellas de neutrones. Al morir, las estrellas liberan la mayor parte de su masa en el medio interestelar. A partir de esta materia, se forman nuevas estrellas, en la versión cósmica de un proceso de reciclaje.

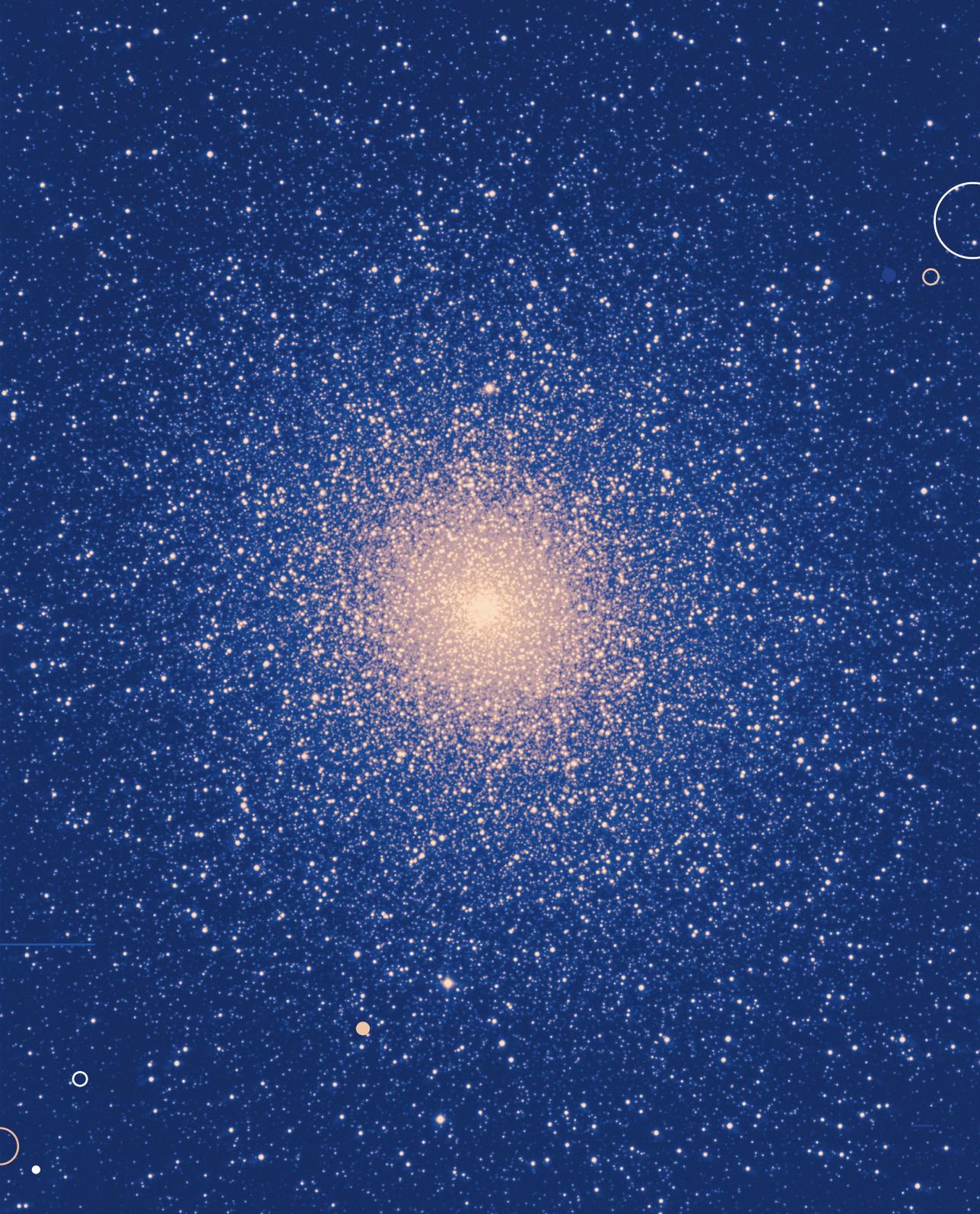
## 8.10

### El cuerpo humano está formado de átomos que pueden ser rastreados hasta estrellas anteriores

Los elementos diferentes al hidrógeno, el helio y a una pequeña cantidad del litio, fueron creados principalmente en el interior de las estrellas, y liberados al espacio en las últimas etapas de su vida. Este es el origen de la mayoría de los elementos que componen nuestro cuerpo, como el calcio en nuestros huesos, el hierro en nuestra sangre y el nitrógeno en nuestro ADN. De la misma manera, los elementos que componen otros animales, plantas, y de hecho la mayoría de las cosas que vemos a nuestro alrededor, fueron producidos por las estrellas hace miles de millones de años.

*Imagen del cúmulo globular NGC 104, también llamado 47 Tucanae, el segundo más grande y segundo más brillante de los cúmulos globulares, los cuales son grupos compactos de estrellas visible en las noches terrestres*

*Crédito: ESO*



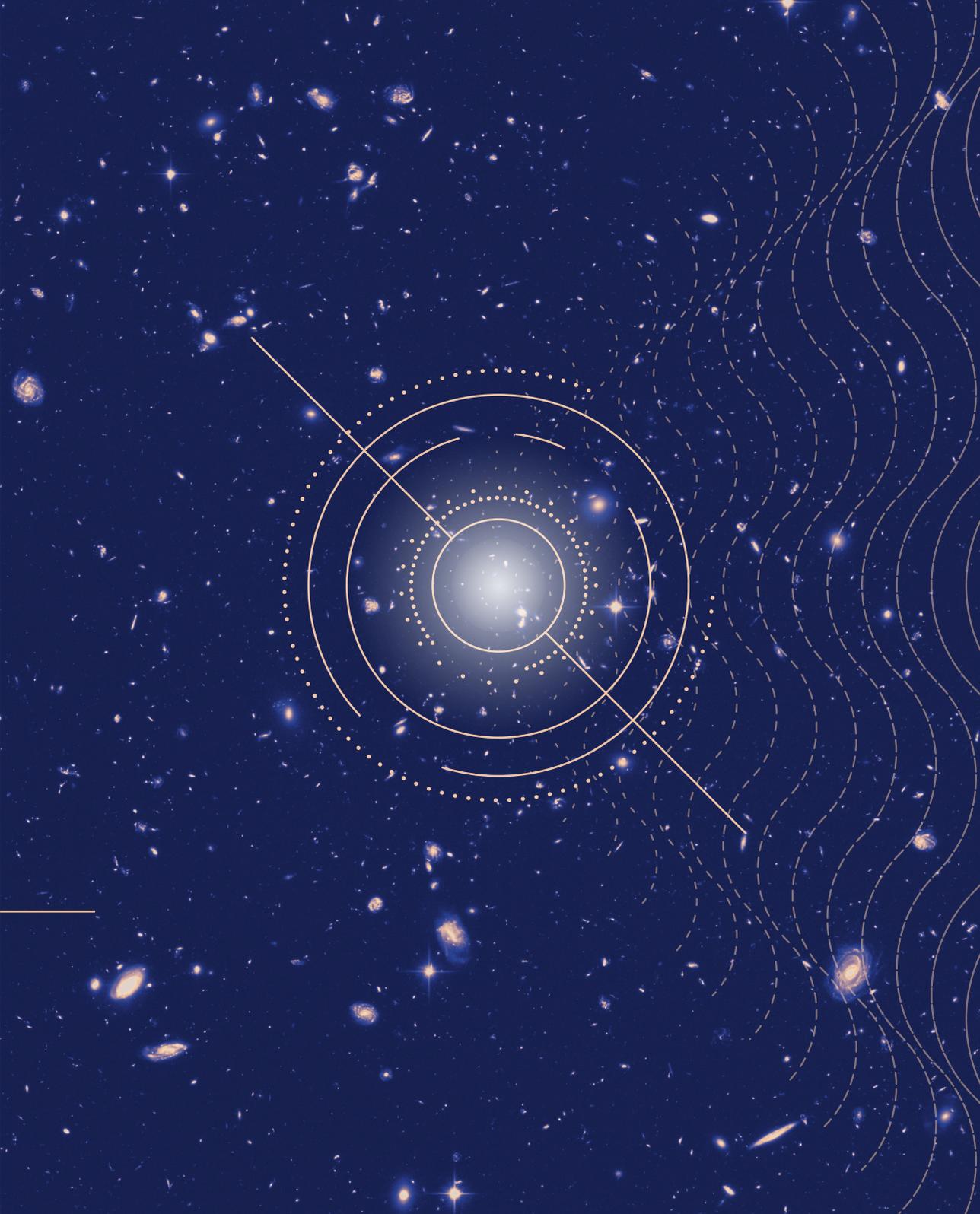
9

*Hay cientos de miles de millones de galaxias en el Universo*

---

*El Campo Ultra Profundo del Hubble, una instantánea de una pequeña región del espacio (casi 1/10 del diámetro de la Luna llena) que contiene cerca de diez mil galaxias.*

*Créditos: NASA, ESA y S. Beckwith (STScI) y el equipo del HUDF*





## 9.1 Una galaxia es un gran sistema de estrellas, polvo y gas

Una galaxia contiene entre unos pocos millones y cientos de miles de millones de estrellas, unidas por su gravitación mutua. Las estrellas de una galaxia pueden ser parte de cúmulos estelares, o parte de una población mayor de estrellas sueltas esparcidas por la galaxia. Además, una galaxia contiene remanentes estelares, polvo, gas y materia oscura. Muchas galaxias tienen un agujero negro supermasivo en su centro.

## 9.2 Las galaxias parecen contener grandes cantidades de materia oscura

La materia oscura es un tipo de materia que no emite ni interactúa con la radiación electromagnética, y por lo tanto es imposible detectar por observaciones directas. Aunque la materia oscura no puede ser vista, tiene masa, y su existencia se infiere de sus efectos gravitatorios sobre los objetos visibles. Tales efectos incluyen el movimiento de los objetos visibles, o la distorsión de las imágenes debido a las lentes gravitacionales. Las galaxias están rodeadas por un halo muy extenso de materia oscura, en cierto sentido, lo que vemos de una galaxia es solo la punta del iceberg de su masa total.

## 9.3 La formación de las galaxias es un proceso evolutivo

Durante los primeros cientos de millones de años de la historia del Universo, la materia oscura evolucionó en numerosas regiones grandes y densas, llamadas halos. A medida que el hidrógeno y el helio caía en estos halos, se formaron las primeras galaxias y las primeras estrellas. Las galaxias espirales más grandes, como la Vía Láctea, evolucionaron a medida que atraían e incorporaban numerosas galaxias más pequeñas. Las grandes galaxias elípticas se formaron cuando galaxias más masivas chocaron y se fusionaron. Dependiendo de sus reservas de gas, y del calentamiento a través de la explosión de estrellas o de la actividad en el centro galáctico, estas galaxias formaron nuevas estrellas a un ritmo mayor o menor.

## 9.4 Hay tres tipos principales de galaxias: espirales, elípticas e irregulares

De acuerdo con su apariencia, las galaxias se clasifican en espirales, elípticas e irregulares. Estos tipos difieren no solo en la forma sino también en su contenido. Las galaxias espirales tienen brazos espirales aplanados formados predominantemente por estrellas jóvenes y brillantes y grandes cantidades de gas y polvo. En cambio, las galaxias elípticas contienen menos gas. Sus estrellas son en su mayoría viejas y están distribuidas en forma ovoide o esférica. Algunas galaxias, incluyendo la mayoría de las galaxias enanas, no tienen ninguna de estas dos formas estándar y se denominan irregulares.

## 9.5

### Vivimos en una galaxia espiral llamada la Vía Láctea

Nuestra Vía Láctea es una galaxia espiral con una estructura en forma de barra en el centro. El Sistema Solar está situado a unos 25.000 años luz del centro, en un brazo espiral. La parte visible de nuestra galaxia es una colección de estrellas en forma de disco con un diámetro de unos 100.000 – 120.000 años-luz y un grosor de solo unos 2.000 años-luz. En este disco, las estrellas jóvenes y el polvo forman brazos espirales. Durante una noche oscura y desde un lugar adecuadamente oscuro, podemos ver una fracción diminuta de las más de 100.000 millones de estrellas del disco galáctico como una enorme banda nebulosa que se arquea a través del cielo. Esta es nuestra vista desde el interior de nuestra galaxia natal.

## 9.6

### Los brazos espirales de las galaxias están formados por acumulaciones de gas y polvo

Una teoría ampliamente aceptada sobre la formación de los brazos espirales es que son el resultado de una onda de densidad que se mueve a través del disco de una galaxia, causando que las estrellas, el gas y el polvo se amontonen de una manera similar a un atasco en una autopista muy transitada. Esto da lugar a regiones más densas en el disco que se ven como brazos espirales. Estas regiones de alta densidad contienen mucho gas y polvo, que son esenciales para la formación de nuevas estrellas. En consecuencia, los brazos espirales contienen muchas estrellas jóvenes y brillantes, evidenciando que estas regiones tienen una alta tasa de formación estelar.

## 9.7

### La mayoría de las galaxias tienen un agujero negro supermasivo en su centro

Una galaxia típica contiene un estimado de 100 millones de agujeros negros de masa estelar. Este tipo de agujeros negros se forman cuando una estrella masiva termina su vida en una explosión de supernova. Los agujeros negros supermasivos, por otro lado, se encuentran en el centro de la mayoría de las galaxias, y son los agujeros negros más grandes conocidos, con masas entre unos pocos millones y más de mil millones de masas solares. Nuestra Vía Láctea tiene un agujero negro supermasivo en su centro con una masa de aproximadamente cuatro millones de masas solares. La primera imagen directa de la silueta del horizonte de sucesos de un agujero negro, en el centro de la enorme galaxia elíptica M87, se logró en 2019 combinando datos de ocho radiotelescopios de todo el mundo.



## 9.8

### Las galaxias pueden estar extremadamente distantes unas de otras

El vecino más cercano de la Vía Láctea es la galaxia enana Canis Major, a una distancia de unos 25.000 años luz. Las galaxias distantes se muestran muy débiles y por lo tanto son difíciles de observar. Para obtener imágenes de las galaxias distantes, es necesario emplear grandes telescopios con un alto poder de resolución, y realizar largas exposiciones para recoger suficiente luz de estos objetos.

## 9.9

### Las galaxias forman cúmulos

Las galaxias no están dispersas al azar por todo el Universo. Más bien, la galaxia promedio es parte de un cúmulo de galaxias. Estos cúmulos consisten en cientos o incluso miles de galaxias unidas entre sí por su atracción gravitacional mutua. Los cúmulos de galaxias también se agrupan en estructuras más grandes llamadas supercúmulos. La Vía Láctea es parte de lo que se llama nuestro Grupo Local de galaxias, que incluye más de 54 galaxias. El Grupo Local es un miembro periférico del Cúmulo de Virgo, que es parte del Supercúmulo de Virgo, que a su vez es parte del Supercúmulo de Laniakea.

## 9.10

### Las galaxias interactúan entre sí a través de la gravedad

Las interacciones entre las galaxias influyen en su apariencia y evolución. En el pasado se creía que un tipo de galaxia podía evolucionar hacia un tipo diferente a lo largo de su vida, pero los conocimientos científicos actuales muestran que las interacciones gravitacionales son causantes de algunos tipos de galaxias. Por ejemplo, las galaxias elípticas pueden crearse mediante fusiones entre grandes galaxias predecesoras y, al mismo tiempo, estos acontecimientos pueden desencadenar un intenso brote de formación de estrellas en las galaxias que interactúan.

*Imagen compuesta en color de Centaurus A, que revela los laberintos y chorros que emanan del agujero negro central de la galaxia activa.*

*Créditos: ESO/WFI (óptico); MPIFR/ESO/APEX/A. Weiss et al. (Submilimétrico); NASA/CXC/CfA/R. Kraft et al. (Rayos X)*





10

*Puede que no  
estemos solos en  
el Universo*



*Una imagen tomada por  
la nave espacial Cassini,  
mostrando a la Tierra y la  
Luna vistas desde Saturno, a  
casi mil quinientos millones  
de kilómetros de distancia.*

*Créditos: NASA/JPL-Caltech/  
Space Science Institute*



## 10.1

---

### Se han detectado moléculas orgánicas fuera de la Tierra

Las moléculas orgánicas contienen carbono, el cual es un elemento básico para la vida tal y como la conocemos. Las observaciones del medio interestelar muestran que las moléculas orgánicas, como las precursoras de aminoácidos simples, están presentes en el espacio. También se han encontrado moléculas orgánicas, incluyendo un aminoácido, en cometas y meteoritos. Es muy probable que tales moléculas ya estuvieran presentes en el gas y el polvo a partir de los cuales se formó nuestro Sistema Solar.

## 10.2

---

### Se ha descubierto que los organismos vivos sobreviven en ambientes extremos en la Tierra

Aunque la mayor parte de la vida en la Tierra es sensible a las condiciones ambientales, se ha descubierto que algunos organismos, los extremófilos, sobreviven en condiciones extremas, lo que demuestra que la vida puede existir donde menos se espera. Estos organismos pueden ser muy resistentes a una amplia gama de temperaturas, presiones, pH y exposición a la radiación. Algunos de ellos viven en lugares como desiertos, polos, en lo profundo del océano, dentro de la corteza o incluso en volcanes. Uno de los organismos más resilientes que se conoce puede sobrevivir en condiciones de vacío. Estos hechos permiten expresar con cautela cierto optimismo en lo concerniente a la posibilidad de vida en otros planetas o lunas, que a menudo presentan condiciones ambientales duras comparadas con las de la Tierra.

## 10.3

---

### Indicios de trazas de agua líquida abren la posibilidad de vida primitiva en Marte

El agua líquida es un factor clave para el desarrollo de la vida tal como la conocemos. Por esta razón, la búsqueda de agua líquida en otros planetas y sus lunas ha sido un objetivo importante en la búsqueda de vida extraterrestre. A lo largo de los años, se han encontrado indicios de trazas de agua líquida en la superficie de Marte, lo que se suma al debate de larga data sobre su existencia en este planeta. Aunque la evidencia de la presencia actual de agua líquida en Marte es muy debatida y no por todos aceptada, los posibles vestigios apoyan la idea de que puede haber existido formas de vida simple. Si actualmente hay agua líquida en las profundidades de la superficie de Marte, existe el potencial para que exista vida.

## 10.4

---

### Algunos satélites naturales en el Sistema Solar parecen tener las condiciones para que exista vida

Entre las muchas lunas que orbitan los planetas gigantes del Sistema Solar, algunas comparten características con los planetas terrestres, como atmósferas densas y la actividad volcánica. Europa, una de las mayores lunas de Júpiter, tiene una superficie congelada que pudiera cubrir un océano líquido. Los científicos creen que este océano podría proporcionar las condiciones adecuadas para que existan formas de vida simple. Otro candidato para albergar vida simple es Titán, la luna más grande de Saturno. Titán es rico en compuestos orgánicos complejos, tiene una atmósfera densa, metano líquido en la superficie, y se ha formulado la hipótesis de que tiene un océano de agua subterránea.

## 10.5

---

### Hay numerosos planetas llamados exoplanetas, que orbitan alrededor de estrellas distintas al Sol

Desde el descubrimiento del primer planeta que orbita alrededor de otra estrella, se han detectado miles de planetas que orbitan alrededor de estrellas distintas al Sol, los llamados exoplanetas. El número de exoplanetas descubiertos continúa aumentando a un ritmo acelerado, lo cual nos permite caracterizar la población de exoplanetas en el vecindario solar.

## 10.6

---

### Los exoplanetas pueden ser muy diversos y a menudo se encuentran en sistemas

Los exoplanetas muestran una amplia gama de propiedades físicas y orbitales. Con masas que van desde la de Mercurio hasta varias veces la de Júpiter, los exoplanetas pueden tener un radio de cientos de kilómetros hasta varias veces el radio de Júpiter. Los períodos orbitales de los exoplanetas pueden ser tan cortos como unas pocas horas, y sus excentricidades pueden ser tan altas como las de un cometa del Sistema Solar. La mayoría de los exoplanetas tienden a encontrarse en sistemas, compuestos por varios planetas que orbitan la misma estrella.

## 10.7

---

### Estamos cerca de la detección de un planeta similar a la Tierra

Al aumentar la precisión de los métodos de detección, actualmente somos capaces de encontrar planetas con una masa tan baja como una masa terrestre y un tamaño de aproximadamente el radio de la Tierra. Nuestra búsqueda hasta ahora, aunque sea limitada, ha mostrado que el vecindario Solar está repleto de planetas. Algunos de estos planetas incluso orbitan dentro de la denominada zona habitable alrededor de la estrella anfitriona. Según la definición, un planeta que orbita dentro de la zona habitable recibe la cantidad justa de radiación de su estrella como para permitir la existencia de agua líquida en su superficie.

## 10.8

---

### Los científicos están buscando inteligencia extraterrestre

Una forma de buscar civilizaciones extraterrestres es buscar señales que no podrían ser producidas naturalmente por ningún fenómeno astronómico conocido. La búsqueda sistemática de tales señales se conoce como la Búsqueda de Inteligencia Extraterrestre (Search for ExtraTerrestrial Intelligence, SETI). Hasta ahora, no se han encontrado tales señales, pero SETI continúa escaneando el cielo, buscando cualquier pista de vida avanzada más allá de la Tierra.

11

*Debemos preservar la Tierra,  
nuestro único hogar en  
el Universo*

---

*Vista nocturna de la  
Tierra desde la Estación  
Espacial Internacional,  
donde es posible ver  
las luces artificiales de  
Corea del Sur y Japón.*

Créditos: NASA



## 11.1

### La contaminación lumínica afecta a los seres humanos, a muchos otros animales y a las plantas

Durante millones de años, la vida en la Tierra se ha desarrollado en ausencia de luz artificial, y la mayoría de las especies se han adaptado a las actividades diurnas o nocturnas. Desde la invención de la electricidad, los seres humanos han reducido cada vez más la oscuridad nocturna con luces artificiales, causando graves problemas de contaminación lumínica, lo cual tiene consecuencias para el medio ambiente de la Tierra, el comportamiento de los animales y la salud humana. La mayoría de las poblaciones animales dependen de los patrones diurnos y nocturnos. Desde la fisiología y la reproducción, hasta la orientación y la depredación, la luz artificial puede perturbar las poblaciones de animales salvajes en todo el mundo. También estamos perdiendo los cielos oscuros que nuestros antepasados han disfrutado. En muchos entornos urbanos y suburbanos, la Vía Láctea es ahora casi imposible de ver de noche.

## 11.2

### Hay muchos desechos creados por el hombre que orbitan la Tierra

Con el desarrollo de la tecnología espacial, la humanidad ha sido capaz de enviar numerosos objetos al espacio utilizando cohetes. Desde el comienzo de la era de exploración espacial, ha aumentado drásticamente la cantidad de escombros de origen humano, tales como trozos de cohete o satélites antiguos. Actualmente se estima que hay unos 500.000 trozos de desechos, también conocidos como basura espacial, que orbitan alrededor de la Tierra. Como la basura espacial viaja a altas velocidades, cualquier colisión con una nave espacial o un satélite puede causar graves daños. Esto es particularmente riesgoso para la Estación Espacial Internacional y otras naves espaciales tripuladas. La vigilancia de los escombros espaciales y el desarrollo de tecnologías para la recolección de satélites y desechos, es un área activa de investigación y desarrollo.

## 11.3

### Monitoreamos objetos espaciales potencialmente peligrosos

Durante las primeras etapas de la formación del Sistema Solar, los planetas recién formados fueron frecuentemente golpeados por cuerpos más pequeños, como los asteroides. Algunos cráteres en la superficie de la Tierra y todos los que se ven en la Luna son una prueba directa de que esos impactos pueden ser muy peligrosos. Aunque sigue siendo un tema de investigación y debate, se cree que la extinción de los dinosaurios no voladores y de un gran número de otras especies puede haberse debido a un gran impacto de un gran asteroide con la Tierra, hace aproximadamente 65 millones de años. Aunque la probabilidad de un impacto de esta magnitud es muy baja hoy en día, es importante monitorear todos los objetos celestes que puedan convertirse en una posible amenaza para la vida en la Tierra. En los próximos años, los programas de vigilancia de las agencias espaciales, los observatorios y otras instituciones deberían poder identificar todos los asteroides potencialmente peligrosos de un kilómetro o más de tamaño. Ninguno de los asteroides conocidos se encuentra actualmente en curso de colisión con la Tierra.

## 11.4

### Los seres humanos tienen un impacto significativo en el medio ambiente de la Tierra

La industrialización ha aportado a la sociedad numerosas ventajas, pero también ha causado varios problemas ambientales en la Tierra. A través de la deforestación y la contaminación de los ríos, los océanos y la atmósfera, estamos dañando las fuentes vitales de aire limpio, alimentos y agua que son necesarias para la vida en la Tierra. La humanidad ha causado la extinción de numerosas especies, y continúa excavando en busca de minerales y recursos energéticos en entornos amenazados. El cambio climático inducido por el hombre (calentamiento global) está afectando nuestro medio ambiente a gran escala, poniéndonos a nosotros y a muchas especies en peligro.

## 11.5

### El clima y la atmósfera están fuertemente afectados por la actividad humana

Sin su atmósfera, nuestro planeta sería un mundo helado con una temperatura media de  $-18^{\circ}\text{C}$ . Sin embargo, los gases de efecto invernadero de la atmósfera absorben parcialmente la radiación de calor que emana del suelo y la irradian hacia la superficie terrestre, lo que hace que la Tierra sea habitable. La actividad humana ha aumentado drásticamente los niveles de los gases de efecto invernadero en la atmósfera, creando un desbalance en el presupuesto energético de la Tierra. El aumento de estos gases hace que se atrape más energía en la Tierra, creando temperaturas medias más altas. La Tierra es incapaz de irradiar el exceso de energía a través de sus sistemas naturales, alterando así los patrones climáticos globales, que son sensibles a los desequilibrios energéticos.

## 11.6

### Es necesaria una perspectiva global para preservar nuestro planeta

Cada persona es un habitante de este planeta. Los conceptos de gestión y responsabilidad global pueden ayudarnos a entender que todos podemos actuar, como parte de un grupo o individualmente, para ayudar a resolver los problemas globales. Es necesario conservar la Tierra para nuestros descendientes. En la actualidad, la Tierra es el único planeta en el Universo que sabemos con certeza que puede sustentar la vida.

## 11.7

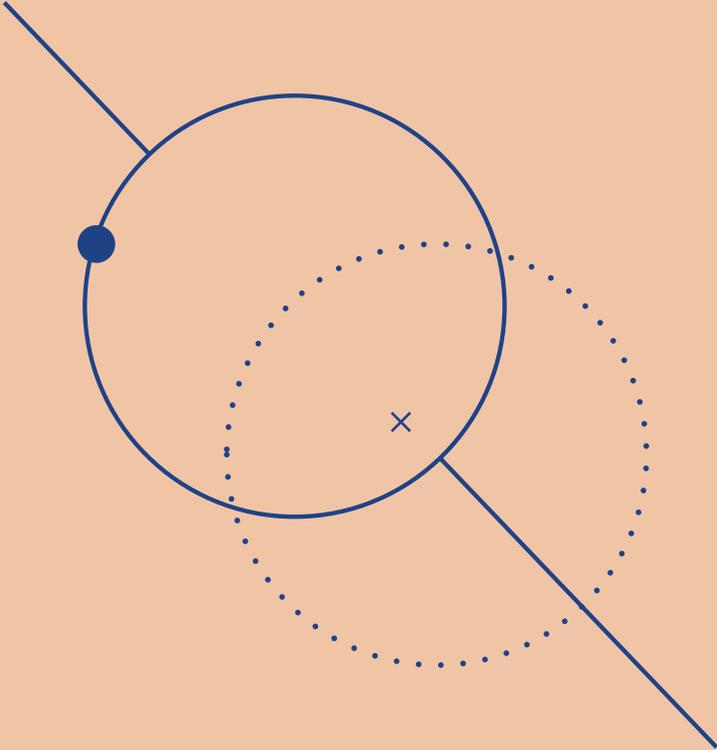
### La astronomía nos proporciona una perspectiva cosmológica única que refuerza nuestra unidad como ciudadanos de la Tierra

Todos los seres humanos en la Tierra viven bajo un mismo cielo, y comparten la visión de las profundidades del cosmos. Las imágenes del espacio que muestran la "Canica Azul" del planeta Tierra nos han proporcionado una comprensión más profunda de nuestra nave espacial común. Visto desde fuera, las fronteras entre los países individuales desaparecen por completo. Las imágenes de naves espaciales como Voyager 2 y Cassini nos ayudan a comprender que el "pálido punto azul" es una simple mota en la inmensidad del Universo.

x

x

x



x

x

x

x

x

x





Universiteit  
Leiden  
The Netherlands

ia   
instituto de astrofísica  
e ciências do espaço

