

Grans idees de l'astronomia

Una proposta per a l'afabetització astronòmica



Grans idees de l'astronomia

Una proposta per a l'alfabetització astronòmica

Autors:

João Retre (Instituto de Astrofísica e Ciências do Espaço, Portugal), Pedro Russo (Leiden University, Països Baixos), Hyunju Lee (Smithsonian Science Education Center, EUA), Eduardo Penteado (Museu de astronomia e Ciências Afins, Brasil), Saeed Salimpour (Deakin University, Austràlia), Michael Fitzgerald (Edith Cowan University, Austràlia), Jaya Ramchandani (The Story Of Foundation), Markus Pössel (Haus der Astronomie, Alemanya), Cecilia Scorza (Ludwig Maximilians Universität de Munich & Haus der Astronomie, Alemanya), Lars Lindberg Christensen (European Southern Observatory), Erik Arends (Leiden University, Països Baixos), Stephen Pompea (NOAO, EUA) and Wouter Schrier (Leiden University, Països Baixos)

Disseny i maquetació: Aneta Margraf-Druc (ScienceNow/Leiden University)

2a Edició, Juny 2020

Llicència: Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)



Traducció: Xavier Berenguer i Josep M. Oliver (Agrupació Astronòmica de Sabadell)

Agraïments:

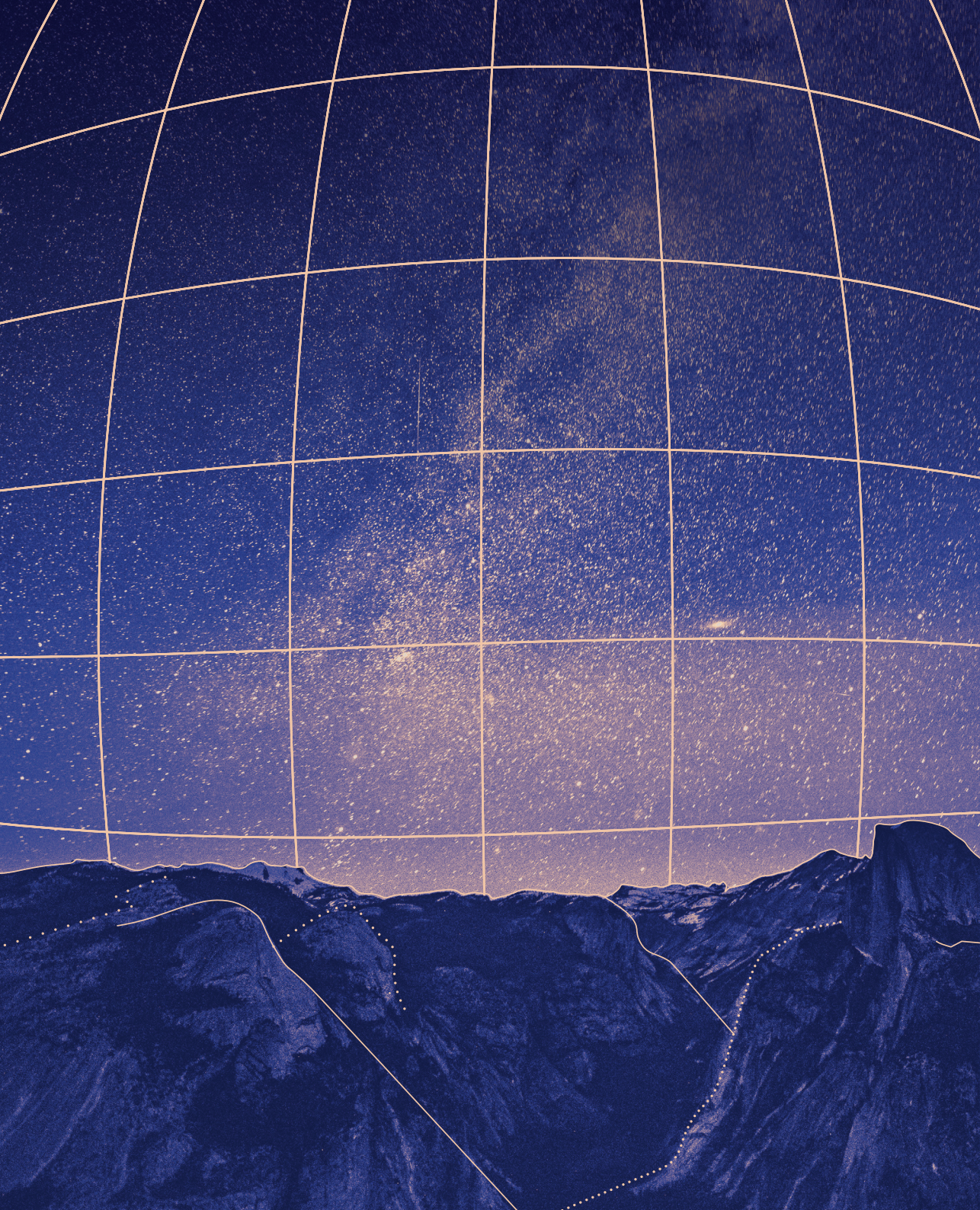
Ismael Tereno (Instituto de Astrofísica e Ciências do Espaço), Pedro Figueira (European Southern Observatory), Sérgio Pereira (Instituto de Astrofísica e Ciências do Espaço), Monica Bobra (Stanford University), Piero Bienvenuti (Università di Padova) i Roy Bishop (Acadia University) pels seus comentaris per aquesta versió. João Retrê agraeix el suport financer de la Fundação para a Ciência e a Tecnologia mitjançant els ajuts IA2017-09-BGCT y UID/FIS/04434 /2013. Pedro Russo agraeix el suport del NAOJ Sokendai project "Astronomy Literacy" coordinat pel Prof. Dr. Hidehiko Agata. NOAO està gestionada per la Association of Universities for Research in Astronomy (AURA), Inc. segons un acord de cooperació amb la National Science Foundation. També volem agrair a la comunitat que ha revisat aquest document durant la fase inicial.

Alfabetització astronòmica (Astronomy Literacy) és un projecte del Leiden Observatory, Leiden University (Països Baixos) i l'Instituto de Astrofísica e Ciências do Espaço (Portugal) en el marc de la IAU Commission C1: Working Group on Literacy and Curriculum Development.

IAU Commission C1 Astronomy Education and Development: President: Paulo Bretones

IAU C1 Working Group Astronomy Literacy and Curriculum Dev.: Director: Robert Hollow





Index

06	Grans idees
08	Introducció
10	Una breu introducció a algunes de les Grans idees de l'astronomia <i>per Pedro Russo</i>
12	Sumari de les Grans idees
18	L'astronomia és una de les ciències més antigues de la història de la humanitat
22	Alguns fenòmens astronòmics formen part de la nostra vida quotidiana
26	El firmament nocturn és ric i dinàmic
30	L'astronomia és una ciència que estudia els objectes celestes i els fenòmens de l'Univers
34	L'astronomia estimula el desenvolupament tecnològic i, alhora, se'n beneficia
38	La cosmologia és la ciència de l'exploració de l'Univers en el seu conjunt
44	Vivim en un petit planeta del Sistema Solar
50	Som pols d'estrelles
56	Hi ha centenars de milers de milions de galàxies a l'Univers
62	Potser no estem sols a l'Univers
66	Hem de preservar la Terra, la nostra única casa a l'Univers

Grans idees

1

L'astronomia és una de les ciències més antigues de la història de la humanitat

2

Alguns fenòmens astronòmics formen part de la nostra vida

3

El firmament nocturn és ric i dinàmic

4

L'astronomia és una ciència que estudia els objectes celestes i els fenòmens de l'Univers

5

L'astronomia estimula el desenvolupament tecnològic i, alhora, se'n beneficia

6

La cosmologia és la ciència de l'exploració de l'Univers en el seu conjunt

7

La cosmologia és la ciència de l'exploració de l'Univers en el seu conjunt

8

Som pols d'estrelles

9

Hi ha centenars de milers de milions de galàxies a l'Univers

10

Potser no estem sols a l'Univers

11

Hem de preservar la Terra, la nostra única casa a l'Univers

Introducció

Astronomia per a tots

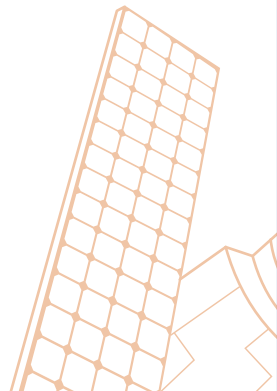
Aquest és el lema de l'Office for Astronomy Outreach de la Unió Astronòmica Internacional (UAI). Si "tots" és un terme molt ampli per definir la societat i les seves comunitats, l'astronomia, com a cos de coneixement, també és igualment vast.

Aquest projecte, "Grans idees de l'astronomia", explora la qüestió: "Què han de saber els habitants del planeta Terra sobre astronomia?". "Grans idees de l'astronomia" presenta onze grans idees i les amplia mitjançant subidees i informació addicional.

Aquest document s'adreça a educadors i astrònoms i està dissenyat com una guia per decidir quins temes abordar en la docència, les sessions formatives, les activitats de divulgació o el desenvolupament de recursos.

Tanmateix, aquest ha de ser un document dinàmic; agraïm els comentaris i les observacions de la comunitat astronòmica, de la comunitat d'educació en astronomia i de la comunitat d'educació científica.

Com a resultat de diverses discussions, reunions, tallers, presentacions i teleconferències, aquest document planteja "una proposta d'alfabetització astronòmica", un conjunt de "Grans idees" amb els conceptes principals de l'astronomia que tots els habitants del planeta haurien de saber.



Fases posteriors

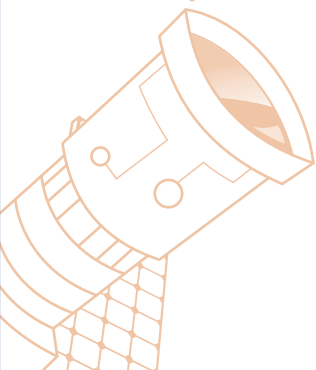
El següent pas és el desenvolupament posterior d'aquest text i verificar sistemàticament que representa una instantània el més precisa possible d'allò que els experts entenen per alfabetització astronòmica.

Amb aquest objectiu, continuarem treballant en:

- × *Desenvolupament d'un currículum alineat amb aqu-*
- × *Desenvolupament d'eines d'avaluació*
- × *Realització de guies de materials educatius*
- × *Realització de materials d'actualització professional*
- × *Producció d'informes per a l'aplicació de polítiques*

El Pla Estratègic de la Unió Astronòmica Internacional 2020-2030 situa l'educació astronòmica en el centre de l'esforç astronòmic mundial.

La UAI té l'objectiu de fomentar l'ús de l'astronomia en l'ensenyament i l'educació en l'àmbit escolar. Esperem que aquest document contribueixi a aquest objectiu i constitueixi una referència en el procés d'alfabetització astronòmica.



Una breu introducció a algunes de les grans idees de l'astronomia¹

per Pedro Russo

L'astronomia és la ciència que estudia l'origen i l'evolució de l'Univers i de tot allò que conté. Aquesta definició sembla simple, però l'Univers és un lloc vast, ple d'objectes celestes fascinants de totes les mides, formes i antiguitats, així com de fenòmens sorprenents.

1. Publicat originalment a la revista portuguesa Visão, gener de 2012

Com a part de la història cultural i científica de la humanitat, l'astronomia ha revolucionat repetidament la manera com pensem, la manera com veiem el nostre món i el nostre lloc en l'Univers. En el passat, els avenços en astronomia han tingut aplicacions pràctiques com ara la mesura del temps o la navegació pels oceans. Actualment, els resultats del desenvolupament científic i tecnològic en el camp astronòmic i espacial han esdevingut essencials en la nostra vida quotidiana: ordinadors, satèl·lits de comunicació, sistemes de navegació, panells solars, internet sense fil i moltes altres aplicacions tecnològiques.

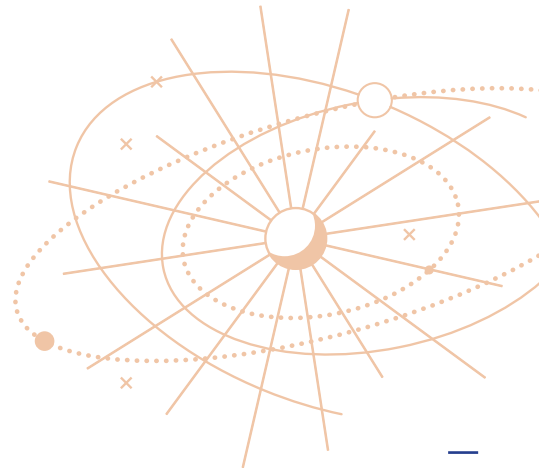
Com qualsevol altra ciència, l'astronomia avança per acumulació de coneixements. De vegades, el progrés regular es veu accelerat per avenços sobtats en la tecnologia i en el pensament, com ara la idea revolucionària de la visió heliocèntrica del Sistema Solar i el model del Big Bang. El model del Big Bang explica la història de l'evolució de l'Univers. Fa uns 14 mil milions d'anys, el nounat "Univers" era infinitament petit i calent. Una expansió sobtada i contínua i un refredament posterior van conduir a la formació dels components bàsics de les partícules atòmiques i subatòmiques, cosa que va permetre la formació de galàxies, estrelles, planetes i, finalment, la vida. Basant-se en les dades disponibles fins ara, els astrònoms creuen que l'expansió de l'Univers està impulsada principalment per una forma d'energia misteriosa anomenada "energia fosca".

Si mirem el firmament en una nit fosca, veiem una banda de llum que s'estén d'horitzó a horitzó. Aquesta banda i totes les estrelles que s'hi veuen són part de la galàxia en què vivim, la Via Làctia. Sovint les galàxies s'agreguen en filaments i grups: grups d'illes envoltades pels immensos mars buits. La nostra galàxia conté centenars de milers de milions d'estrelles; el Sol n'és només una, tan anònima com un gra de sorra en una platja.

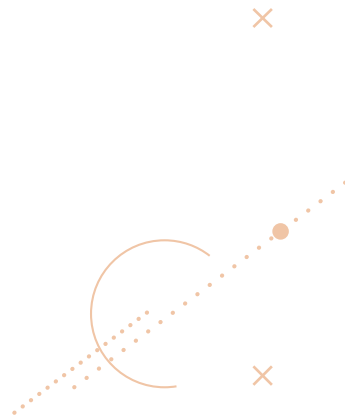
El Sol, tot i que és una estrella relativament mitjana, gaudia, fins fa poc, d'un estatus especial per a nosaltres els humans: era l'única estrella que sabíem que estava envoltada de planetes. Avui sabem que hi ha milers d'estrelles amb planetes, anomenats exoplanetes. S'estima que més del 20% de les estrelles que s'assemblen al Sol estan orbitades per planetes, alguns similars a la Terra. Molts d'aquests planetes són petits i orbiten l'estrella a una distància còmoda, cosa que permet l'existència d'aigua líquida i, per tant, potser de vida.

Però, de què està fet l'Univers? Les coses que podem veure —planetes, estrelles i galàxies— estan fetes de matèria com protons, electrons, neutrons i quarks (els científics en diuen "matèria bariònica"), però hi ha alguna cosa més, una cosa vasta, estranya i misteriosa, i ningú no sap què és. S'esperaria que les estrelles orbiten el centre de les galàxies, de manera similar als planetes que orbiten el Sol en el Sistema Solar. Els planetes més propers al Sol es mouen més ràpidament que els planetes més distants. Això, però, no passa: les estrelles orbiten, aproximadament, amb la mateixa velocitat al voltant del centre de la galàxia. Hi deu haver alguna cosa que no podem observar i que manté les estrelles orbitant d'aquesta manera. Els astrònoms en diuen "matèria fosca". S'estima que només som capaços de veure una petita fracció de tot el que hi ha en l'Univers. Tota la resta no es comprèn bé i encara no s'ha observat directament!

L'astronomia implica no només l'avenç científic o les aplicacions tecnològiques: ens brinda l'oportunitat d'ampliar els nostres limitats horitzons, descobrir la bellesa i la grandesa de l'Univers i del nostre lloc en el seu si. Aquesta visió, coneguda com a la "perspectiva còsmica", és una de les contribucions més importants de l'astronomia a la humanitat.



Sumari de les Grans idees



1

L'astronomia és una de les ciències més antigues de la història de la humanitat

- 1.1 Comprendre el firmament i els moviments del Sol i dels planetes va ser una de les primeres temptatives de comprendre el món natural
- 1.2 Les cultures antigues imaginaven figures relacionant estrelles del firmament nocturn
- 1.3 L'astronomia ha inspirat i està representada en l'art i la cultura de nombroses civilitzacions
- 1.4 L'astronomia va proporcionar importants coneixements sobre la mesura del temps, essencials per a l'agricultura antiga
- 1.5 En el passat, l'astronomia era important per als navegants
- 1.6 Pel fet de fer servir el mètode científic, l'astronomia és diferent de l'astrologia
- 1.7 Per a la majoria de cultures antigues, la Terra era el centre de l'Univers
- 1.8 La revolució copernicana, que va durar un segle, va fer que el Sol substituís la Terra com a centre acceptat del Sistema Solar
- 1.9 Fa més de 400 anys, els astrònoms van fer les primeres observacions sistemàtiques dels astres amb l'ajut d'un telescopi
- 1.10 El planeta Terra té una forma aproximadament esfèrica i ha estat representat durant segles de moltes maneres

2

Alguns fenòmens astronòmics formen part de la nostra vida

- 2.1 Experimentem el dia i la nit a causa de la rotació de la Terra al voltant del seu eix
- 2.2 Experimentem les estacions a causa de la inclinació de l'eix de rotació de la Terra a mesura que la Terra es mou al voltant del Sol en un any
- 2.3 Veiem diferents fases de la Lluna al llarg d'un cicle lunar
- 2.4 Els eclipsis es produeixen a causa d'alineacions especials del Sol, la Terra i la Lluna
- 2.5 Les mareas a la Terra són el resultat de la gravetat del Sol i de la Lluna
- 2.6 La llum del Sol és essencial per a la majoria de les formes de vida que hi ha a la Terra
- 2.7 Les partícules del Sol viatgen a la Terra i provoquen les aurores
- 2.8 La tecnologia desenvolupada per a la investigació astronòmica forma part de la nostra vida quotidiana

3

El firmament nocturn és ric i dinàmic

- 3.1 En una nit serena i fosca podem veure milers d'estrelles amb els nostres ulls
- 3.2 El firmament nocturn ens pot ajudar a orientar-nos en la Terra i a navegar
- 3.3 L'eix de rotació de la Terra es balanceja (moviment de precessió) durant milers d'anys
- 3.4 Quan el Sol es troba per damunt de l'horitzó, només uns quants cossos celestes són prou brillants per ser vistos a ull nu.
- 3.5 Els objectes celestes surten per l'est i es ponen per l'oest a causa de la rotació de la Terra
- 3.6 Les estrelles centellegen a causa de la nostra atmosfera
- 3.7 Cada dia penetren en l'atmosfera terrestre milions de meteoroides

4

L'astronomia és una ciència que estudia els objectes celestes i els fenòmens de l'Univers

- 4.1 La llum (també coneguda com a radiació electromagnètica) és la principal font d'informació per a la investigació astronòmica
- 4.2 A gran escala, la gravetat és la interacció dominant en l'Univers
- 4.3 Les ones gravitacionals i les partícules subatòmiques ofereixen nous mètodes d'estudiar l'Univers
- 4.4 L'astronomia fa servir les dades obtingudes a partir d'observacions i de simulacions per tal de modelar fenòmens astronòmics en el marc de les teories actuals
- 4.5 La recerca astronòmica combina coneixements de diferents camps, com ara la física, les matemàtiques, la química, la geologia i la biologia
- 4.6 L'astronomia es divideix en diverses especialitats
- 4.7 Les escales de temps i de distància en astronomia són molt més grans que les que fem servir en la nostra vida diària
- 4.8 L'espectroscòpia és una tècnica important que permet estudiar l'Univers a distància

5

L'astronomia estimula el desenvolupament tecnològic i, alhora, se'n beneficia

- 5.1 Els telescopis i els detectors són crucials per a l'estudi de l'astronomia
- 5.2 Alguns telescopis poden treballar de manera coordinada i actuar com un únic gran telescopi
- 5.3 Hi ha observatoris astronòmics a la Terra i a l'espai
- 5.4 Els observatoris astronòmics terrestres es troben sovint en regions remotes d'arreu el món
- 5.5 L'astronomia actual forma part de la "Big Science" i del "Big Data"
- 5.6 Les simulacions complexes i l'enorme quantitat de dades en astronomia requereixen el desenvolupament de potents superordinadors
- 5.7 L'astronomia és una ciència global, amb grups de treball internacionals, en què les dades i les publicacions es comparteixen lliurement
- 5.8 S'han llançat nombroses sondes espacials per estudiar el Sistema Solar

6

La cosmologia és la ciència de l'exploració de l'Univers en el seu conjunt

- 6.1 L'Univers té més de 13.000 milions d'anys
- 6.2 A gran escala, l'Univers és homogeni i isòtrop
- 6.3 Sempre observem el passat
- 6.4 Només podem observar directament una fracció de l'Univers
- 6.5 L'Univers es compon principalment d'energia fosca i de matèria fosca
- 6.6 L'Univers s'expandeix a un ritme accelerat
- 6.7 L'expansió de l'espai provoca que la llum de les galàxies llunyanes es desplaci cap el vermell
- 6.8 Les lleis naturals (per exemple, la gravetat) que estudiem a la Terra semblen funcionar de la mateixa manera en tot l'Univers
- 6.9 L'estructura a gran escala de l'Univers està formada per filaments, làmines i buits
- 6.10 La radiació còsmica de fons ens permet explorar l'Univers primordial
- 6.11 L'evolució de l'Univers es pot explicar amb el model del Big Bang

7

Vivim en un petit planeta del Sistema Solar

- 7.1 El Sistema Solar es va formar fa uns 4.600 milions d'anys
- 7.2 El Sistema Solar està format pel Sol, els planetes, els planetes nans, els satèl·lits, els cometes, els asteroides i els meteoroides
- 7.3 En el Sistema Solar hi ha vuit planetes
- 7.4 En el Sistema Solar hi ha diversos planetes nans
- 7.5 Els planetes es divideixen en planetes terrestres (rocosos) i gegants gasosos
- 7.6 Alguns planetes tenen desenes de satèl·lits naturals
- 7.7 La Terra és el tercer planeta que orbita al voltant del Sol i té un satèl·lit natural, la Lluna
- 7.8 Hi ha milions d'asteroides; són els vestigis dels primers estadis de la formació del Sistema Solar
- 7.9 Un cometa és un objecte gelat que adquireix una cua quan és escalfat pel Sol
- 7.10 El límit del Sistema Solar s'anomena heliopausa



Som pols d'estrelles

- 8.1 Una estrella és un cos que emet llum pròpia i genera la seva energia mitjançant reaccions nuclears internes
- 8.2 Les estrelles es formen a partir de núvols massius de pols i de gas
- 8.3 L'estrella més propera a la Terra és el Sol
- 8.4 El Sol és una estrella dinàmica
- 8.5 El color d'una estrella indica la seva temperatura superficial
- 8.6 L'espai que hi ha entre les estrelles pot estar en gran part buit o bé pot contenir núvols de gas que poden donar lloc a noves estrelles
- 8.7 El cicle vital d'una estrella està determinat en gran part per la seva massa inicial
- 8.8 Les estrelles massives poden acabar el seu cicle vital com a forats negres estel·lars
- 8.9 Les noves estrelles i els seus sistemes planetaris neixen de la matèria deixada en aquesta regió per les estrelles precedents
- 8.10 El cos humà està format per àtoms d'estrelles precedents



Hi ha centenars de milers de milions de galàxies en l'Univers

- 9.1 Una galàxia és un enorme sistema d'estrelles, de pols i de gas
- 9.2 Les galàxies semblen contenir grans quantitats de matèria fosca
- 9.3 La formació de la galàxia és un procés evolutiu
- 9.4 Hi ha tres tipus principals de galàxies: espirals, el·líptiques i irregulars
- 9.5 Vivim en una galàxia espiral anomenada Via Làctia
- 9.6 Els braços espirals de les galàxies es creen per acumulacions de gas i de pols
- 9.7 La major part de les galàxies tenen un forat negre supermassiu en el centre
- 9.8 Les galàxies poden estar extremadament allunyades les unes de les altres
- 9.9 Les galàxies formen cúmuls
- 9.10 Les galàxies interactuen les unes amb les altres per gravetat

10

Potser no estem sols a l'Univers

- 10.1 Fora de la Terra s'hi han detectat molècules orgàniques
- 10.2 S'han descobert organismes vius que sobreviuen en entorns terrestres extrems
- 10.3 Les traces potencials d'aigua líquida obren la possibilitat d'una vida primitiva a Mart
- 10.4 Alguns satèl·lits naturals del Sistema Solar semblen tenir les condicions perquè hi hagi vida
- 10.5 Hi ha nombrosos planetes, anomenats exoplanetes, que orbiten estrelles diferents del Sol
- 10.6 Els exoplanetes poden ser molt diversos; sovint es troben en sistemes
- 10.7 En l'actualitat, estem a prop de detectar un planeta semblant a la Terra
- 10.8 Els científics busquen senyals d'intel·ligència extraterrestre

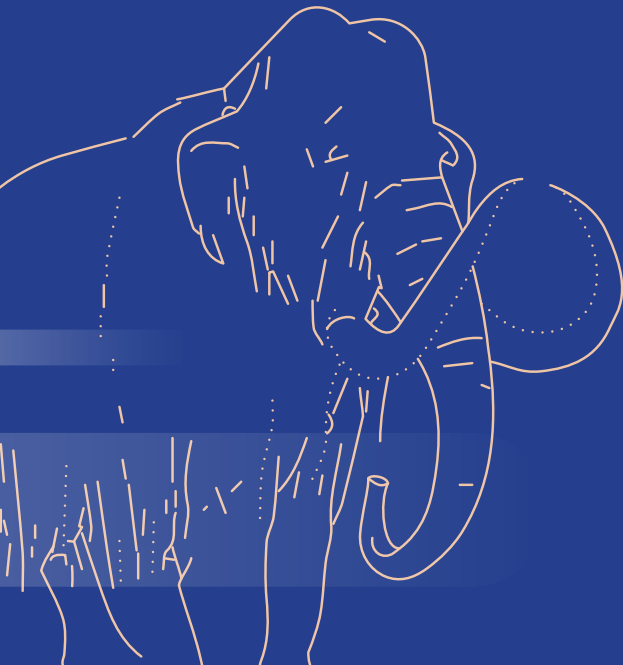
11

Hem de preservar la Terra, la nostra única casa a l'Univers

- 11.1 La contaminació lumínica afecta els humans, molts altres animals i les plantes
- 11.2 Hi ha una gran quantitat de deixalles d'origen humà que orbiten la Terra
- 11.3 Avui dia es vigilen els objectes espacials potencialment perillosos
- 11.4 La humanitat té un impacte significatiu sobre el medi ambient de la Terra
- 11.5 L'activitat humana afecta notablement el clima i l'atmosfera
- 11.6 Per preservar el nostre planeta cal una perspectiva global
- 11.7 L'astronomia proporciona una perspectiva cosmològica única que reforça la nostra unitat com a habitants de la Terra

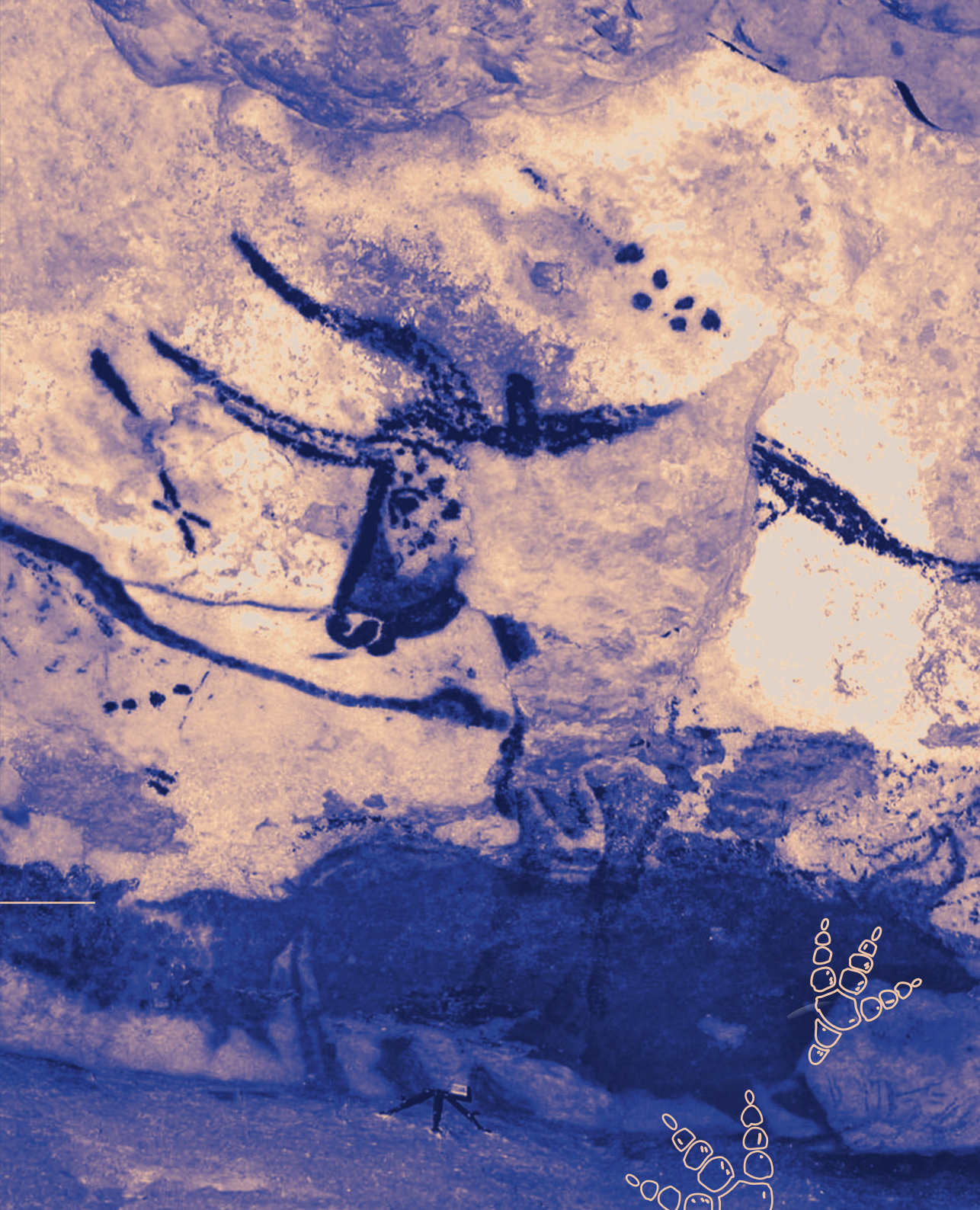
1

L'astronomia és una de les ciències més antigues de la història de la humanitat



Pintures rupestres prehistòriques de Lascaux: sobre l'esquena dels urcs hi ha una colla de punts que sembla l'asterisme de les Plèiades.

Crèdits: Ministère de la Culture/Centre National de la Préhistoire/Norbert Aujoulat



1.1 **Comprendre el firmament i els moviments del Sol i dels planetes va ser una de les primeres temptatives de comprendre el món natural**

Els primers enregistraments d'observacions astronòmiques provenen de dibuixos i d'artefactes creats per persones prehistòriques, i documenten allò que veien en el firmament. En les cultures antigues, l'astronomia estava relacionada amb les creences religioses i mitològiques. Els fenòmens astronòmics es feien servir per a mesurar el temps i crear calendaris, cosa que permetia a aquestes cultures planificar els esdeveniments diaris i estacionals.

1.2 **Les cultures antigues imaginaven figures relacionant estrelles del firmament nocturn**

Les figures del firmament nocturn formades per la connexió d'estrelles mitjançant línies imaginàries s'anomenen constel·lacions. Les cultures antigues van descriure les primeres constel·lacions. Aquests grups recognoscibles d'estrelles sovint es relacionaven amb la mitologia de cultures com ara la grega, la maia, la dels nadius americans i la xinesa. En l'astronomia moderna, les constel·lacions són regions del firmament ben definides que combinen tant les constel·lacions antigues com les definides als segles XV, XVI, XVII i XVIII. Algunes cultures, com ara els indígenes australians i els pobles nadius d'Amèrica del Sud, també identificaven figures fent servir les siluetes fosques de la banda lluminosa de la Via Làctia.

1.3 **L'astronomia ha inspirat i està representada en l'art i la cultura de nombroses civilitzacions**

Al llarg dels segles, els artistes, els poetes, els escriptors i molts pensadors creatius han fet servir el cel nocturn com a font d'inspiració i/o com a tema de la seva obra. Els temes astronòmics es veuen representats, per exemple, en les pintures, les escultures, la música, les pel·lícules i la literatura. Aquestes obres inclouen els motius observables que es veuen de nit per a comunicar directament o indirecta l'essència, la bellesa i el misteri del firmament nocturn. La universalitat de l'art i la seva connexió íntima amb la cultura, poden ser, per tant, un mitjà poderós per tal que la gent apreïi no només la bellesa innata dels objectes i fenòmens celestes, sinó també el coneixement que n'hem adquirit. Això augmenta l'interès mundial per l'astronomia i afavoreix una comprensió intercultural global amb la idea prevalent d'existir sota un mateix firmament.

1.4 **L'astronomia va proporcionar importants coneixements sobre la mesura del temps, essencials per a l'agricultura antiga**

En moltes cultures antigues, l'astronomia es va desenvolupar per incrementar la precisió dels calendaris agrícoles. Els egipcis, per exemple, van crear un calendari basat en les observacions de l'estrella Sírius, cosa que servia per a determinar la inundació anual del riu Nil.

1.5 **En el passat, l'astronomia era important per als navegants**

Moltes civilitzacions van utilitzar la posició de les estrelles i dels altres objectes celestes per a navegar per la terra, els mars i els oceans. Avui dia, la navegació celeste encara s'ensenya.

1.6

Pel fet de fer servir el mètode científic, l'astronomia és diferent de l'astrologia

Fins a l'època premoderna, la distinció entre astronomia i astrologia era vaga. Avui dia, l'astronomia i l'astrologia es distingeixen clarament l'una de l'altra. L'astronomia és una ciència i l'astrologia no. L'astrologia fa servir les posicions dels objectes celestes per predir esdeveniments futurs. Tanmateix, s'han fet nombrosos estudis que demostren que l'astrologia no és pas exacta en les seves prediccions i no té cap fonament científic.

1.7

Per a la majoria de cultures antigues, la Terra era el centre de l'Univers

La majoria de cultures antigues, amb les notables excepcions d'alguns astrònoms grecs del segle III abans de la nostra era, creien que la Terra era el centre de l'Univers. Aquesta visió geocèntrica va durar més de dos mil·lennis en les cultures europees i asiàtiques fins a l'anomenada revolució copernicana que va tenir lloc al segle XVI. Els astrònoms moderns han establert que l'Univers no sembla tenir un centre específic.

1.8

La revolució copernicana, que va durar un segle, va fer que el Sol substituís la Terra com a centre acceptat del Sistema Solar

Al segle XVI, Copèrnic va proposar la teoria heliocèntrica en què el Sol era el centre de l'Univers i la Terra es movia al seu voltant. Tot i que ara sabem que el Sol no és el centre de l'Univers, sí que és el centre del Sistema Solar. En la seva època, la teoria de l'heliocentrisme de Copèrnic va ser revolucionària, i va contribuir al desenvolupament de l'astronomia moderna.

1.9

Fa més de 400 anys, els astrònoms van fer les primeres observacions sistemàtiques dels astres amb l'ajut d'un telescopi

Tot i que no havia inventat el telescopi, Galileu va ser el primer a fer-lo servir amb finalitats científiques. Les seves millores al telescopi refractor el van portar a descobriments com ara les fases de Venus i els quatre satèl·lits més grans de Júpiter, encara coneguts avui dia com a satèl·lits galileans. Els seus descobriments van proporcionar proves convincents de la visió heliocèntrica de l'Univers.

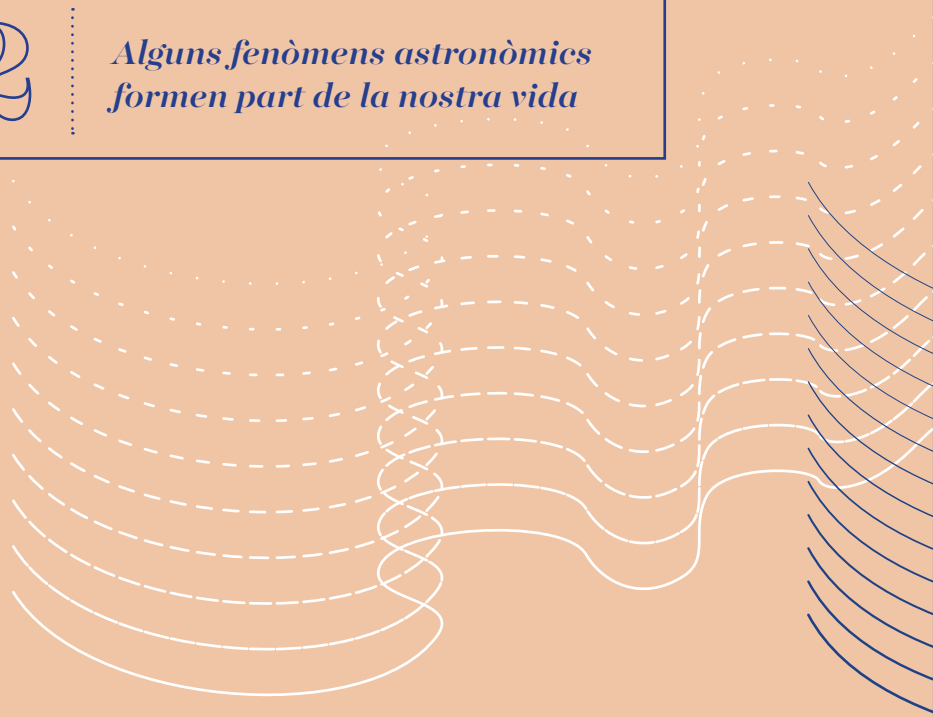
1.10

El planeta Terra té una forma aproximadament esfèrica i ha estat representat durant segles de moltes maneres

Algunes cultures antigues en moltes regions del món descrivien la Terra com un pla o un disc com a part de la seva concepció de l'Univers. La idea que la Terra és una esfera existeix des de fa uns mil·lennis, ha format part important de les visions del món de moltes civilitzacions i ha esdevingut el paradigma dominant des de fa més de mil anys. Hi ha nombroses maneres empíriques de provar que la Terra té una forma aproximadament esfèrica (tècnicament es coneix com a un esferoide oblat). Un dels primers mètodes matemàtics per a calcular-ne les dimensions va ser obra d'Eratòstenes. Va calcular la circumferència de la Terra després de mesurar la longitud de les ombres projectades per uns pals clavats en diferents llocs de l'antic Egipte (segle III a.n.e.).

2

*Alguns fenòmens astronòmics
formen part de la nostra vida*



*L'impressionant espectacle
de llum en el cel nocturn:
aurores boreals a Alaska.*

*Crèdit: Jean Beaufort
(Public Domain Pictures)*



2.1

Experimentem el dia i la nit a causa de la rotació de la Terra al voltant del seu eix

El costat de la Terra que mira al Sol experimenta el dia, mentre que el costat oposat experimenta la nit. El temps que triga la Terra a girar al voltant del seu eix de manera que el Sol torni a la mateixa posició en el firmament defineix la durada del dia (solar), que de mitjana és de 24 hores.

2.2

Experimentem les estacions a causa de la inclinació de l'eix de rotació de la Terra a mesura que la Terra es mou al voltant del Sol en un any

L'eix de rotació de la Terra està inclinat $23,4^\circ$ en relació amb la línia perpendicular al seu pla orbital al voltant del Sol. Per això, durant una part de l'òrbita de la Terra al voltant del Sol, l'hemisferi nord o sud està inclinat cap al Sol mentre que l'altre se n'allunya. En el primer es viu l'estiu, ja que la llum solar cau més directament sobre la seva superfície i els dies són més llargs perquè el Sol arriba a una altitud més elevada en el cel. Mentrestant, l'hemisferi inclinat lluny del Sol experimenta l'hivern perquè la llum solar cau en un angle molt inclinat respecte a la superfície de la Terra, cosa que fa que s'estengui sobre una àrea més gran. Els dies es fan més curts perquè el Sol es troba a una altitud més baixa en el firmament.

2.3

Veiem diferents fases de la Lluna al llarg d'un cicle lunar

A mesura que la Lluna orbita la Terra, la seva posició relativa respecte al Sol i la Terra canvia. La regió de la superfície de la Lluna il·luminada per la llum solar canvia i produeix les diferents fases que veiem des de la Terra: Lluna nova, quart creixent, Lluna plena i quart minvant, que trigen 29,53 dies de Lluna plena a Lluna plena. Si bé les fases de la Lluna són (més o menys) les mateixes per a qualsevol observador de la Terra, l'orientació de la Lluna variarà en funció de l'hemisferi de l'observador. Per exemple, alguns observadors poden veure la fase creixent de la Lluna oberta a l'esquerra mentre que altres, observant la mateixa fase però des d'una ubicació diferent, poden veure-la oberta a la dreta.

2.4

Els eclipsis es produeixen a causa d'alineacions especials del Sol, la Terra i la Lluna

De tant en tant, quan la Lluna passa exactament entre el Sol i la Terra, la Lluna bloqueja la llum del Sol i projecta una ombra sobre la Terra i crea un eclipsi solar. De tant en tant, la Terra es pot trobar exactament entre el Sol i la Lluna. Aleshores, la Terra projecta una ombra sobre la Lluna, n'enfosqueix la superfície i crea un eclipsi lunar. Els eclipsis poden ser parcials, quan només s'eclipsa una fracció de l'objecte, o totals, quan s'eclipsa tot l'objecte. Un eclipsi de Lluna només es produeix quan la Lluna és plena i, en conseqüència, només es pot observar de nit. Des d'un lloc qualsevol de la Terra, és més probable veure un eclipsi lunar que un eclipsi solar. Els eclipsis de Lluna duren períodes de temps més llargs que els eclipsis de Sol.

2.5

Les marees a la Terra són el resultat de la gravetat del Sol i de la Lluna

La Lluna i, en menor mesura, el Sol, són la causa de les marees a la Terra. Tant en el costat més proper a la Lluna i més proper al Sol, com allunyada d'ells, la superfície terrestre s'infla una mica, especialment els oceans. A mesura que la Terra gira, aquests bonyes arriben a les costes, fent que hi augmenti el nivell de l'aigua. Quan el Sol, la Terra i la Lluna estan gairebé en línia recta (durant la Lluna plena i la Lluna nova), experimentem "marees de primavera", més altes. En canvi, quan el Sol i la Lluna estan en angle recte l'un amb l'altre respecte a la Terra (durant el primer i tercer quart de la Lluna), experimentem "marees mortes", més baixes.

2.6

La llum del Sol és essencial per a la majoria de les formes de vida que hi ha a la Terra

El Sol és la principal font d'energia utilitzada per les formes de vida que hi ha a la Terra. Per exemple, les plantes fan la fotosíntesi mitjançant la llum solar, cosa que permet el seu creixement i, en conseqüència, la producció d'oxigen molecular. Aquest oxigen és usat pels animals per respirar. Es creu que la devastació del medi ambient global quan un asteroide va xocar amb la Terra va ser la causa de l'extinció dels dinosaures no voladors i de la majoria d'espècies de la Terra. L'explosió resultant va transportar grans quantitats de pols a l'atmosfera, va bloquejar la llum del Sol i va provocar un llarg hivern. La llum solar també afecta la nostra salut física i mental. Quan s'exposa a la llum solar, la nostra pell produeix vitamina D, que juga un paper important en els processos bioquímics del nostre cos. Alguns estudis mostren una relació entre la depressió humana i la manca d'exposició a la llum solar.

2.7

Les partícules del Sol viatgen a la Terra i provoquen les aurores

Durant una erupció solar, les partícules carregades (principalment electrons i protons) del Sol travessen els 150 milions de quilòmetres que separen el Sol de la Terra. S'enganxen en el camp magnètic terrestre, flueixen cap als pols magnètics i interactuen amb les partícules de l'atmosfera. La més ràpida d'aquestes partícules pot viatjar del Sol a la Terra en aproximadament mitja hora; la més lenta triga uns cinc dies. De vegades, aquestes tempestes de partícules pertorben el camp magnètic de la Terra i malmeten satèl·lits i xarxes elèctriques. Sovint, les partícules del Sol interaccionen amb l'oxigen i el nitrogen de l'atmosfera terrestre. Aquesta interacció dona lloc a les aurores: uns maravillosos espectacles que il·luminen el cel nocturn al voltant dels pols magnètics dels hemisferis nord (aurora boreal) i sud (aurora austral).

2.8

La tecnologia desenvolupada per a la investigació astronòmica forma part de la nostra vida quotidiana

Les eines i els mètodes analítics emprats per estudiar les dades astronòmiques s'han aplicat a la indústria, les ciències mèdiques i la tecnologia que fem servir cada dia. Els detectors desenvolupats originalment per a la investigació astronòmica també es fan servir en càmeres digitals, com ara les dels telèfons mòbils. El vidre especial desenvolupat per als telescopis astronòmics es fa servir en la fabricació de pantalles LCD i xips d'ordinador, així com en fogons de ceràmica. La transferència de coneixements entre l'astronomia i la medicina ha contribuït al desenvolupament de la ressonància magnètica (RM) i la tomografia computada (TC), entre altres invents.

3

*El firmament nocturn
és ric i dinàmic*



En aquesta fotografia de llarga exposició, presa a l'altiplà de Chajnantor, als Andes xilens, s'hi veuen els rastres d'estrelles que resulten de la rotació de la Terra.

Crèdits: S. Otarola/ESO



3.1

En una nit serena i fosca podem veure milers d'estrelles amb els nostres ulls

Quan mirem el firmament nocturn, lluny de la contaminació lumínica de les ciutats i durant una Lluna nova o quan la Lluna no hi és, a simple vista podem observar unes 4000 estrelles. Totes les estrelles que veiem a ull nu pertanyen a la nostra galàxia. Tot i que hi ha milers de milions d'estrelles a altres galàxies i bilions de galàxies en l'Univers observable, aquestes estrelles es troben massa allunyades i, per tant, són massa tènues perquè els nostres ulls les puguin distingir com a punts de llum individuals. Depenent de la nostra ubicació a la Terra i del moment de les observacions, també es veuen a ull nu els cinc planetes més brillants del Sistema Solar, la banda de la Vía Làctia, dues galàxies satèl·lit de la Vía Làctia (els Núvols Gran i Petit de Magalhães) i la galàxia d'Andròmeda (una galàxia espiral enorme).

3.2

El firmament nocturn ens pot ajudar a orientar-nos en la Terra i a navegar

Mirar el firmament nocturn ens permet trobar les direccions cardinals. A l'hemisferi nord, la manera més fàcil de trobar el nord és buscar l'estrella Polar, també coneguda com a estrella polar, que és molt a prop del pol nord celeste. La manera més fàcil de trobar l'estrella Polar és a través de les constel·lacions de l'Ossa Major i l'Ossa Menor. A l'hemisferi sud, l'estrella Sigma Octantis, que és l'estrella més propera al pol sud celeste, no és veu fàcilment. Tanmateix, un mètode ràpid per trobar el sud és utilitzar la constel·lació Cruix i les dues estrelles més brillants de la constel·lació Centaurus.

3.3

L'eix de rotació de la Terra es balanceja (moviment de precessió) durant milers d'anys

A mesura que la Terra gira al voltant del seu eix, es mou com una baldufa. El sentit del seu eix de rotació canvia en una precessió lenta amb un període d'uns 26.000 anys. Aquest moviment fa que l'eix apunti en diferents direccions al llarg del temps i, com a conseqüència, els pols nord i sud celestes canvien lentament de posició. Per exemple, l'estrella Polaris deixarà finalment d'indicar la direcció nord, tot i que una altra estrella ho podria fer, segons la direcció de l'eix de la Terra en aquell moment. Actualment, no hi ha cap estrella brillant a prop del pol sud celeste, però en el futur tindrem una autèntica "estrella del sud"!

3.4

Quan el Sol es troba per damunt de l'horitzó, només uns quants cossos celestes són prou brillants per ser vistos a ull nu.

La majoria dels objectes del firmament nocturn són massa tènues per ser observats contra el cel brillant il·luminat pel Sol. Un efecte semblant succeeix de nit a les ciutats on, a causa de la contaminació lumínica, només podem veure una petita part de les estrelles a causa de la il·luminació del cel per la il·luminació artificial. Quan el Sol es troba per damunt de l'horitzó, només uns quants cossos celestes són prou brillants per ser vistos a ull nu. Segons la seva fase, és possible veure la Lluna durant el dia. En determinades hores, Venus es pot observar al matí ("estrella del matí"), al vespre ("estrella del vespre") i, si saps on mirar, també al migdia. Durant el dia es pot veure, molt rarament, un cometa especialment brillant.

3.5

Els objectes celestes surten per l'est i es ponen per l'oest a causa de la rotació de la Terra

A causa de la rotació de la Terra al voltant del seu eix d'oest a est, un observador a la superfície veu que tot el firmament es mou en la direcció oposada, d'est a oest, aparentment girant al voltant del nostre planeta. Aquest moviment aparent del firmament al voltant de la Terra s'anomena moviment diürn. És la raó per la qual veiem els cossos celestes sortir per damunt de la meitat oriental de l'horitzó i pondre's per sota de la meitat occidental.

3.6

Les estrelles centellegen a causa de la nostra atmosfera

A mesura que la llum d'una estrella penetra en l'atmosfera i travessa les seves diferents capes, canvia constantment de direcció a causa de la refracció canviant de les capes amb temperatures i densitats diferents. En conseqüència, la brillantor de la llum d'una estrella i la direcció des de la qual ens arriba aquí a la Terra canvien constantment. Per aquest motiu, per a un observador de la Terra les estrelles semblen titil·lar. Per als planetes, l'efecte és molt menys aparent (o perceptible). La raó és que els planetes, en realitat, es veuen com a petits discs (cosa fàcilment verificable amb uns prismàtics, per exemple). Les estrelles, en canvi, apareixen com uns punts de llum diminuts, i com que tota la llum prové d'un sol punt, és molt susceptible als canvis de refracció.

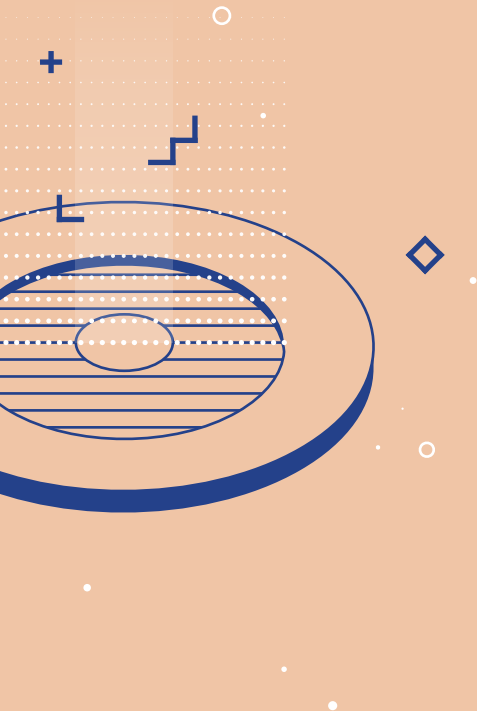
3.7

Cada dia penetren en l'atmosfera terrestre milions de meteoroides

Un meteoroides és un petit objecte rocós o metàl·lic que va de la grandària d'un gra de sorra fins a un metre. Quan entra en l'atmosfera de la Terra s'escalfa per la pressió d'arrossegament i crea una ratlla de llum en el cel nocturn, un fenomen conegut com a estrella fugaç, o pluja d'estrelles, si n'hi ha moltes. Quan un meteor sobreviu al pas per l'atmosfera i aterra, s'anomena meteorit. Tot i que milions de meteoroides penetren diàriament en l'atmosfera, la majoria es cremen i es transformen en gas i pols abans d'arribar a terra.

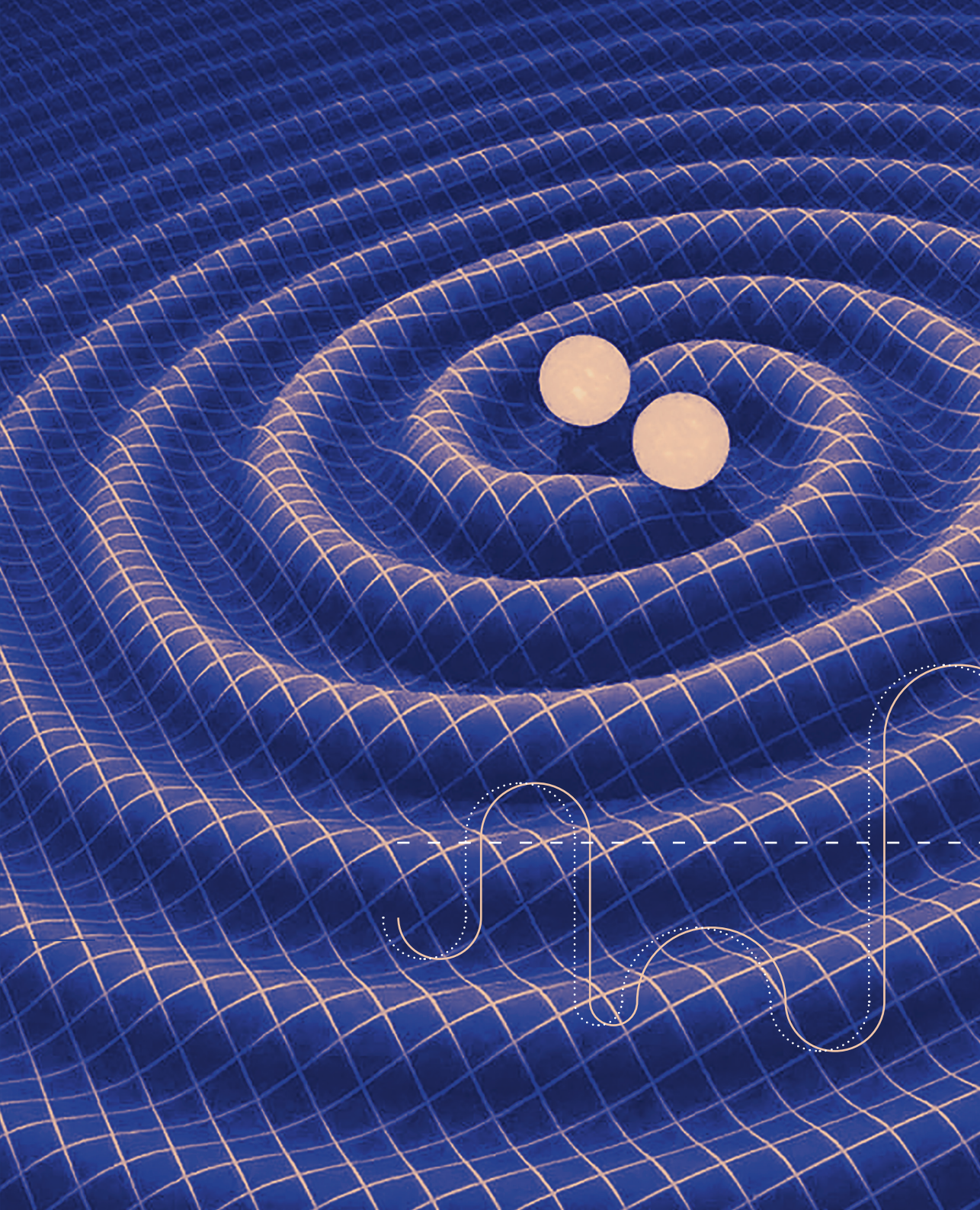


L'astronomia és una ciència que estudia els objectes celestes i els fenòmens de l'Univers



Il·lustració de les ones gravitacionals generades per estrelles de neutrons binàries que giren en espiral les unes amb les altres abans de fusionar-se.

Crèdits: R. Hurt/Caltech-JPL



4.1

La llum (també coneguda com a radiació electromagnètica) és la principal font d'informació per a la investigació astronòmica

Atès que la majoria dels objectes celestes es troben massa lluny per viatjar-hi, hem de confiar en la radiació electromagnètica (llum) d'aquests objectes per estudiar-los. Les diferents longituds d'ona de l'espectre electromagnètic proporcionen informació sobre diversos mecanismes dels fenòmens astronòmics i sobre la naturalesa dels objectes celestes. En l'astronomia moderna, l'estudi de l'Univers es realitza principalment utilitzant tot l'espectre electromagnètic: ràdio, microones, infrarojos, visibles, ultraviolats, raigs X i raigs gamma. Tot i que en la parla comuna la llum només es refereix a la llum visible, en astronomia la llum es pot referir a tot l'espectre electromagnètic.

4.2

A gran escala, la gravetat és la interacció dominant en l'Univers

De mitjana, els objectes astronòmics no porten càrrega elèctrica neta. La manera principal en què aquests objectes interactuen a llargues distàncies és la força de la gravetat. La gravetat és el que fa que els planetes orbitin el Sol, les estrelles orbitin els centres de les galàxies i el plasma calent de les estrelles tingui forma esfèrica. La majoria de fenòmens astronòmics es poden descriure mitjançant la llei de la gravitació universal de Newton, però en les situacions més extremes, per obtenir-ne una descripció precisa es fa necessària la teoria general de la relativitat d'Einstein.

4.3

Les ones gravitacionals i les partícules subatòmiques ofereixen nous mètodes d'estudiar l'Univers

La teoria general de la relativitat va predir l'existència d'ones gravitacionals —ondulacions en l'espai-temps— a principis del segle XX. La primera detecció directa confirmada es va aconseguir el 2015, des d'aleshores, els científics les poden fer servir com una nova finestra per estudiar l'Univers. Les ones gravitacionals es generen per intenses interaccions gravitacionals, com la fusió de dos forats negres massius o estrelles de neutrons. Els astrònoms també detecten diversos tipus de partícules subatòmiques, com ara els neutrins, els electrons o els protons, per conèixer l'interior del Sol i alguns dels processos més energètics del Cosmos.

4.4

L'astronomia fa servir les dades obtingudes a partir d'observacions i de simulacions per tal de modelar fenòmens astronòmics en el marc de les teories actuals

Els astrònoms creen models matemàtics dels objectes astronòmics, dels fenòmens associats i de la seva evolució. L'estructura d'aquests models és definida per les teories fonamentals de la física i de la química. Alguns models consisteixen en relacions matemàtiques elementals; els més complexos fan ús de simulacions numèriques. Les simulacions més sofisticades s'executen en alguns dels superordinadors més grans del món. Les dades aconseguides amb els telescopis i els detectors s'usen per verificar i perfeccionar els models. La interacció entre l'evidència observacional i els models teòrics és un aspecte important dels descobriments.

4.5

La recerca astronòmica combina coneixements de diferents camps, com ara la física, les matemàtiques, la química, la geologia i la biologia

La recerca astronòmica professional combina coneixements de les matemàtiques, la física, la química, l'enginyeria, les ciències de la computació, així com d'altres camps. Aquesta visió àmplia s'ha demostrat essencial per revelar i modelar la naturalesa dels objectes i dels fenòmens astronòmics. Per exemple, per entendre les reaccions nuclears que tenen lloc dins de les estrelles, els científics necessiten la física nuclear; per detectar els elements resultants en les atmosferes de les estrelles, necessiten la química. L'enginyeria és essencial per a la fabricació de telescopis i detectors, i el desenvolupament de programari específic és fonamental per analitzar les dades que proporcionen aquests instruments.

4.6

L'astronomia es divideix en diverses especialitats

Com que una bona descripció dels objectes i dels fenòmens astronòmics requereix un bon coneixement d'altres camps científics, l'astronomia moderna es divideix habitualment en especialitats segons els principals temes abordats. Algunes d'aquestes especialitats comprenen: l'astrobiologia, la cosmologia, l'astronomia observacional, l'astroquímica i les ciències planetàries. Els astrònoms també poden triar una especialitat per estudiar un tipus d'objecte en particular, com ara les nanes blanques. Donat l'important paper que la física juga dins de l'astronomia, els termes "astrofísica" i "astronomia" es fan servir indistintament.

4.7

Les escales de temps i de distància en astronomia són molt més grans que les que fem servir en la nostra vida diària

La Lluna és l'objecte celeste més proper a la Terra, és a uns 384.400 quilòmetres. El Sol té un diàmetre d'uns 1,39 milions de quilòmetres, una massa d'uns 1989 mil bilions de bilions de quilograms, i és l'estrella més propera a la Terra a uns 150 milions de quilòmetres (la distància amb què es defineix la Unitat Astronòmica, au). L'estrella més propera al Sol és Proxima Centauri que és a uns 4,25 anys llum de distància. Un any llum és la distància que recorre la llum (en el buit) en un any, que és una mica més de 9 bilions de quilòmetres. La nostra galàxia té un diàmetre de 100.000-120.000 anys llum; les altres galàxies poden trobar-se a milers de milions d'anys llum de distància. Les unitats de mesura en astronomia són molt més grans del que podem imaginar. Les escales del temps astronòmic són llargues; les edats de milions o milers de milions d'anys són habituals.

4.8

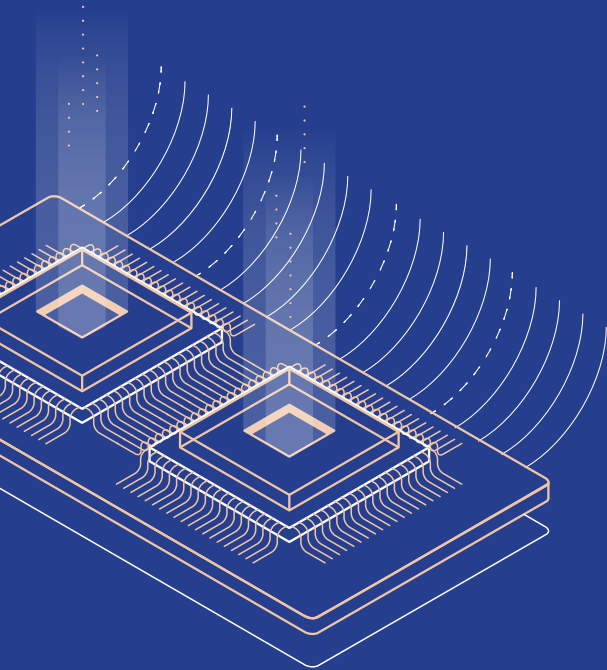
L'espectroscòpia és una tècnica important que permet estudiar l'Univers a distància

Estudiant l'espectre dels objectes astronòmics se'n poden revelar diverses característiques: la descomposició semblant a un arc iris de la seva llum en miríades de colors diferents, cadascun caracteritzat per la longitud d'ona de la llum. Analitzant la llum procedent d'aquests objectes, els astrònoms poden determinar-ne detalls com ara la composició elemental, la temperatura, la pressió, el camp magnètic, entre altres propietats.



5

L'astronomia estimula el desenvolupament tecnològic i, alhora, se'n beneficia



Dos dels quatre telescopis de 8 metres que formen el Very Large Telescope (VLT), situats als Andes xilens.

Crèdits: ESO/P. Horálek



5.1 Els telescopis i els detectors són crucials per a l'estudi de l'astronomia

Com que les ones electromagnètiques són la principal font d'informació de l'astronomia, els telescopis i els detectors juguen un paper important a l'hora de recollir i d'analitzar aquestes ones. Els telescopis més grans recullen més llum, cosa que permet als astrònoms identificar i analitzar objectes molt tènues. Els telescopis més grans també tenen més poder de resolució, cosa que permet estudiar els objectes amb més detall. Tot i que les primeres observacions astronòmiques es van realitzar mirant directament a través d'un telescopi, els detectors actuals permeten documentar les observacions, a moltes longituds d'ona diferents, de manera objectiva.

5.2 Alguns telescopis poden treballar de manera coordinada i actuar com un únic gran telescopi

Mitjançant una tècnica anomenada interferometria, els astrònoms poden enllaçar molts telescopis i fer-los funcionar com si fos un únic gran telescopi. La resolució d'aquests instruments combinats és la d'un únic telescopi amb un diàmetre igual a la màxima distància entre dos qualsevol dels telescopis enllaçats més petits. Això permet als astrònoms veure detalls més petits i més fins en els objectes astronòmics, així com distingir entre objectes separats, com ara una estrella i el seu sistema planetari.

5.3 Hi ha observatoris astronòmics a la Terra i a l'espai

L'atmosfera terrestre absorbeix la radiació de gran part de l'espectre electromagnètic. És transparent a la llum visible, a certes radiacions ultraviolades i infraroges i a la ràdio d'ona curta, però la resta és sobretot opaca. La majoria de bandes ultraviolades i moltes de llum infraroja, així com els raigs X, no poden penetrar en l'atmosfera. Per aquest motiu, la majoria de telescopis que recullen llum diferent de la visible, la ràdio i un nombre menor d'altres bandes de longitud d'ona, s'han de situar a l'espai. Tot i que des de la superfície es pot observar la llum visible, la turbulència de l'atmosfera terrestre afecta la qualitat de les imatges, per la qual cosa també hi ha telescopis òptics instal·lats a l'espai.

5.4 Els observatoris astronòmics terrestres es troben sovint en regions remotes d'arreu el món

Hi ha pocs llocs a la Terra amb les condicions d'observació perfectes que es donen a altituds elevades, l'absència de contaminació lumínica i la transparència de l'atmosfera en determinades longituds d'ona. Aquests llocs solen ser hostils, difícils d'accedir i, normalment, es troben molt allunyats dels principals assentaments humans. Els astrònoms viatgen a aquests llocs per a fer-hi les seves observacions, o bé permeten que experts locals operin els telescopis, o bé fan ús de telescopis robotitzats que funcionen de forma remota.

5.5

L'astronomia actual forma part de la "Big Science" i del "Big Data"

Les exploracions astronòmiques han començat a produir grans quantitats de dades, i això augmentarà molt en els anys vinents. Aquesta evolució s'anomena "astronomia del Big Data", on l'objectiu és trobar noves maneres d'emmagatzemar, lliurar i analitzar aquestes dades. Això ha portat al desenvolupament de diversos projectes de ciència ciutadana per aprofitar l'aguda capacitat de reconeixement de formes dels humans. D'altra banda, els telescopis i els instruments moderns són cars i la seva construcció requereix una sèrie d'habilitats tècniques. En l'era de la "Big Science", aquests instruments solen ser fabricats per organitzacions internacionals o consorcis on participen instituts astronòmics de diferents països.

5.6

Les simulacions complexes i l'enorme quantitat de dades en astronomia requereixen el desenvolupament de potents superordinadors

El processament de les grans quantitats de dades procedents tant de simulacions com d'observacions requereix ordinadors capaços de realitzar simulacions complexes en un curt període de temps. Els superordinadors actuals poden fer càlculs de l'ordre d'un parell de centenars de quadrilions cada segon. Aquests superordinadors permeten als astrònoms crear universos simulats i comparar-los amb les observacions obtingudes a gran escala.

5.7

L'astronomia és una ciència global, amb grups de treball internacionals, en què les dades i les publicacions es comparteixen lliurement

Les dades disponibles de la majoria dels observatoris professionals estan disponibles públicament. Al llarg de la seva carrera, els astrònoms normalment treballaran en diferents països. Sovint es duen a terme grans projectes astronòmics, des de la construcció de telescopis i d'instruments fins a campanyes d'observació coordinades, en col·laboració entre investigadors i instituts de diferents països. L'astronomia és global i internacional. Tots som membres de la tripulació de la "nau espacial Terra", sota un mateix firmament, que explora el Cosmos.

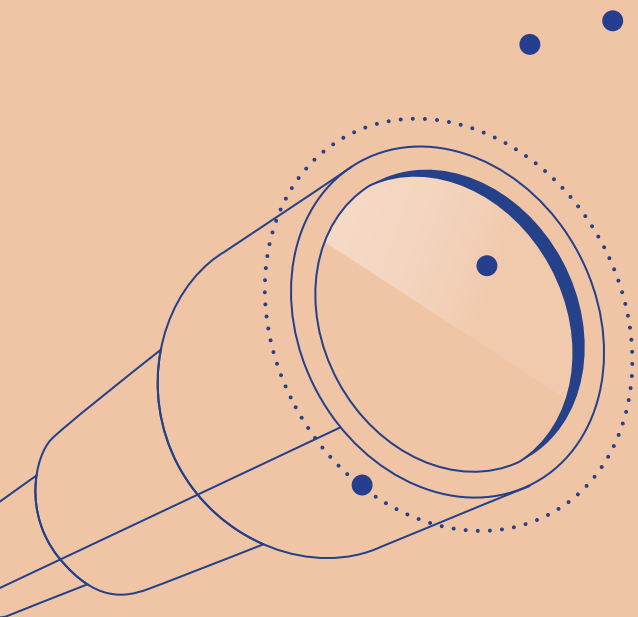
5.8

S'han llançat nombroses sondes espacials per estudiar el Sistema Solar

Per explorar i aprendre més sobre el nostre lloc en l'Univers, hem estat enviant sondes robòtiques per tot el Sistema Solar. Algunes d'aquestes sondes orbiten planetes, satèl·lits o, fins i tot, asteroides, mentre que altres han aterrat en aquests objectes. Entre els llocs del Sistema Solar visitats (aterratge, òrbita o sobrevol) per sondes robòtiques hi ha tots els planetes, els planetes nans Plutó i Ceres, la Lluna i alguns satèl·lits de Júpiter i de Saturn, així com cometes i asteroides.

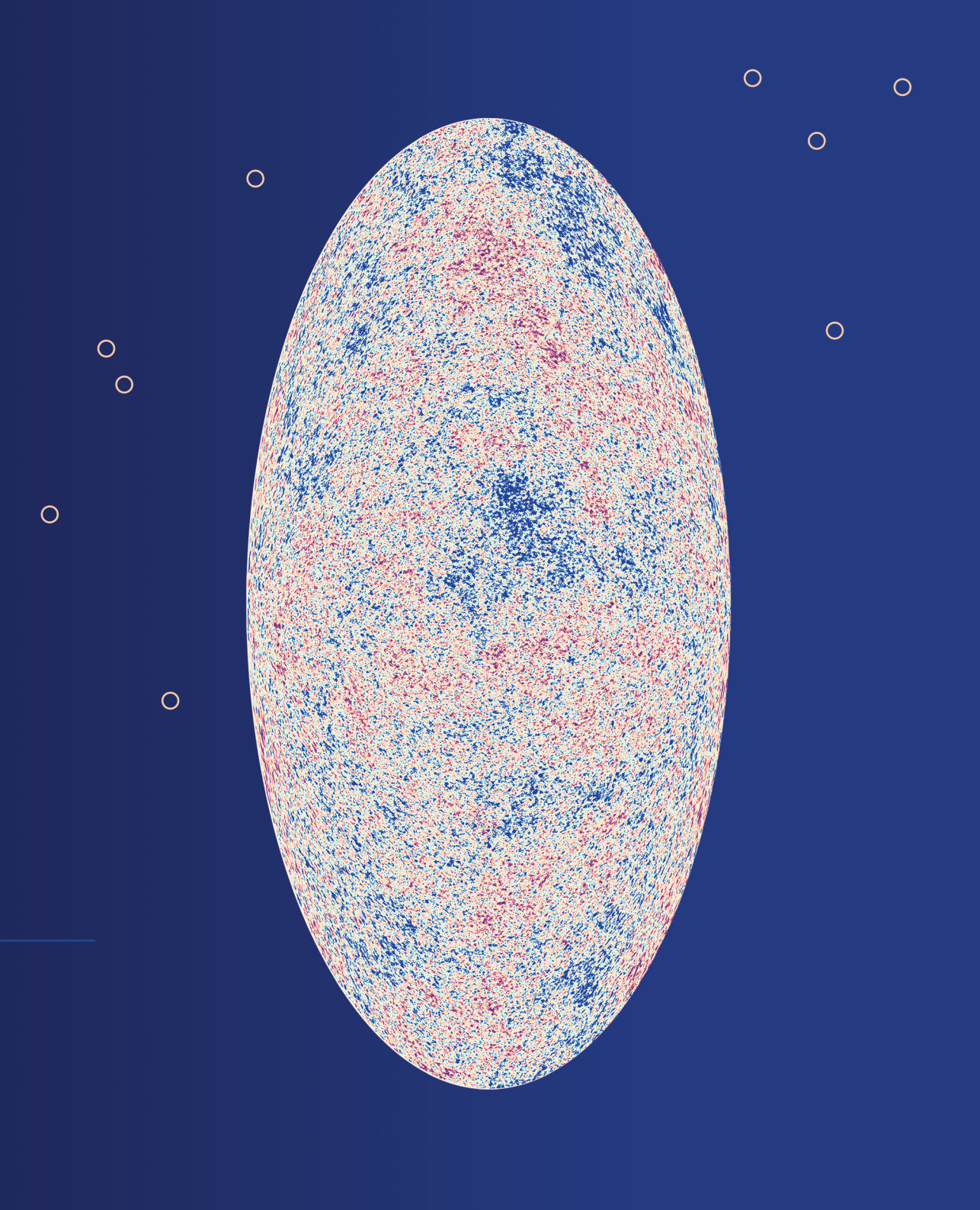
6

*La cosmologia és la ciència de
l'exploració de l'Univers
en el seu conjunt*



*Una imatge de la radiació
còsmica de fons (CMB),
l'eco de quan l'Univers
tenia 380.000 anys.*

*Crèdits: ESA i Planck
Collaboration*



6.1 L'Univers té més de 13.000 milions d'anys

L'edat estimada de l'Univers, basada en observacions modernes i en models cosmològics avançats de la seva evolució inicial, és d'uns 13.800 milions d'anys. La cosmologia és un camp de recerca que estudia l'evolució i l'estructura de l'Univers.

6.2 A gran escala, l'Univers és homogeni i isotrop

A les escales més grans (aproximadament superiors a 300 milions d'anys llum), la matèria de l'Univers sembla estar distribuïda uniformement. A causa d'aquesta densitat i estructura gairebé uniformes, l'Univers sembla gairebé igual en qualsevol lloc (homogeni) i en totes les direccions (isòtrop).

6.3 Sempre observem el passat

A causa de la velocitat finita de la llum, mai no veiem els objectes com són ara, sinó sempre com eren en el passat. Només podem veure el Sol tal com era fa uns vuit minuts, ja que la llum del Sol triga uns vuit minuts a arribar-nos. Veiem la galàxia d'Andròmeda tal com era fa uns 2,5 milions d'anys, perquè la llum de la galàxia triga això a arribar a la Terra. D'aquesta manera, els astrònoms observen sempre el passat, fins i tot, de fa 13.800 milions d'anys. L'observació d'objectes astronòmics a diverses distàncies ens proporciona així una secció transversal de la història còsmica. Com que, de mitjana, l'Univers té les mateixes propietats a tot arreu, aquesta secció transversal proporciona pistes valuoses sobre la nostra pròpia història.

6.4 Només podem observar directament una fracció de l'Univers

Com que la llum viatja per l'espai a una velocitat finita, hi ha regions llunyanes de l'Univers que encara no podem observar. La raó d'això és simplement que la llum d'aquestes regions no ha tingut prou temps per arribar als nostres detectors a la Terra. Només podem veure objectes que es troben dins d'una regió determinada que s'anomena "Univers observable", que inclou tots els objectes la llum dels quals ha tingut el temps necessari per arribar-nos. Són especialment interessants els objectes molt llunyans prop de la frontera d'aquesta regió. Apareixen amb la forma que tenien quan l'Univers tot just començava.

6.5 L'Univers es compon principalment d'energia fosca i de matèria fosca

Les estrelles, l'aire que respirem, els nostres cossos i tot el que veiem al nostre voltant està constituït per àtoms, que al seu torn estan formats per protons, neutrons i electrons. Aquesta anomenada matèria bariònica és amb la qual interactuem en la nostra vida quotidiana. L'evidència observacional mostra que tan sols representa al voltant del 5% de la composició total de l'Univers. De fet, l'Univers es compon principalment d'una forma desconeguda d'energia anomenada energia fosca (al voltant del 68%) i una forma inusual de matèria anomenada matèria fosca (al voltant del 27%). La naturalesa de les anomenades energia fosca i matèria fosca és una àrea activa d'investigació, sobretot mitjançant les observacions de la seva influència sobre la matèria bariònica.

6.6 L'Univers s'expandeix a un ritme accelerat

L'evidència observacional mostra que l'Univers s'està expandint a un ritme accelerat, cosa que s'atribueix a l'energia fosca. A mesura que l'Univers s'expandeix de manera sistemàtica a grans escales, els cúmuls de galàxies s'allunyen els uns dels altres. En els models moderns, totes les distàncies entre els cúmuls de galàxies creixen en proporció com el mateix factor d'escala de l'Univers. Les dades mostren que, com més lluny de nosaltres es troba una galàxia, més ràpid se n'allunya (Llei de Hubble-Lemaître). Els observadors extraterrestres hipotètics d'altres galàxies descobririen el mateix. Els sistemes enllaçats, com ara els cúmuls de galàxies i els grups de galàxies enllaçades per la seva pròpia gravetat, o les galàxies mateixes, no es veuen afectats per l'expansió còsmica. En l'interior dels cúmuls i dels grups, les galàxies individuals poden estar orbitant entre si, o poden trobar-se en una trajectòria de col·lisió entre elles. Això últim és cert per a la Via Làctia i la galàxia d'Andròmeda.

6.7 L'expansió de l'espai provoca que la llum de les galàxies llunyanes es desplaçi cap el vermell

L'expansió còsmica influeix en les propietats de la llum en l'Univers. La llum que ens arriba des de les galàxies llunyanes es desplaça cada cop més cap el vermell en distàncies més grans. Aquest desplaçament cosmològic al vermell es pot entendre directament en termes de longituds d'ona de la llum que augmenten (estirant-se a longituds d'ona més llargues) amb el factor d'escala còsmica. Per aquest motiu les galàxies llunyanes només es poden observar en les bandes d'infrarojos o de ràdio, i la radiació còsmica de fons ens arriba, sobretot, en la banda de les microones.

6.8 Les lleis naturals (per exemple, la gravetat) que estudiem a la Terra semblen funcionar de la mateixa manera en tot l'Univers

S'han fet moltes proves per comprovar si les lleis de la física, com les lleis que regeixen la gravetat, la termodinàmica i l'electromagnetisme, són les mateixes en la Terra i en l'Univers llunyà. Fins ara, totes aquestes proves indiquen que les lleis fonamentals de la física s'apliquen en tot l'Univers conegut.

6.9

L'estructura a gran escala de l'Univers està formada per filaments, làmines i buits

Els estudis dels grans desplaçaments cap el vermell de l'Univers han revelat que, a grans escales de l'ordre d'uns centenars de milions d'anys llum, l'Univers sembla una xarxa tridimensional de filaments i buits, una esponja que els astrònoms anomenen "xarxa còsmica". Els filaments i les làmines contenen milions de galàxies. A gran escala, aquestes estructures s'estenen al llarg de centenars de milions d'anys llum i solen fer desenes de milions d'anys llum de gruix. Els filaments i les làmines conformen uns límits al voltant dels buits, que són de l'ordre de cent milions d'anys llum de diàmetre i contenen molt poques galàxies.

6.10

La radiació còsmica de fons permet explorar l'Univers primordial

La radiació electromagnètica més antiga, que emana de les regions més llunyanes de l'Univers observable, és la radiació de fons còsmic de microones. És la relíquia que queda de l'Univers primerenc calent i dens, impresa amb informació d'una època en què l'Univers tenia uns 380.000 anys. La radiació còsmica de fons permet mesurar les característiques clau de l'Univers en el seu conjunt: la quantitat de matèria fosca, de matèria bariònica i d'energia fosca que conté, la geometria de l'Univers i el seu ritme d'expansió actual. La radiació còsmica de fons mostra que l'Univers és gairebé isotrop i, per tant, també proporciona proves indirectes d'homogeneïtat.

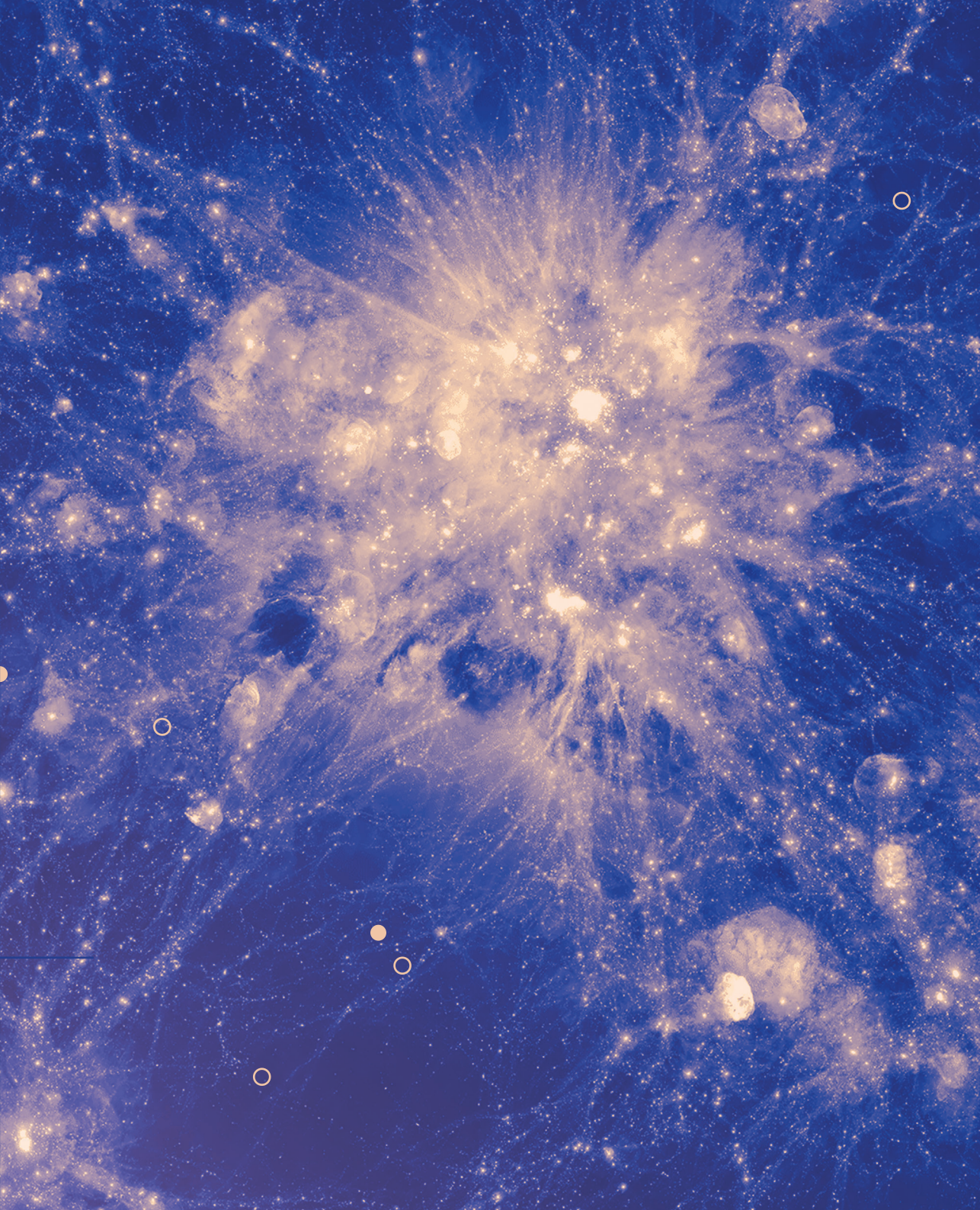
6.11

L'evolució de l'Univers es pot explicar amb el model del Big Bang

Segons la millor evidència disponible fins ara, tota la matèria i l'energia que veiem al nostre voltant estaven contingudes en un volum més petit que un àtom fa més de 13.000 milions d'anys. L'Univers es va expandir des d'aquesta fase de densitat i de temperatura molt elevades (fase del Big Bang) al seu estat actual. Els models que descriuen l'Univers en expansió s'anomenen LambdaCDM (on Lambda significa el component d'energia fosca de l'Univers i CDM la matèria fosca freda). La fase del Big Bang, malgrat el seu nom, no va ser una explosió on la matèria era llançada a l'espai buit existent prèviament. Tot l'espai disponible es va omplir de matèria des del principi i, a mesura que l'espai ha anat augmentant, la densitat mitjana de la matèria ha anat disminuint. Des que es van formar les galàxies, les distàncies mitjanes entre elles han anat augmentant constantment. El model del Big Bang ofereix nombroses prediccions verificables sobre l'Univers actual, la majoria de les quals s'han confirmat mitjançant dades observacionals.

Simulació cosmològica a gran escala de l'evolució d'una secció de l'Univers, on la densitat de la matèria fosca se superposa a la velocitat del gas

Crèdit: The Illustris Collaboration



7

*Vivim en un petit planeta
del Sistema Solar*

*Il·lustració d'alguns dels
exoplanetes que orbiten
una estrella anomenada
TRAPPIST-1 que té, almenys,
set planetes rocosos de
la grandària de la Terra
en la seva òrbita.*

Crèdits: ESO/M. Kornmesser



7.1 El Sistema Solar es va formar fa uns 4.600 milions d'anys

La datació radioactiva dels meteorits ens ha permès determinar l'edat del Sistema Solar. Aquesta edat també és coherent amb la datació de mostres de roques lunars i de les roques més antigues trobades sobre la superfície de la Terra.

7.2 El Sistema Solar està format pel Sol, els planetes, els planetes nans, els satèl·lits, els cometes, els asteroides i els meteoroides

El Sistema Solar està format per una estrella central que anomenem Sol i per tots els objectes que l'orbiten sota la influència de la seva gravetat. Aquests objectes inclouen els planetes i els seus satèl·lits naturals, els planetes nans, els asteroides, els meteoroides i els cometes. El Sol representa més del 99,87% de la massa total del Sistema Solar.

7.3 En el Sistema Solar hi ha vuit planetes

Segons la resolució de la Unió Astronòmica Internacional del 2006, perquè un objecte sigui un planeta ha de satisfer tres criteris. El primer és que ha d'orbitar al voltant del Sol. El segon és que un planeta ha de tenir prou massa per tal que la gravetat el transformi en una forma aproximadament esfèrica. Finalment, la seva influència gravitacional ha de ser suficient per eliminar altres objectes de la seva òrbita. Els objectes que no són satèl·lits i obeeixen les dues primeres regles, però no la tercera, s'anomenen planetes nans. Comptant des del Sol, els planetes del Sistema Solar són Mercuri, Venus, la Terra, Mart, Júpiter, Saturn, Urà i Neptú.

7.4 En el Sistema Solar hi ha diversos planetes nans

Els planetes nans són més petits que la Lluna, que té un diàmetre d'uns 3474 quilòmetres. Plutó és actualment el més gran dels planetes nans, seguit d'Eris, Haumea, Makemake i Ceres. Cadascun d'aquests objectes són sòlids, tenen superfícies gelades i composicions semblants. Ceres es troba entre les òrbites de Mart i Júpiter, mentre que els altres quatre planetes nans es troben més enllà de l'òrbita de Neptú, en el cinturó d'Edgeworth-Kuiper.

7.5 Els planetes es divideixen en planetes terrestres (rocosos) i gegants gasosos

Els quatre planetes més propers al Sol s'anomenen planetes terrestres. Aquests planetes tenen una superfície sòlida i estan formats majoritàriament per roques. Mercuri no té atmosfera, però en comparació amb la Terra, Venus té l'atmosfera més densa i Mart l'atmosfera més prima. En contrast amb els petits planetes interiors, els quatre planetes exteriors, que s'anomenen gegants gasosos, són molt més grans. Aquests planetes són principalment gasosos (hidrogen i heli) i tenen atmosferes molt denses. Tots els gegants gasosos tenen anells al seu voltant. Saturn té, amb diferència, el sistema d'anells més impressionant, visible, fins i tot, amb un petit telescopi.

7.6 Alguns planetes tenen desenes de satèl·lits naturals

Amb l'excepció de Mercuri i de Venus, tots els planetes tenen almenys un satèl·lit natural. La Terra és l'únic planeta del Sistema Solar que només en té un, mentre que Mart en té dos. En contrast amb els planetes terrestres, tots els gegants gasosos tenen un gran nombre d'objectes orbitant-los. Amb més de 75 satèl·lits confirmats per a cadascun, Júpiter i Saturn són els planetes amb més satèl·lits naturals, seguits d'Urà i de Neptú.

7.7 La Terra és el tercer planeta que orbita al voltant del Sol i té un satèl·lit natural, la Lluna

Comptats des del Sol, la Terra és el tercer planeta i té una òrbita gairebé circular. L'atmosfera terrestre es compon principalment de nitrogen i d'oxigen, i la temperatura mitjana de la seva superfície, que està coberta més del 70% per l'aigua, és d'uns 15 graus centígrads. La Lluna és l'únic satèl·lit natural de la Terra i l'únic objecte celeste que els éssers humans han trepitjat.

7.8 Hi ha milions d'asteroides; són els vestigis dels primers estadis de la formació del Sistema Solar

Les restes de la formació inicial del Sistema Solar se solen trobar en el cinturó d'asteroides, situat entre les òrbites de Mart i Júpiter, i en el cinturó Edgeworth-Kuiper, situat més enllà de l'òrbita de Neptú. Les dimensions dels asteroides van d'uns 10 metres a 1000 quilòmetres. La massa combinada de tots els asteroides del Sistema Solar és inferior a la massa de la Lluna.

7.9


Un cometa és un objecte gelat que adquireix una cua quan és escalfat pel Sol

Els cometes es componen principalment de gel, però també contenen pols i materials rocosos. El gel és volàtil i s'evapora quan el cometa s'acosta al Sol a causa dels vents solars i de la radiació. Això crea dues cues: una cua de pols lleugerament torçada en la direcció oposada al moviment del cometa, que s'estén milions de quilòmetres, i una cua de plasma recta rarament visible a ull nu. Les cues d'un cometa sempre apunten en la direcció oposada al Sol, independentment de la direcció en què es mogui el cometa. Es creu que la majoria dels cometes provenen de dues regions específiques: el cinturó d'Edgeworth-Kuiper, situat més enllà de l'òrbita de Neptú, i el núvol d'Oort, en els confins del Sistema Solar.

7.10

El límit del Sistema Solar s'anomena heliopausa

El camp magnètic del Sol s'estén molt més enllà de la seva superfície. Això crea una bombolla que envolta tot el Sistema Solar. La regió on el camp magnètic del Sol interactua amb el camp magnètic d'altres estrelles s'anomena Heliopausa. El límit exterior d'aquesta turbulenta i agitada regió s'anomena heliopausa. Més enllà de l'heliopausa hi ha l'espai interestel·lar. El 2012, la sonda espacial Voyager 1 va ser el primer objecte fabricat per l'home a travessar l'heliopausa.



Aquesta imatge d'alta resolució combina fotografies blaves, vermelles i infraroges preses per la càmera multiespectral Ralph (MVIC) de la sonda espacial New Horizons de la NASA.

Crèdits: NASA/JHUAPL/SwRI

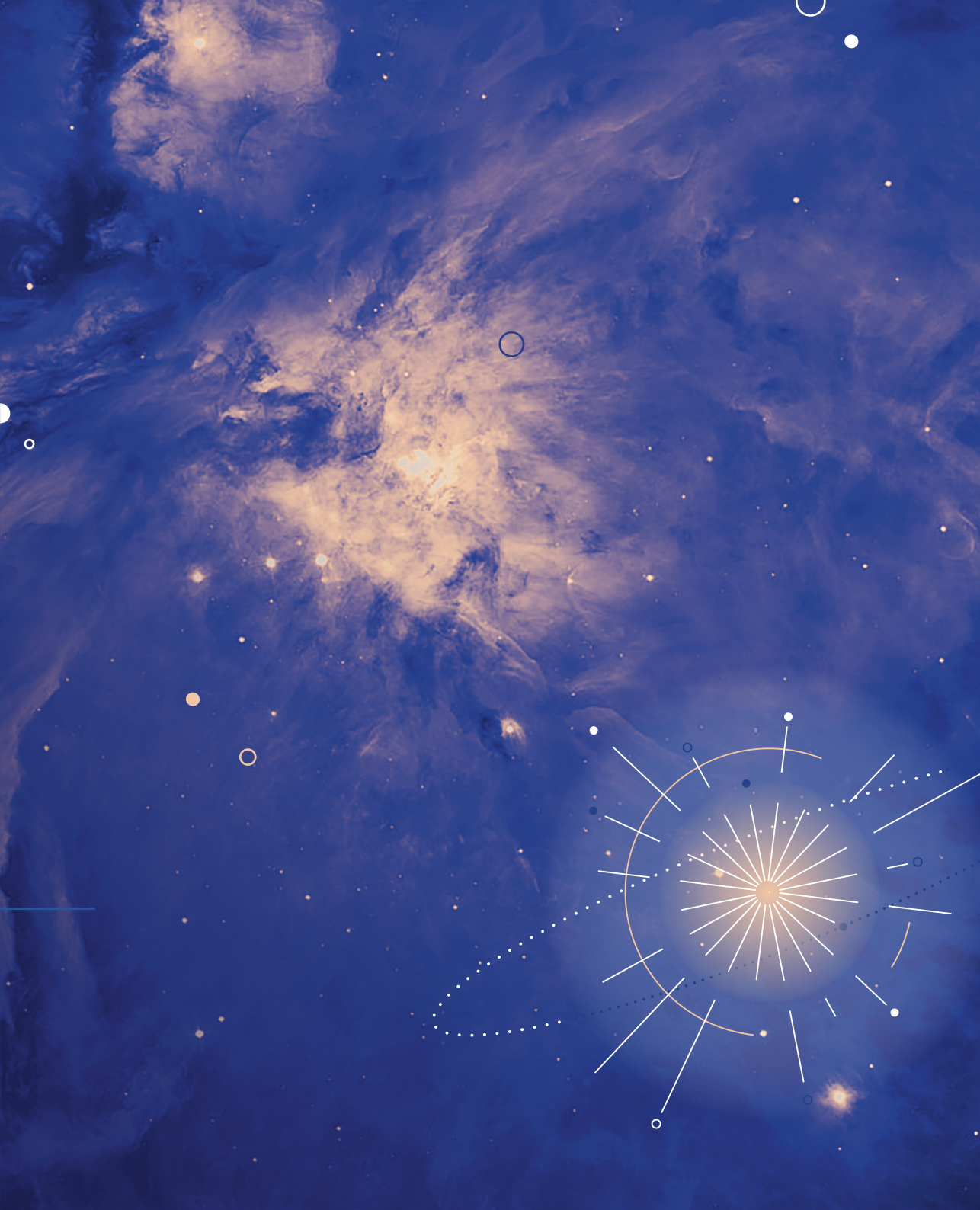




*Som pols
d'estrelles*

*La nebulosa d'Orió (M42), la
regió de formació estel·lar
massiva més propera, a uns
1500 anys llum de distància.*

*Crèdits: NASA, ESA,
M. Robberto (Space Telescope
Science Institute/ESA) i
Hubble Space Telescope
Orion Treasury Project Team*



8.1

Una estrella és un cos que emet llum pròpia i genera la seva energia mitjançant reaccions nuclears internes

Les estrelles es componen de plasma molt calent (un gas on els electrons i els nuclis dels àtoms estan en gran part separats) que es manté unit per la pròpia gravetat. La producció d'energia de sosteniment d'una estrella es genera a través de reaccions nuclears que tenen lloc en el seu centre. Inicialment, fusionen hidrogen en heli, a través de la cadena protó-protó (i per a estrelles més massives a través del cicle CNO carboni-nitrogen-oxigen) abans de passar a fusionar elements superiors. Les estrelles s'estabilitzen per la pressió exercida per l'energia alliberada durant els processos de fusió, cosa que contraresta la tendència de l'estrella a col·lapsar-se sota la pròpia gravetat. D'aquesta manera, la majoria d'estrelles de massa similar o menor a la del Sol es mantenen estables durant milers de milions o, fins i tot, desenes de milers de milions d'anys.

8.2

Les estrelles es formen a partir de núvols massius de pols i de gas

El col·lapse gravitacional dels núvols moleculars freds i gegants origina les estrelles. A mesura que el núvol s'ensorra, es fragmenta en nuclis les regions centrals dels quals són cada cop més denses i més calentes. Més enllà dels valors crítics de temperatura i de pressió, la fusió nuclear s'inicia i neix una estrella. Aquesta jove estrella està inicialment envoltada per un disc protoplanetari de pols i de gas. Al llarg de milions d'anys, aquest disc es fragmenta en planetes i cossos més petits.

8.3

L'estrella més propera a la Terra és el Sol

Amb un diàmetre equatorial d'uns 1,4 milions de quilòmetres, el Sol, l'estrella més propera a la Terra, és tan gran que hi podríem cabre aproximadament 1,3 milions de Terres. Tot i que la nostra estrella és enorme en comparació amb el nostre planeta, en l'Univers hi ha estrelles molt més grans. La supergegant VY Canis Majoris, amb unes 1400 vegades el diàmetre del Sol, és l'estrella més gran coneguda fins ara. Si es trobés en el centre del Sistema Solar, la superfície de VY Canis Majoris s'estendria més enllà de l'òrbita de Júpiter. També hi ha estrelles molt més petites que el Sol. L'estrella més propera, Proxima Centauri, és una nana vermella amb un diàmetre d'uns 200.000 quilòmetres, tan sols 16 vegades el diàmetre de la Terra.

8.4

El Sol és una estrella dinàmica

Tot i que sembla uniforme, la superfície del Sol està esquitxada de taques fosques. Aquestes taques solars, que són regions amb un intens camp magnètic, semblen fosques perquè són més fredes que el material que les envolta. El Sol alterna fases en què es produeixen moltes taques i fases en què se'n produeixen poques. De vegades, el camp magnètic del Sol es deforma, genera molta energia i allibera aquesta energia en un esclat de llum i de partícules. Aquests esclats s'anomenen flamarades o ejeccions de massa coronal. Quan està en calma, fins i tot, el Sol llança cada segon a l'espai uns 1.500 milions de quilograms de gas calent i magnetitzat. Aquest vent solar flueix pel Sistema Solar i interactua amb els planetes. Hi ha altres estrelles que també produeixen flamarades i vents.

8.5

El color d'una estrella indica la seva temperatura superficial

Les estrelles poden tenir temperatures superficials d'entre uns milers de graus centígrads a cinquanta mil graus centígrads. Les estrelles calentes irradien la major part de la seva energia en la regió blava i ultraviolada de l'espectre electromagnètic (longituds d'ona curtes) i, per tant, semblen blavoses als nostres ulls. Les estrelles més fredes semblen vermelloses, ja que irradien la major part de la seva energia en les regions vermelles i infraroges de l'espectre electromagnètic (longituds d'ona llargues).

8.6

L'espai que hi ha entre les estrelles pot estar en gran part buit o bé pot contenir núvols de gas que poden donar lloc a noves estrelles

L'espai entre les estrelles conté petites traces de matèria en forma de gas, de pols i de partícules d'alta energia ("raigs còsmics"). Aquest contingut s'anomena medi interestel·lar. Pot ser més o menys dens en diferents parts de la galàxia. Tanmateix, fins i tot les regions més denses del medi interestel·lar són encara mil vegades menys denses que el millor buit creat en un laboratori.

8.7

El cicle vital d'una estrella està determinat en gran part per la seva massa inicial

Les simulacions per ordinador revelen que les primeres estrelles tenien una vida d'uns milions d'anys. En canvi, l'esperança de vida mitjana d'una estrella semblant al Sol és d'uns 10.000 milions d'anys. Les estrelles nanes vermelles de poca massa poden viure bilions d'anys. Una estrella amb una massa semblant a la del Sol acabarà esdevenint una estrella gegant vermella i, més tard, expulsarà la major part de la seva massa a l'espai, deixant enrere una estrella nana blanca compacta envoltada pel que s'anomena una nebulosa planetària. Una estrella amb almenys vuit masses solars evolucionarà cap a una supergegant vermella abans d'esclatar en un esdeveniment anomenat supernova, deixant enrere una estrella de neutrons o un forat negre estel·lar.

8.8

Les estrelles massives poden acabar el seu cicle vital com a forats negres estel·lars

Un forat negre és una regió de l'espai el camp gravitatori extrem de la qual impedeix que qualsevol cosa, fins i tot la llum, s'escapi un cop ha travessat l'horitzó d'esdeveniments. L'horitzó d'esdeveniments és una superfície límit que envolta un forat negre, on la velocitat necessària per escapar del seu camp gravitatori és més gran que la velocitat de la llum. Els models teòrics prediuen que en el centre d'un forat negre hi ha una singularitat, on la densitat de la matèria i la curvatura de l'espai-temps s'acosten a l'infinit. Els forats negres de massa estel·lar tenen masses de l'ordre d'unes desenes de masses solars, en una regió que té un radi d'uns quilòmetres a unes desenes de quilòmetres (segons la massa).

8.9

Les noves estrelles i els seus sistemes planetaris neixen de la matèria deixada en aquesta regió per les estrelles precedents

A banda de l'hidrogen, la major part de l'heli i una petita quantitat de liti, tots els elements de l'Univers actual s'han produït per fusió nuclear en l'interior de les estrelles. Les estrelles de poca massa, com ara el Sol, produeixen els elements més lleugers, fins a l'oxigen, mentre que les estrelles massives poden originar elements més pesants que l'oxigen, fins al ferro. Els elements més pesants que el ferro, com ara l'or i l'urani, es creen durant els esclats de supernoves d'alta energia i les col·lisions d'estrelles de neutrons. Quan moren, les estrelles alliberen la major part de la seva massa al medi interestel·lar. A partir d'aquesta matèria es formen noves estrelles, en la versió còsmica d'un procés de reciclatge.

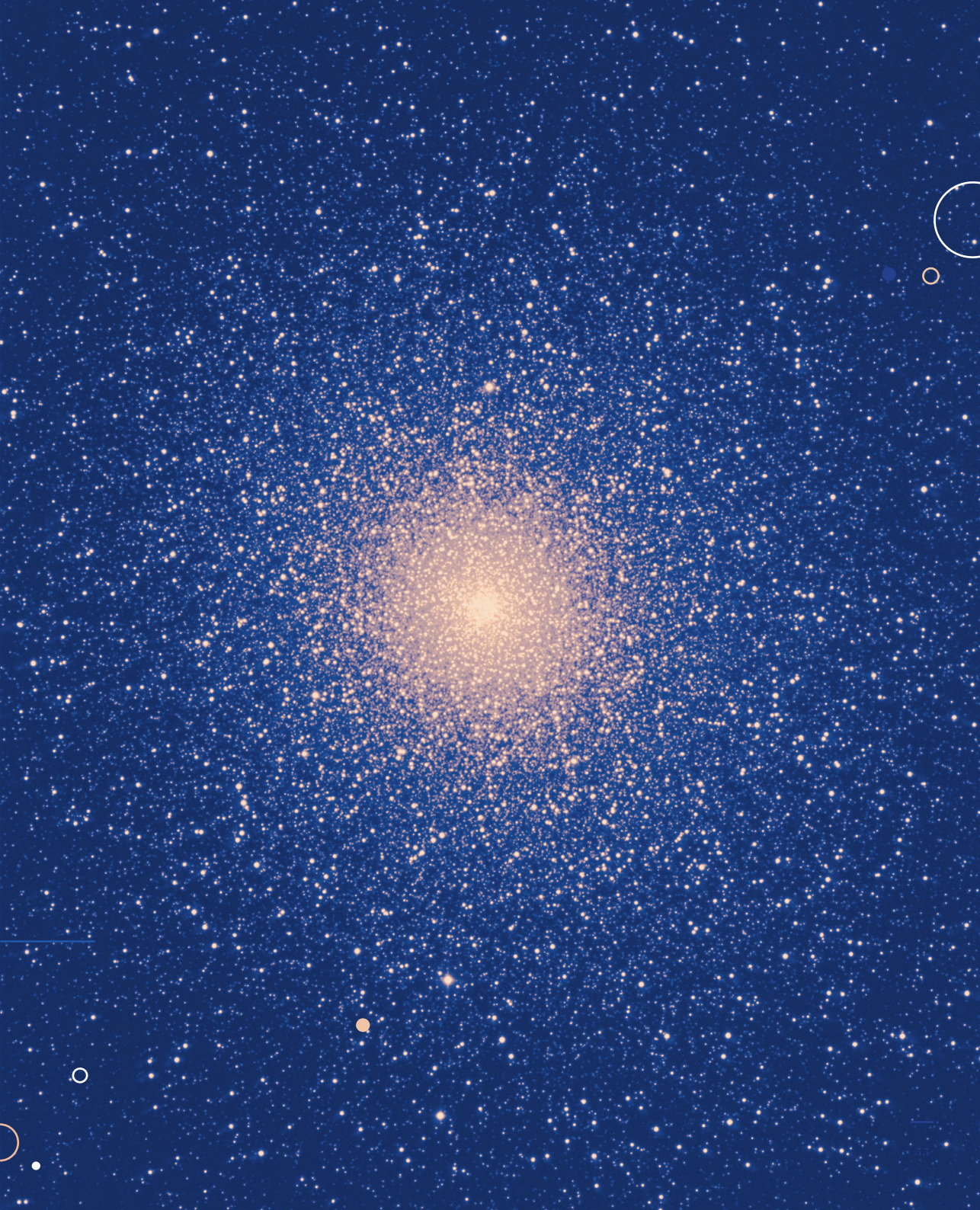
8.10

El cos humà està format per àtoms d'estrelles precedents

A banda de l'hidrogen i de l'heli, així com d'una petita quantitat de liti, gairebé tots els elements es van crear en l'interior de les estrelles i es van alliberar a l'espai en les últimes etapes de la seva vida. Aquest és l'origen de la majoria d'elements que constitueixen el nostre cos, com ara el calci dels ossos, el ferro de la sang i el nitrogen de l'ADN. De la mateixa manera, els elements que constitueixen els altres animals, les plantes i de la majoria de les coses que ens envolten, van ser produïts per estrelles fa milers de milions d'anys.

Imatge del segon més gran i segon més brillant cúmulo globular —una agrupació densa d'estrelles— vist en el firmament nocturn de la Terra. S'anomena NGC 104 o 47 Tucanae. Crèdit: ESO



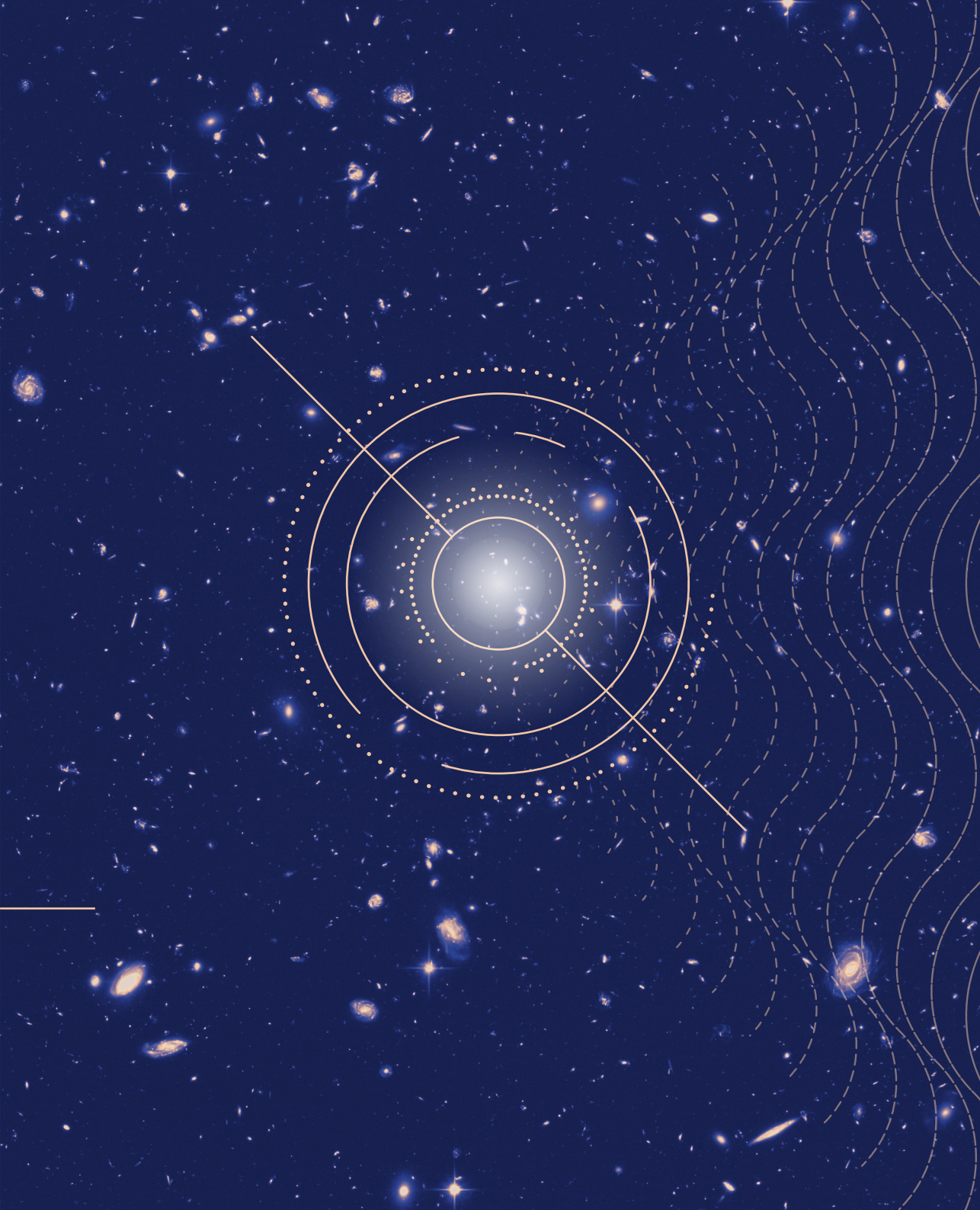


9

*Hi ha centenars de milers de
milions de galàxies en l'Univers*

*El Hubble Ultra Deep
Field, una petita regió de
l'espai (amb gairebé 1/10
del diàmetre de la Lluna
plena) que conté prop
de deu mil galàxies.*

*Crèdits: NASA, ESA i
S. Beckwith (STScI)
i l'equip HUDF*





9.1 Una galàxia és un enorme sistema d'estrelles, de pols i de gas

Una galàxia conté entre uns milions i uns centenars de milers de milions d'estrelles, unides per la força gravitacional mútua. Les estrelles d'una galàxia poden formar part de cúmuls estel·lars o d'una població més gran d'estrelles separades que hi ha per la galàxia. A més, una galàxia conté restes estel·lars, així com pols, gas i matèria fosca. Moltes galàxies tenen un forat negre supermassiu en el seu centre.

9.2 Les galàxies semblen contenir grans quantitats de matèria fosca

La matèria fosca és un tipus de matèria que no emet o no interacciona amb la radiació electromagnètica i, per tant, és impossible de veure per observació directa. Tot i que la matèria fosca no és visible, té massa; la seva existència es dedueix dels efectes gravitacionals que té sobre els objectes visibles. Aquests efectes inclouen l'alteració del seu moviment o la distorsió de les imatges a causa de la lent gravitacional. Les galàxies estan envoltades per un halo molt més gran de matèria fosca; en un sentit, allò que veiem d'una galàxia tan sols és la punta de l'iceberg.

9.3 La formació de la galàxia és un procés evolutiu

Durant els primers centenars de milions d'anys de la història de l'Univers, la matèria fosca va evolucionar en nombroses grans regions més denses, anomenades halos. L'acumulació d'hidrogen i d'heli en aquests llocs va donar lloc a les primeres galàxies i a les primeres estrelles. Les galàxies espirals més grans com la Via Làctia van evolucionar a mesura que atreïen i incorporaven galàxies més petites. Les grans galàxies el·líptiques es van formar quan les galàxies més massives van xocar i es van fusionar. En funció de les seves reserves de gas i de l'escalfament per explosions estel·lars o per activitats en el centre galàctic, aquestes galàxies van formar noves estrelles a un ritme més o menys lent.

9.4 Hi ha tres tipus principals de galàxies: espirals, el·líptiques i irregulars

Segons l'aspecte visual, les galàxies es classifiquen en galàxies espirals, el·líptiques i irregulars. Aquests tipus es diferencien no només per la forma sinó també pel seu contingut. Les galàxies espirals tenen braços espirals aplanats formats principalment per estrelles joves i brillants i per grans quantitats de gas i de pols. En canvi, les galàxies el·líptiques contenen menys gas. Les seves estrelles són majoritàriament antigues i es distribueixen en forma ovoide o esfèrica. Algunes galàxies, incloses la majoria de galàxies nanes, no tenen cap d'aquestes dues formes estàndard i s'anomenen irregulars.

9.5

Vivim en una galàxia espiral anomenada Via Làctia

La Via Làctia és una galàxia espiral amb una estructura en el centre amb forma de barra. El Sistema Solar es troba a uns 25.000 anys llum del centre, en un braç espiral. La part visible de la nostra galàxia és una col·lecció d'estrelles en forma de disc d'un diàmetre d'entre 100.000 i 120.000 anys llum i un gruix de tan sols uns dos mil anys llum. En aquest disc, les estrelles joves i la pols formen braços espirals. En una nit fosca i des d'un lloc no il·luminat, podem veure una mínima fracció dels més de 100.000 milions d'estrelles que conté el disc galàctic amb la forma d'una enorme banda borrosa que arqueja en el firmament. Així és com apareix la galàxia des del seu interior.

9.6

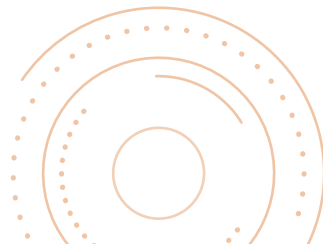
Els braços espirals de les galàxies es creen per acumulacions de gas i de pols

Una teoria àmpliament acceptada sobre la formació dels braços espirals és que són el resultat d'una ona de densitat que es mou pel disc d'una galàxia, cosa que fa que les estrelles, el gas i la pols s'acumulin d'una manera semblant a un embós en una carretera transitada. Això dona lloc a regions més denses del disc que es veuen com a braços espirals. Aquestes regions d'alta densitat contenen grans quantitats de gas i de pols, essencials per a la formació de noves estrelles. En conseqüència, els braços espirals contenen moltes estrelles joves i brillants, cosa que indica que en aquestes regions el ritme de formació estel·lar és alt.

9.7

La major part de les galàxies tenen un forat negre supermassiu en el centre

Es calcula que una galàxia típica conté uns 100 milions de forats negres de massa estel·lar. Aquests tipus de forats negres es formen quan una estrella massiva acaba la seva vida en una explosió de supernova. Els forats negres supermassius es troben en el centre de la majoria de galàxies, i són el tipus de forat negre més gran, amb masses d'entre uns milions a més de mil milions de masses solars. La Via Làctia té un forat negre supermassiu central amb una massa d'uns quatre milions de masses solars. La primera imatge directa de la silueta de l'horitzó d'esdeveniments d'un forat negre, en el centre de l'enorme galàxia el·líptica M87, es va aconseguir el 2019 en combinar les dades de vuit radiotelescopis d'arreu el món.



9.8

Les galàxies poden estar extremadament allunyades les unes de les altres

La veïna més propera a la Via Làctia és la galàxia nana Canis Major, a una distància d'uns 25.000 anys llum. Les galàxies llunyanes semblen molt tènues i, per tant, són difícils d'observar. Per obtenir imatges de galàxies llunyanes, cal emprar grans telescopis amb un elevat poder de resolució, i fer exposicions llargues per recollir prou llum d'aquests objectes.

9.9

Les galàxies formen cúmuls

Les galàxies no es distribueixen aleatòriament per l'Univers. Al contrari, la galàxia mitjana forma part d'un cúmulo de galàxies. Aquests cúmuls consisteixen en centenars o, fins i tot, milers de galàxies unides entre si per l'atracció gravitacional mútua. Els mateixos cúmuls de galàxies també s'agrupen en estructures més grans anomenades supercúmuls. La Via Làctia forma part del que s'anomena Grup Local de galàxies, que inclou més de 54 galàxies. El Grup Local és un membre perifèric del cúmulo de la Verge, que forma part del supercúmulo de la Verge, que al seu torn forma part del supercúmulo de Laniakea.

9.10

Les galàxies interactuen les unes amb les altres per gravetat

Les interaccions entre les galàxies influeixen en el seu aspecte i en la seva evolució. En el passat es creia que un tipus de galàxia podia evolucionar cap a un altre tipus al llarg de la seva vida, però els coneixements científics actuals mostren que les interaccions gravitacionals són la raó d'alguns tipus de galàxies. Per exemple, les galàxies el·líptiques es poden originar per fusions entre grans galàxies predecessores i, al mateix temps, aquests esdeveniments poden desencadenar un intens esclat de formació estel·lar en les galàxies que interactuen.

Composició en color de Centaurus A amb els lòbuls i els dolls que emanen de l'entorn del forat negre central de la galàxia.

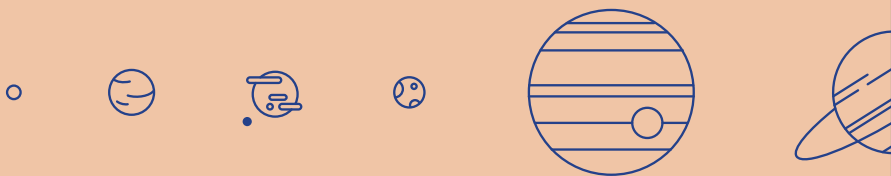
Crèdits: ESO/WFI (Optical); MPIFR/ESO/APEX/A.Weiss et al. (Submil·límetre); NASA/CXC/CfA/R.Kraft et al. (raigs X)





10

*Potser no estem sols
a l'Univers*



*Fotografia de la sonda
Cassini que mostra la Terra i
la Lluna vistes des de Saturn,
a gairebé mil milions i mig
de quilòmetres de distància.*

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



10.1

Fora de la Terra s'hi han detectat molècules orgàniques

Les molècules orgàniques contenen carboni, un element bàsic de la vida tal com la coneixem. Les observacions del medi interestel·lar mostren que les molècules orgàniques, com ara els precursors dels aminoàcids simples, estan presents en l'espai. També s'han trobat molècules orgàniques, inclòs un aminoàcid, en cometes i meteorits. És molt probable que aquestes molècules ja estiguessin presents en el gas i en la pols a partir dels quals es va formar el Sistema Solar.

10.2

S'han descobert organismes vius que sobreviuen en entorns terrestres extrems

Tot i que la majoria de la vida a la Terra és sensible a les condicions ambientals, s'ha trobat que alguns organismes, els extremòfils, sobreviuen en condicions extremes, cosa que demostra que la vida pot existir on menys se l'espera. Aquests organismes poden resistir una àmplia gamma de temperatures, pressions, pH i exposició a la radiació. Alguns d'ells viuen en llocs com ara els deserts, els pols, les fosses oceàniques, dins de l'escorça o, fins i tot, els volcans. Un dels organismes més resistents coneguts pot sobreviure en condicions de buit. Aquests fets són motius de prudent optimisme quant a la possibilitat de vida en altres planetes o satèl·lits, ja que, sovint, presenten condicions ambientals relativament adverses.

10.3

Les traces potencials d'aigua líquida obren la possibilitat d'una vida primitiva a Mart

L'aigua líquida és un factor clau per al desenvolupament de la vida tal com la coneixem. Per aquest motiu, la recerca d'aigua líquida en altres planetes i en els seus satèl·lits ha estat sempre un objectiu important de la recerca de vida extraterrestre. Al llarg dels anys, s'han descobert traces potencials d'aigua líquida en la superfície de Mart, cosa que aviva el llarg debat sobre la seva existència en aquest planeta. Tot i que l'evidència de la presència actual d'aigua líquida a Mart és intensament discutida, les traces potencials suggereixen que hi podrien haver existit formes de vida simples. Si actualment hi ha aigua líquida en les profunditats de la superfície de Mart, potser hi ha vida.

10.4

Alguns satèl·lits naturals del Sistema Solar semblen tenir les condicions perquè hi hagi vida

Entre els nombrosos satèl·lits que orbiten els planetes gegants del Sistema Solar, n'hi ha que comparteixen les característiques dels planetes terrestres, com ara les atmosferes denses i l'activitat volcànica. Europa, un dels satèl·lits més grans de Júpiter, té una superfície congelada que podria recobrir un oceà líquid. Els científics creuen que aquest oceà podria proporcionar les condicions adequades perquè existeixin formes de vida senzilles. Un altre candidat per acollir vida senzilla és Tità, el satèl·lit més gran de Saturn. Tità és ric en compostos orgànics complexos, té una atmosfera densa i metà líquid en la superfície; s'ha plantejat la hipòtesi de la presència d'un oceà d'aigua subterrània.

10.5

Hi ha nombrosos planetes, anomenats exoplanetes, que orbiten estrelles diferents del Sol

Des del descobriment del primer planeta en òrbita al voltant d'una altra estrella, s'han detectat milers de planetes, anomenats exoplanetes, que orbiten estrelles diferents del Sol. El nombre d'exoplanetes descoberts continua augmentant a un ritme accelerat; actualment, som capaços de caracteritzar la població d'exoplanetes que hi ha en el veïnat solar.

10.6

Els exoplanetes poden ser molt diversos; sovint es troben en sistemes

Els exoplanetes presenten una àmplia gamma de propietats físiques i orbitals. Amb masses que van des de la de Mercuri fins a diverses vegades la de Júpiter, els exoplanetes poden tenir un radi d'entre centenars de quilòmetres fins a diverses vegades el radi de Júpiter. Els períodes orbitals dels exoplanetes poden ser tan curts com unes hores, i les seves excentricitats poden ser tan elevades com les d'un cometa del Sistema Solar. La major part d'exoplanetes solen trobar-se en sistemes formats per diversos planetes que orbiten la mateixa estrella.

10.7

En l'actualitat, estem a prop de detectar un planeta semblant a la Terra

En augmentar la precisió dels mètodes de detecció, actualment ens trobem en condicions de descobrir planetes de massa i de radi similars als de la Terra. La recerca actual, per limitada que sigui, ha demostrat que l'entorn del Sistema Solar està farcit de planetes. Alguns d'aquests planetes, fins i tot, orbiten dins de l'anomenada zona habitable al voltant de l'estrella mare. Segons la definició, un planeta que orbita dins de la zona habitable rep la quantitat justa de radiació de l'estrella per permetre l'existència d'aigua líquida en la seva superfície.

10.8

Els científics busquen senyals d'intel·ligència extraterrestre

Una manera de buscar civilitzacions extraterrestres consisteix a buscar senyals que cap fenomen astronòmic conegut podria produir de manera natural. La recerca sistemàtica d'aquests senyals es coneix com a Search for Extraterrestrial Intelligence (SETI). Fins ara, no s'ha trobat cap senyal, però SETI continua explorant el firmament a la cerca d'algun índici de vida avançada més enllà de la Terra.

11

*Hem de preservar la Terra, la
nostra única casa a l'Univers*

*Vista nocturna de la Terra
des de l'Estació Espacial
Internacional, des d'on
és possible veure els
llums artificials de Corea
del Sud i del Japó.*

Crèdit: NASA



11.1 La contaminació lumínica afecta els humans, molts altres animals i les plantes

Durant milions d'anys, la vida a la Terra s'ha desenvolupat en absència de llum artificial, i la majoria d'espècies s'han adaptat a les activitats diürnes o nocturnes. Des de la invenció de l'electricitat, els humans han reduït cada cop més la foscor nocturna amb els llums artificials, amb greus problemes de contaminació lumínica com a conseqüència, cosa que té implicacions per al medi ambient de la Terra, el comportament animal i la salut humana. La major part de les poblacions animals depenen de cicles diürns i nocturns. Des de la fisiologia i la reproducció fins a l'orientació i la depredació, la llum artificial pot pertorbar les poblacions de vida salvatge de tot el món. També estem perdent el cel fosc que els nostres avantpassats han gaudit. En molts entorns urbans i suburbans, actualment la Via Làctia és gairebé impossible de veure de nit.

11.2 Hi ha una gran quantitat de deixalles d'origen humà que orbiten la Terra

Amb el desenvolupament de la tecnologia espacial, la humanitat ha estat capaç d'enviar nombrosos objectes a l'espai mitjançant coets. Des de l'inici de l'era de l'exploració espacial, la quantitat de deixalles fetes per l'home a l'espai, com ara peces de coets o satèl·lits antics, ha augmentat de manera espectacular. Actualment, s'estima que hi ha unes 500.000 peces de deixalla, també conegudes com a brossa espacial, que orbiten la Terra. Com que les peces viatgen a gran velocitat, qualsevol col·lisió amb una nau espacial o un satèl·lit pot causar danys molt greus. Això és especialment perillós per a l'Estació Espacial Internacional i altres naus espacials tripulades. La vigilància de les deixalles espacials i el desenvolupament de tecnologies per a la recollida de satèl·lits i de brossa constitueix una àrea activa d'investigació i desenvolupament.

11.3 Avui dia es vigilen els objectes espacials potencialment perillosos

Durant les primeres etapes de la formació del Sistema Solar, els planetes nous nats eren sovint colpejats per cossos més petits com els asteroides. Alguns cràters de la superfície de la Terra i tots els que es veuen a la Lluna constitueixen una evidència directa de què aquests impactes poden ser molt perillosos. Per bé que encara és un tema d'investigació i de debat, es creu que l'extinció dels dinosaures no voladors i d'un gran nombre d'altres espècies podria haver estat causada pel gran impacte d'un asteroide amb la Terra, fa uns 65 milions d'anys. Tot i que la probabilitat d'un impacte d'aquesta magnitud és molt baixa avui dia, és important vigilar tots els objectes celestes que puguin esdevenir una amenaça potencial per a la vida a la Terra. Els anys vinents, els programes de vigilància d'agències espacials, d'observatoris i d'altres institucions haurien de ser capaços d'identificar tots els asteroides potencialment perillosos d'un quilòmetre o més de diàmetre. Cap dels asteroides coneguts es troba actualment en una trajectòria de col·lisió amb la Terra.

11.4 La humanitat té un impacte significatiu sobre el medi ambient de la Terra

La industrialització ha aportat a la societat nombrosos avantatges, però també ha provocat diversos problemes ambientals a la Terra. A través de la desforestació i de la contaminació dels rius, dels oceans i de l'atmosfera, estem danyant les fonts vitals d'aire net, d'aliments i d'aigua que són necessàries per a la vida a la Terra. La humanitat ha provocat l'extinció de nombroses espècies, i continua buscant minerals i recursos energètics en entorns amenaçats. El canvi climàtic induït pels humans (escalfament del planeta) afecta el medi ambient a gran escala, i ens posa a nosaltres i a moltes espècies en situació de perill.

11.5 L'activitat humana afecta notablement el clima i l'atmosfera

Sense l'atmosfera, el nostre planeta seria un món gelat amb una temperatura mitjana de -18 °C. Tanmateix, els gasos d'efecte hivernacle de l'atmosfera absorbeixen parcialment la radiació tèrmica que emana del sòl i l'irradien a la superfície de la Terra, cosa que fa que la Terra sigui habitable. L'activitat humana ha augmentat dràsticament els nivells dels principals gasos d'efecte hivernacle a l'atmosfera terrestre, i ha creat un desequilibri en el balanç energètic de la Terra. L'augment d'aquests gasos fa que quedi més energia atrapada a la Terra i les temperatures mitjanes s'incrementin. La Terra no pot irradiar l'excés d'energia a través dels seus sistemes naturals, cosa que altera la distribució climàtica global, sensible als desequilibris energètics.

11.6 Per preservar el nostre planeta cal una perspectiva global

Tota persona és un habitant d'aquest planeta. Els conceptes de conservació i de responsabilitat en l'àmbit mundial ens poden ajudar a entendre que tothom pot actuar, com a part d'un grup o individualment, per contribuir a resoldre els problemes globals. Cal conservar la Terra per als nostres descendents. Actualment, sabem amb certesa que la Terra és l'únic planeta de l'Univers capaç d'acollir la vida.

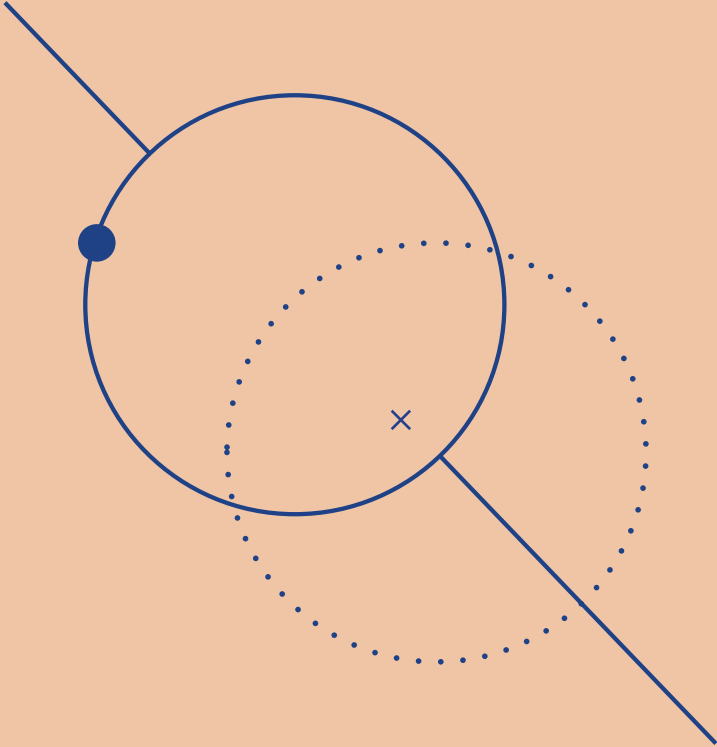
11.7 L'astronomia proporciona una perspectiva cosmològica única que reforça la nostra unitat com a habitants de la Terra

Tots els éssers humans de la Terra viuen sota un mateix cel i comparteixen la mateixa vista de les profunditats del Cosmos. Les imatges de l'espai que mostren la "bala blava" del planeta Terra ens han proporcionat una comprensió més profunda de la nostra nau espacial comuna. Vista des de l'espai, les fronteres entre els països individuals desapareixen del tot. Les imatges de les sondes espacials com ara la Voyager 2 i la Cassini ajuden a comprendre que el „punt blau pàl·lid” és una simple màcula en la immensitat de l'Univers.

x

x

x



x

x

x

x

x

x



Universiteit
Leiden
The Netherlands

ia
instituto de astrofísica
e ciências do espaço

