



Proxecto de Educación Ambiental CAMBIO CLIMÁTICO

Libro Didáctico **3**:

AUGA E CAMBIO CLIMÁTICO

Capítulo 1. Unha substancia universal

978-84-453-4994-6

Francisco Sóñora Luna (coordinador)

Francisco Anguita Virella

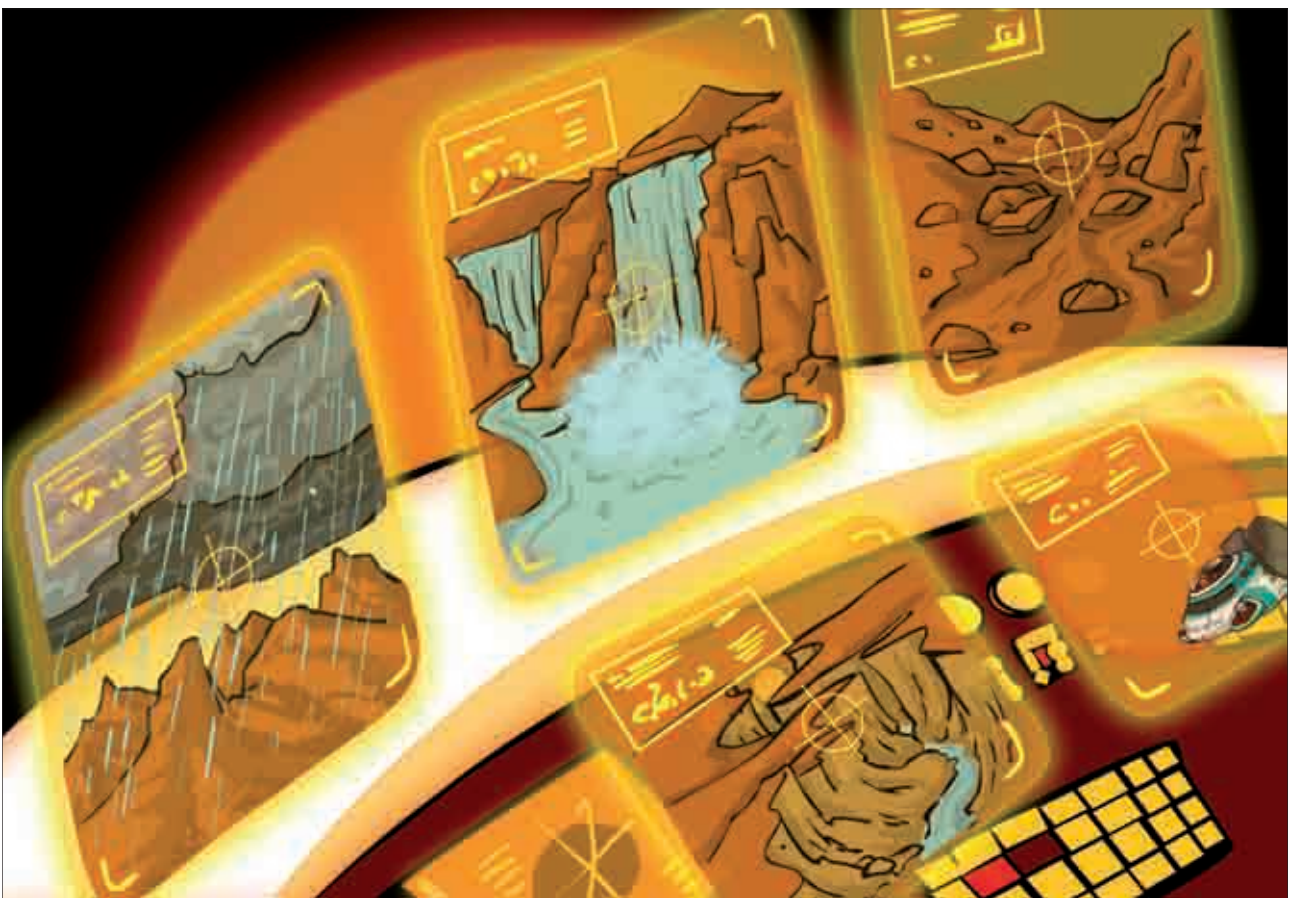


XUNTA DE GALICIA

1. UNHA SUBSTANCIA UNIVERSAL

Responde co que sabes agora

- A auga abunda na Terra. Sabes dalgún outro sitio onde exista?
- Podes dicir que é a auga pesada e para que se usa?
- Sabes se hai algunha relación entre a auga e mais os volcáns?
- Supón que viaxas a un planeta no que só hai desertos. Os seus habitantes cóntanche que, segundo antigas lendas, antes houbo alí grandes ríos e mares. Como poderías comprobar se as lendas son certas ou falsas?



A auga no Universo

Se ollamos o ceo nunha noite despexada e escura, só veremos estrelas. Pero os astrónomos, empregando telescopios, poden distinguir moitos outros obxectos. Por exemplo, **as nebulosas** (Figura 1), que parecen, como indica o seu nome, enormes nubes situadas entre as estrelas. Pero as nubes que coñecemos na Terra están formadas por pequenísimas pinguiñas de auga ou cristais de xeo. De que estarán feitas as nebulosas?



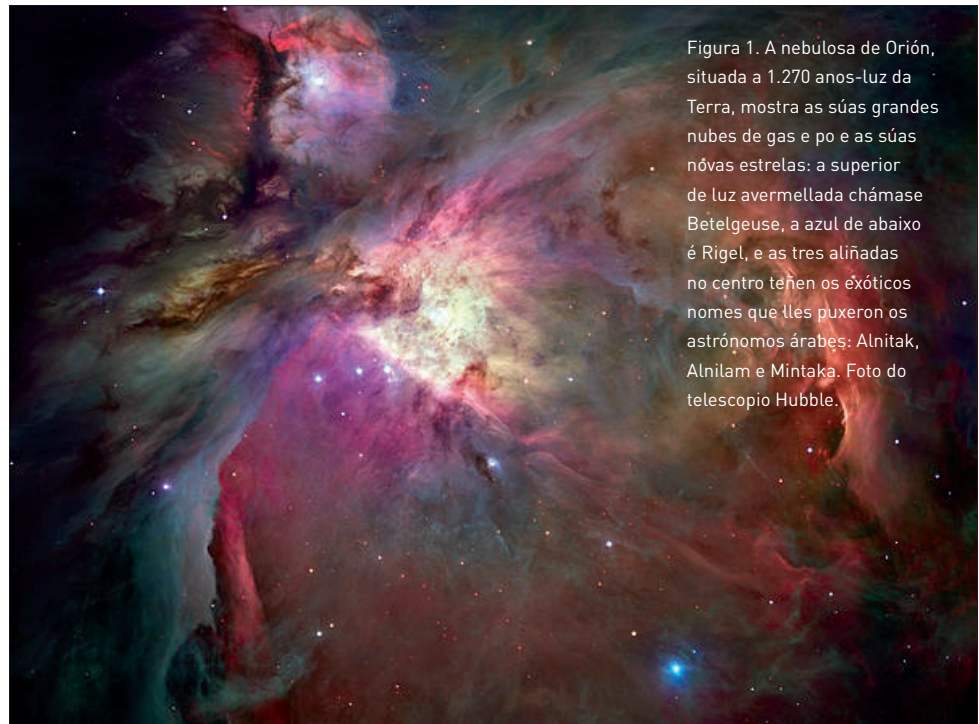
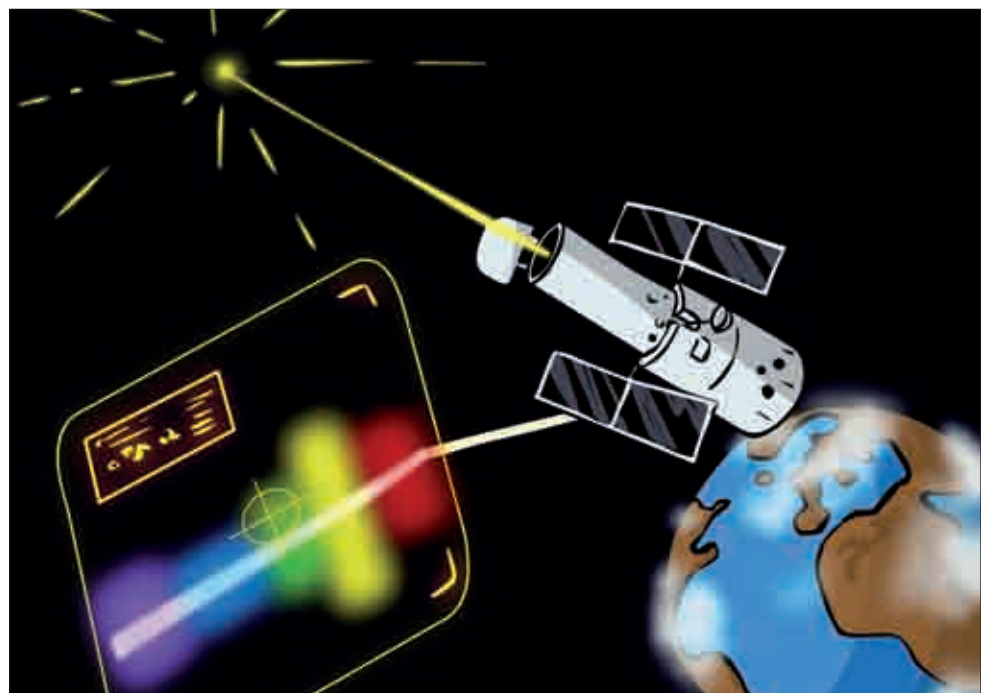
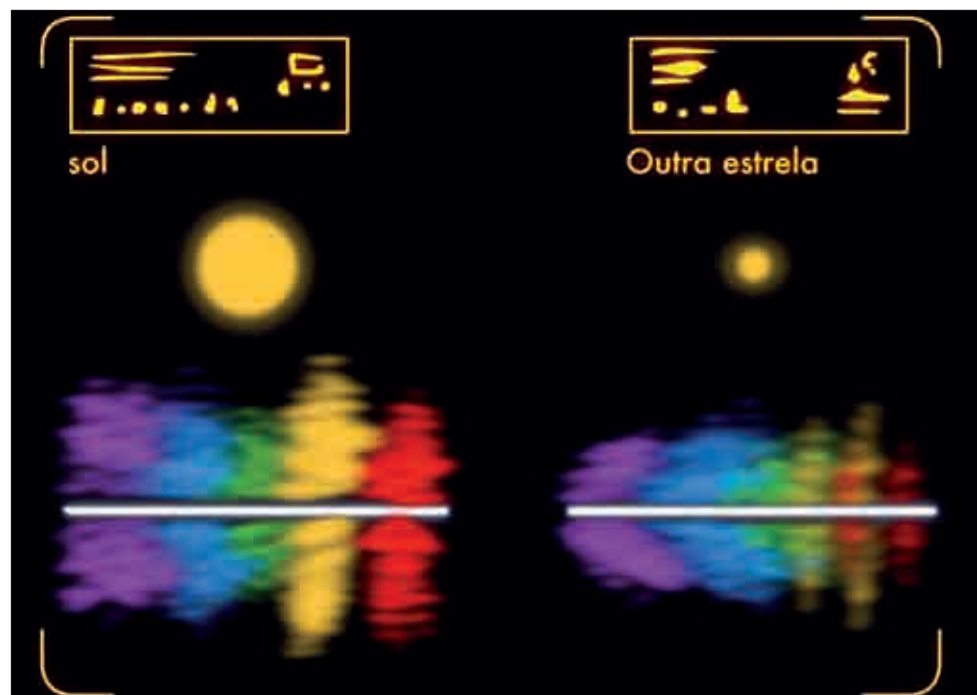
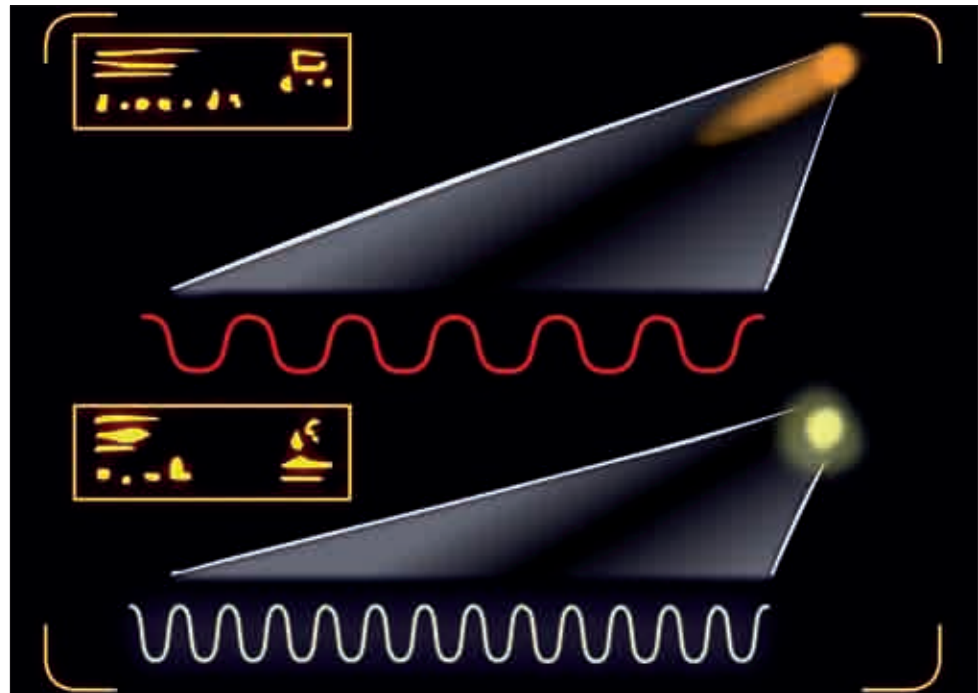


Figura 1. A nebulosa de Orión, situada a 1.270 anos-luz da Terra, mostra as súas grandes nubes de gas e po e as súas novas estrelas: a superior de luz avermellada chámase Betelgeuse, a azul de abaixo é Rigel, e as tres aliñadas no centro teñen os exóticos nomes que lles puxeron os astrónomos árabes: Alnitak, Alnilam e Mintaka. Foto do telescopio Hubble.

- Un filósofo do século XX predixo que o home nunca podería coñecer a composición das estrelas: están demasiado lonxe, e non era quen a imaxinar unha forma de ir alí e tomar unha mostra para analizala. Non obstante, os científicos xa descubriron cal é a composición das estrelas. Nas ilustracións represéntanse tres posibles métodos para levar a cabo esta pescuda. Podes decidir cal é o sistema que usan realmente os científicos?





As análises das nebulosas proporcionáronlles aos científicos un resultado sorprendente: en case todas as nebulosas analizadas existe auga! Quer dicir, que as nebulosas se asemellan ás nubes inda máis do que crían os que lles puxeron ese nome.

As semellanzas rematan aí: as nebulosas están a temperaturas moi altas (por riba dos 10.000°C) e compóñense de gases e po, non de líquidos nin de xeo, coma as nubes. Os gases son moi variados: ademais do vapor de auga, ata agora atopáronse máis de 60 clases distintas, como, por exemplo, alcol (inda que non do que hai no viño). As nebulosas parecen grandes factorías cheas de compostos químicos.





- Busca semellanzas e diferenzas entre a auga das nebulosas e a das nubes

Mira agora de novo a Figura 1. No medio da nebulosa hai moitas estrelas. Estudando a luz que emiten, os astrónomos poden deducir a súa idade aproximada. E case sempre obteñen o mesmo resultado: a maioría das estrelas relacionadas coas nebulosas son moi novas. Ademais, empregando o seu instrumento máis potente, o telescopio espacial Hubble (Figura 2) descubriron uns corpos estraños (Figura 3) nalgunhas zonas das nebulosas.



Figura 2. O telescopio espacial Hubble foi posto en órbita (a 593 km de altura) en 1990 e calcúlase que seguirá operativo ata mediados desta década. Pesa 11 toneladas e o seu espello mide 2,4 metros.

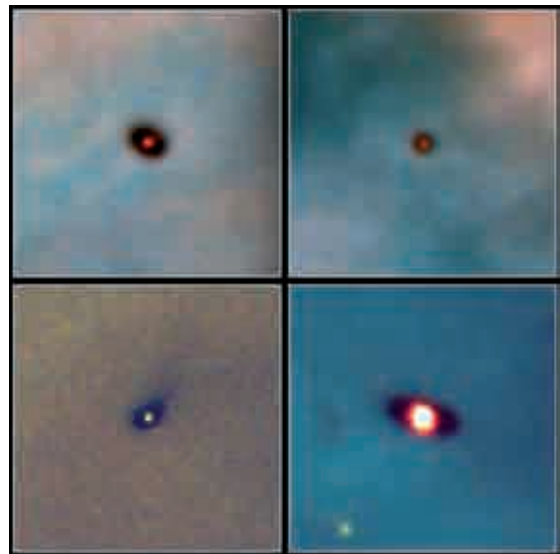


Figura 3. Catro exemplos de estrelas nacemento na nebulosa de Orión, aínda rodeadas por unha nube de gas e po a partir da cal se formarán planetas.

- Busca en internet gráficos de como se supón que foi a orixe do Sistema Solar e compáraos cos obxectos da Figura 3. Fai unha lista cos parecidos e as diferenzas.

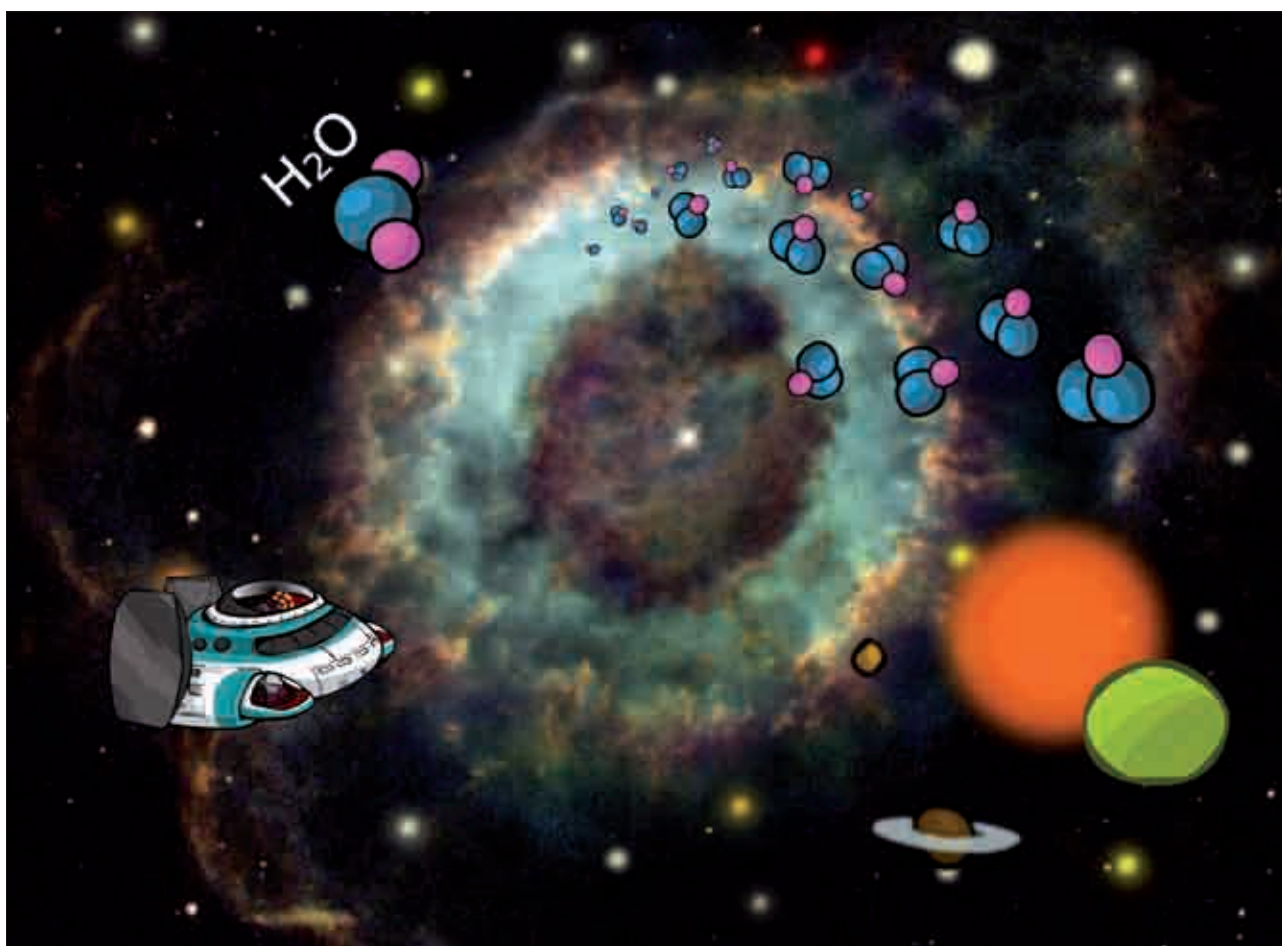
Ademais dos parecidos que atopaches, hai moitas probas de que as estrelas se forman cando se contraen partes densas dunha nebulosa. Por exemplo, moitas estrelas novas están arrodeadas por restos de nebulosas. Por outra banda, sabemos tamén algo moi importante: que moitas estrelas, se cadra a maioría, teñen planetas en órbita. Actualmente coñécense xa máis de cincocentos planetas que xiran arredor doutras estrelas, e aos que se lles puxo o nome de **exoplanetas**.

- Busca a raíz da palabra exoplaneta. Busca tamén, e resume, algunha nova do descubrimento dalgún exoplaneta.
- Imos agora encadear os datos das seguintes frases e a completar a última para alcanzar a conclusión:
 - Se as nebulosas conteñen auga,
 - Se as nebulosas dan orixe ás estrelas,
 - Se moitas estrelas teñen planetas arredor, daquela...

Moitos dos planetas que hai no Universo teñen como compoñente

.....

.....



No ano 2009 descubriuse un exoplaneta que parece estar cuberto por completo de auga (Figura 4). A súa masa é case sete veces maior que a da Terra, e o seu océano ten centos de quilómetros de profundidade. Os planetas que son meirandes que a Terra pero menores que os planetas xigantes (lembra: no Sistema Solar, Xúpiter, Saturno, Urano e Neptuno) chámanse **superterras**; e, se neles abunda a auga, **superterras oceánicas**. Moitos científicos cren que este tipo de planetas pode ser mesmo máis favorable para a vida que a propia Terra.



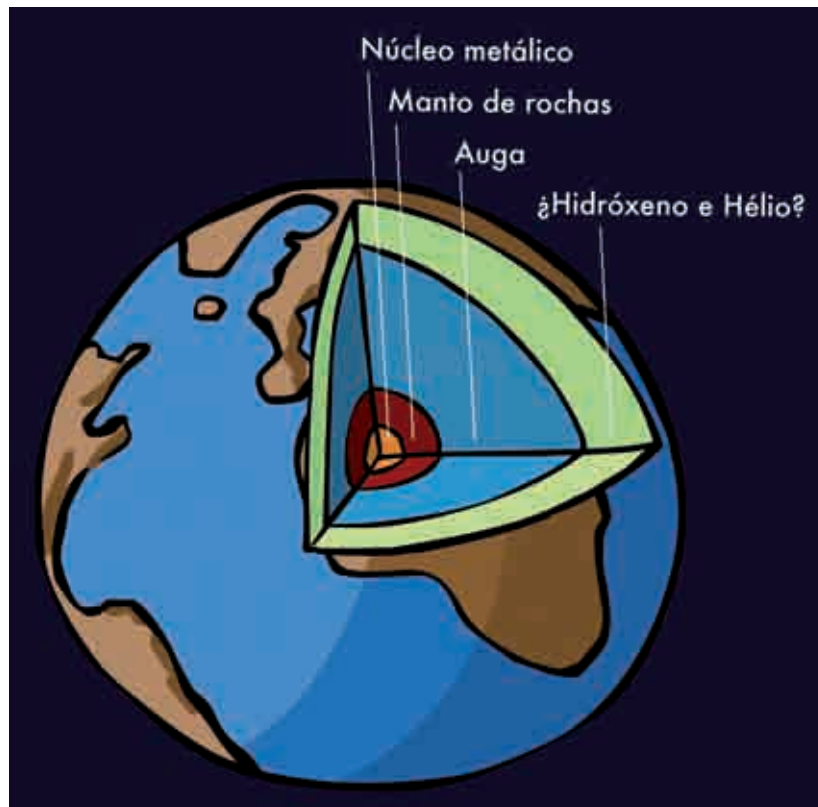


Figura 4 Baixo unha atmosfera de hidróxeno e helio, o exoplaneta GJ1214b está composto sobre todo por auga.

● Que base podería ter esta suposición?

● Agora imos facer un pequeno cálculo:

O planeta GJ1214b ten un diámetro de 34.500 km, e calcúlase que pode estar formado por auga ata nun 50 %. Sabendo que todos os océanos da Terra conteñen 1.400 millóns de quilómetros cúbicos (ou sexa, $1,4 \times 10^9 \text{ km}^3$) de auga, calcula cantos océanos terrestres habrían caber no océano de GJ1214b. Recorda que o volume dunha esfera é $V = 4/3\pi R^3$.

Coa solución completa a frase poñendo en cada cadro un destes valores: 7.000 e 10^{13} .

O volume de auga en GJ1214b é de 10^{13} km^3 , ou sexa, unhas 7.000 veces maior que o de toda a auga da Terra.

El volumen de agua en GJ1214b es de, o sea unas veces mayor que el de toda el agua de la Tierra.

● Qué relación pode haber entre o tamaño dun planeta e o volume e profundidade dos seus océanos?

Esperamos que este problema te convenceses de que a auga é realmente un composto abundante no Universo!

Pero, isto tamén será certo no Sistema Solar, o noso conxunto de planetas? Para respondermos esta pregunta, temos que facer unha viaxe no tempo.



A auga no Sistema Solar

A nosa cápsula do tempo aproxímase ao que agora é o Sistema Solar, pero recuamos 4.600 millóns de anos. Vemos o Sol a emitir as súas primeiras luces, veladas por mestas nubes de gases e partículas sólidas. Ao achegármonos, distinguimos un remuíño de billóns de pequenas partículas que xiran e chocan. Mais, onde está a auga?





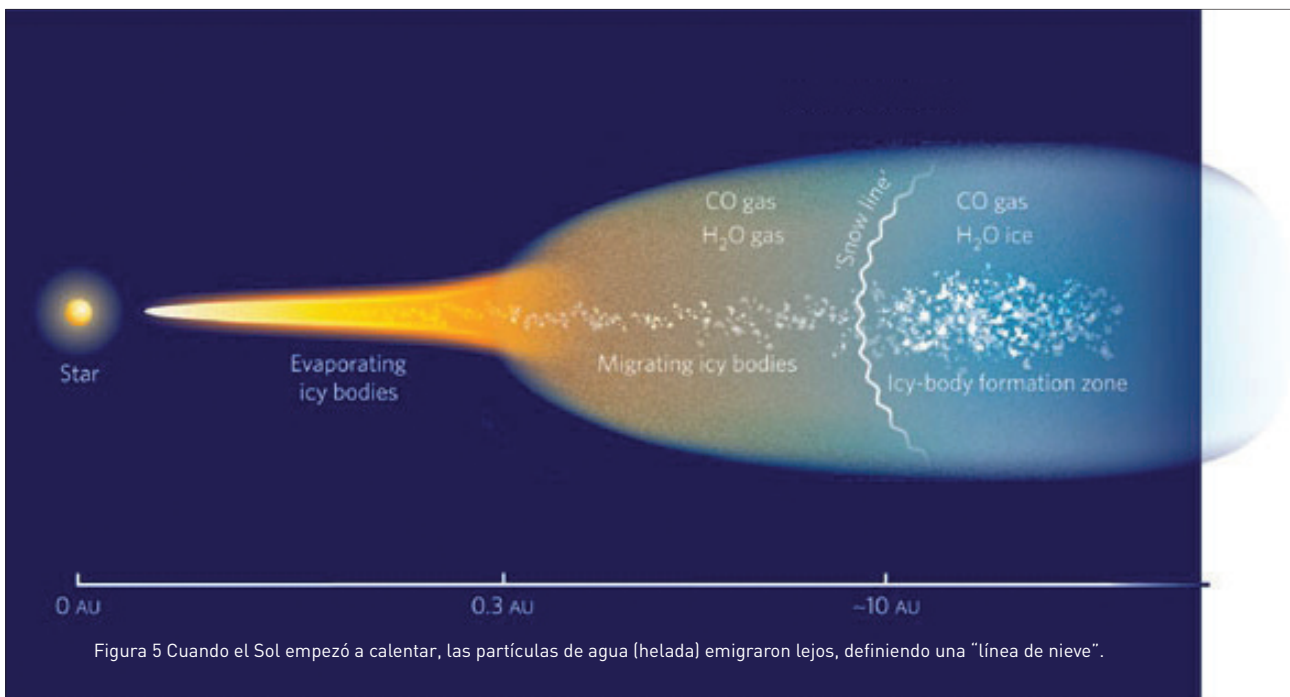
Avanzamos uns poucos millóns de anos para buscar respostas. A medida que a estrela empeza a emitir máis enerxía, a nosa molécula favorita empeza a encontrarse máis incómoda preto dela. A auga arrédase da estrela e depositase lonxe: no Sistema Solar en formación creouse a “fronteira da auga.”.



Volvemos ao presente. Os científicos planetarios chámanlle **liña de neve** a esta fronteira e explícanla cun exemplo sinxelo: cando abrimos as xanelas dun cuarto que estivo quente durante a noite, os cristais da xanela éñense de gotas (Fotografía 1) porque a auga prefere as superficies máis frías.

- En que sentido se utiliza a expresión “liña de neve” na vida corrente? Marca a expresión ou expresións correctas::
 - Para distinguir a altura dunha montaña por riba da cal atopamos neves perpetuas.
 - Para indicar a altura á que comeza a chover
 - Para definir a altura por riba da cal vai nevar.
 - Para referírmonos ás liñas de nivel dos mapas que delimitan superficies nas que endexamais neva.
 - É a extensión máxima de xeo nun período moi frío.
- De vacacións en Tenerife, un turista amante do alpinismo encontrouse coa sorpresa de ver como o cume do Teide se estaba a cubrir de neve. Determinou daquela iniciar a escalada dende un lugar costeiro onde estaba aloxado, comezando o itinerario con chuvia e a unha temperatura de 9°C. A que altura atopou as primeiras folelras? Lembra que con chuvia a temperatura diminúe aproximadamente 0,6°C cada 100 metros de ascenso.

Como podes ver na Figura 5, esta liña de neve non se asemella nadiña ás da Terra, senón que separa o Sistema Solar, acabado de nacer, en dúas zonas: na parte que estaba máis cerca do Sol, a temperatura era alta de máis para que a auga fose estable. Por iso este importante composto quedou na parte exterior. A zona seca abarcaba Mercurio, Venus, a Terra e Marte, namentres que a zona con auga comprendía Xúpiter, Saturno, Urano e Neptuno. A fronteira entre as dúas, ou sexa, a “liña de neve” pasaba polo cinto de asteroides, os millóns de pequenos corpos que están entre Marte e Xúpiter.



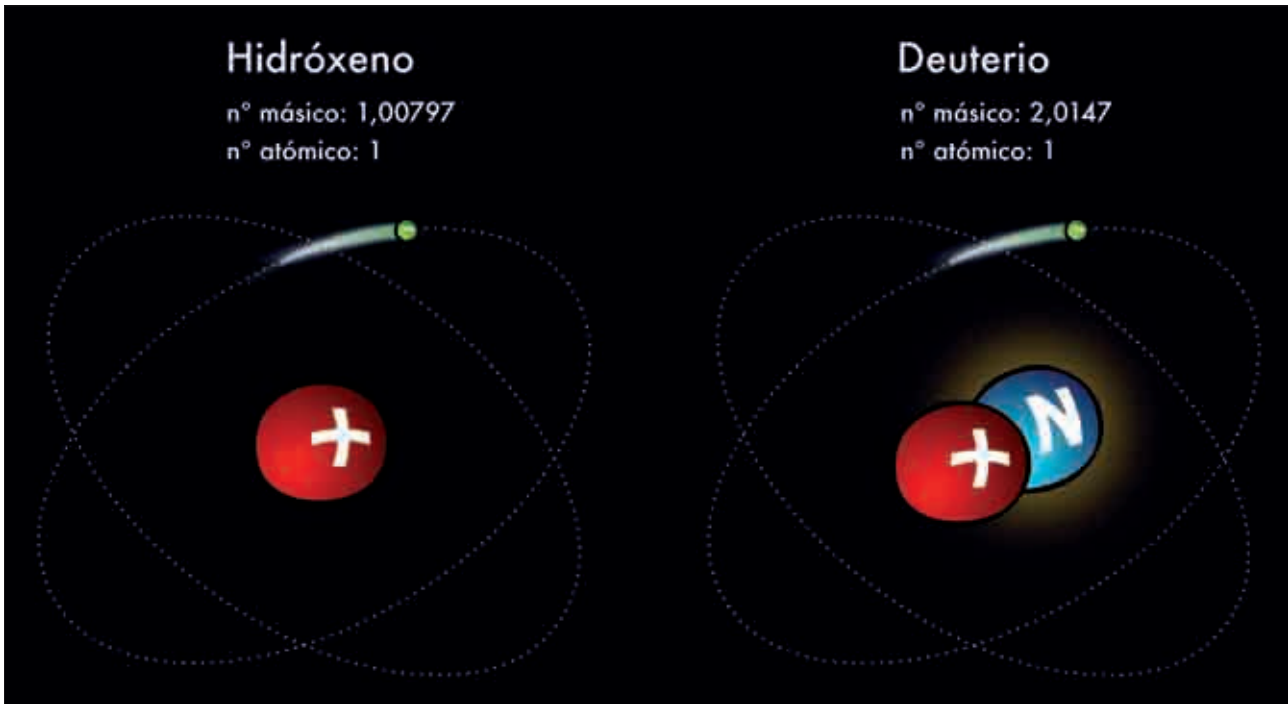


Vaia problema, non? Resulta que, segundo eses viaxeiros do tempo que son os científicos, que estudan a orixe do Sistema Solar, na Terra non debería de haber nin pinga de auga. Entón, que pasa cos océanos, mares, lagos, ríos, auga subterránea e a auga das nubes? De onde saíron?

Segundo os científicos, chegaron do ceo. Os planetas non estiveron sempre nas súas posicións actuais, senón que, apenas formados, emigraron a outras órbitas. A migración de Xúpiter e Saturno creou un caos entre os asteroides, e millóns deles foron expulsados do Sistema Solar, ou caeron sobre a Terra e os outros planetas. Algúns destes asteroides formáranse do lado mollado da liña de neve, polo que contiñan auga. E esa é a orixe dos nosos océanos.



Ben, iso é o que din os científicos, pero, obviamente, eles non dispoñen deste fantástico trebello co que ilustramos esta explicación. Que probas teñen, logo? Eles non estaban realmente alí cando caeron os asteroides. Pero tampouco os detectives adoitan estar no lugar do crime e logran atrapar os criminais a base de indicios. Afortunadamente, os asteroides invasores deixaron pegadas. Algúns dos átomos de hidróxeno da auga dos nosos mares teñen un neutrón de máis (lembra: os átomos compóñense de protóns, neutróns e electróns). A este hidróxeno máis pesado chámase deuterio. Ben, pois se se mide a cantidade de deuterio que hai na auga do mar, resulta exactamente igual que a que hai nos asteroides da parte mollada do cinto!



- Como podemos saber cantos auga hai nos asteroides? Escolle a resposta ou respostas correctas:
- Porque enviamos naves que tomaron mostras destes corpos.
 - Porque analizamos meteoritos, que son anacos dos asteroides.
 - Porque analizamos os seus espectros.

Vexamos de momento que nos din os meteoritos (Figura 6). Nos que veñen de asteroides de máis alá da liña de neve hai de media un átomo de deuterio por cada 6.650 de hidróxeno. E na auga mariña, un por cada 6.660; ou sexa, practicamente igual. Casualidade...? Poida que si, pero ata que non haxa outra idea mellor, a próxima vez que te duches, pensa que estás a usar un líquido que se formou a máis de 300 millóns de quilómetros da Terra e que chegou ata nós a bordo de asteroides.

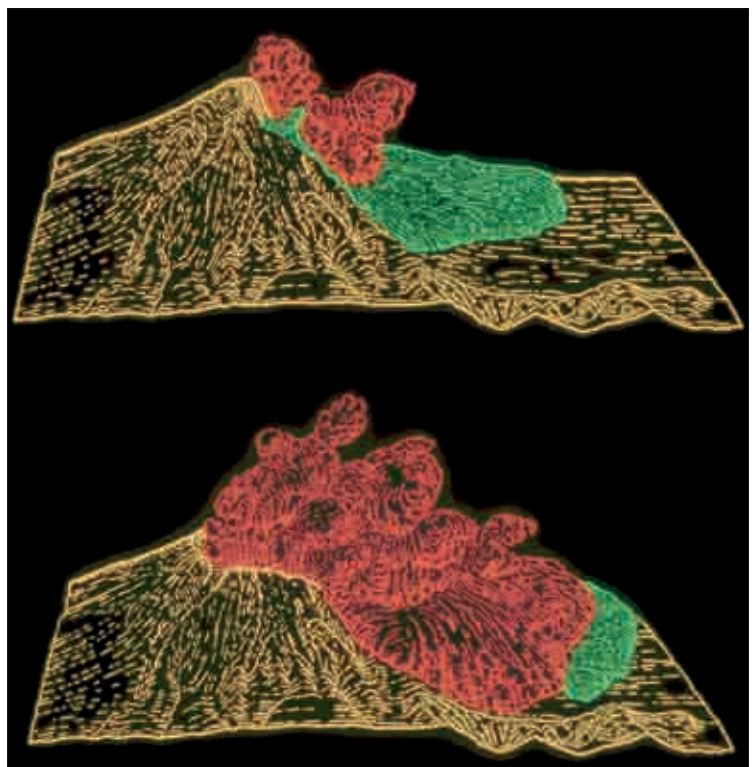


Figura 6 Este meteorito, que caeu en Australia en 1969, tróuxonos auga dende máis alá da liña de neve. Os meteoritos desta clase poden conter ata 15 % de auga.





E unha última cousa: cando vexas na tele unha erupción volcánica desas que teñen un bo penacho de gases (Foto 2 de un volcán emitindo mucho vapor de auga), ten presente que parte do gas é vapor de auga que vén do interior da Terra. Isto non se opón ao que acabamos de ver: a auga dos asteroides mesturouse cos outros compoñentes da Terra e parte dela quedou no interior do planeta, de onde os volcáns a extraen pouco e pouco. Como ben sabía *O Principiño*, os volcáns son coma chemineas (por iso limpaba o seu volcán cun desenfeluxador) por onde saen calor e materiais profundos.



Os antigos océanos de Venus e Marte como probas de cambios climáticos globais

Venus: Que calor!

Si, 470°C é bastante máis temperatura da que nos fai desexar un bo baño na praia. O problema é que no noso planeta veciño hai ben pouquiña auga; de cada millón de moléculas da atmosfera só 30 son de auga (na Terra poden chegar a ser 4 de cada 100). Venus (Foto 3) é un deserto superseco e abrasador. Pero inda así, moitos científicos cren que, como no planeta dunha das preguntas do principio do capítulo, en Venus houbo outrora grandes océanos, meirandes mesmo ca os da Terra.



- Que probas se che ocorre que puideron reunir para concluír que en Venus houbo grandes océanos? Volve ao apartado anterior, onde has atopar unha boa pista.

Algunhas sondas espaciais que penetraron na atmosfera de Venus puideron medir en detalle a composición desta. E, como adoita pasar en Ciencia, atopáronse con sorpresas. Esas escasas moléculas de auga que hai na atmosfera non son iguais que as que existen na Terra, senón que son moito máis ricas en deuterio. Xa vimos que no noso planeta só hai un átomo de deuterio por cada 6.660 de hidróxeno: pois en Venus hai un deuterio por cada 240 hidróxenos.





Seguro que estás dicindo: pero, que ten que ver esta leria de química con eses fantásticos océanos desaparecidos? Non sexas impaciente, que xa están aquí os océanos. A auga con moito deuterio chámase auga pesada e fábricase (para facer máis seguras as centrais nucleares) facendo evaporar grandes cantidades de auga: como o deuterio pesa máis que o hidróxeno, cústalle máis evaporarse, polo que se concentra no residuo. Cacháchelo...? Unha auga rica en deuterio podería ser o residuo dun océano que se evaporou.



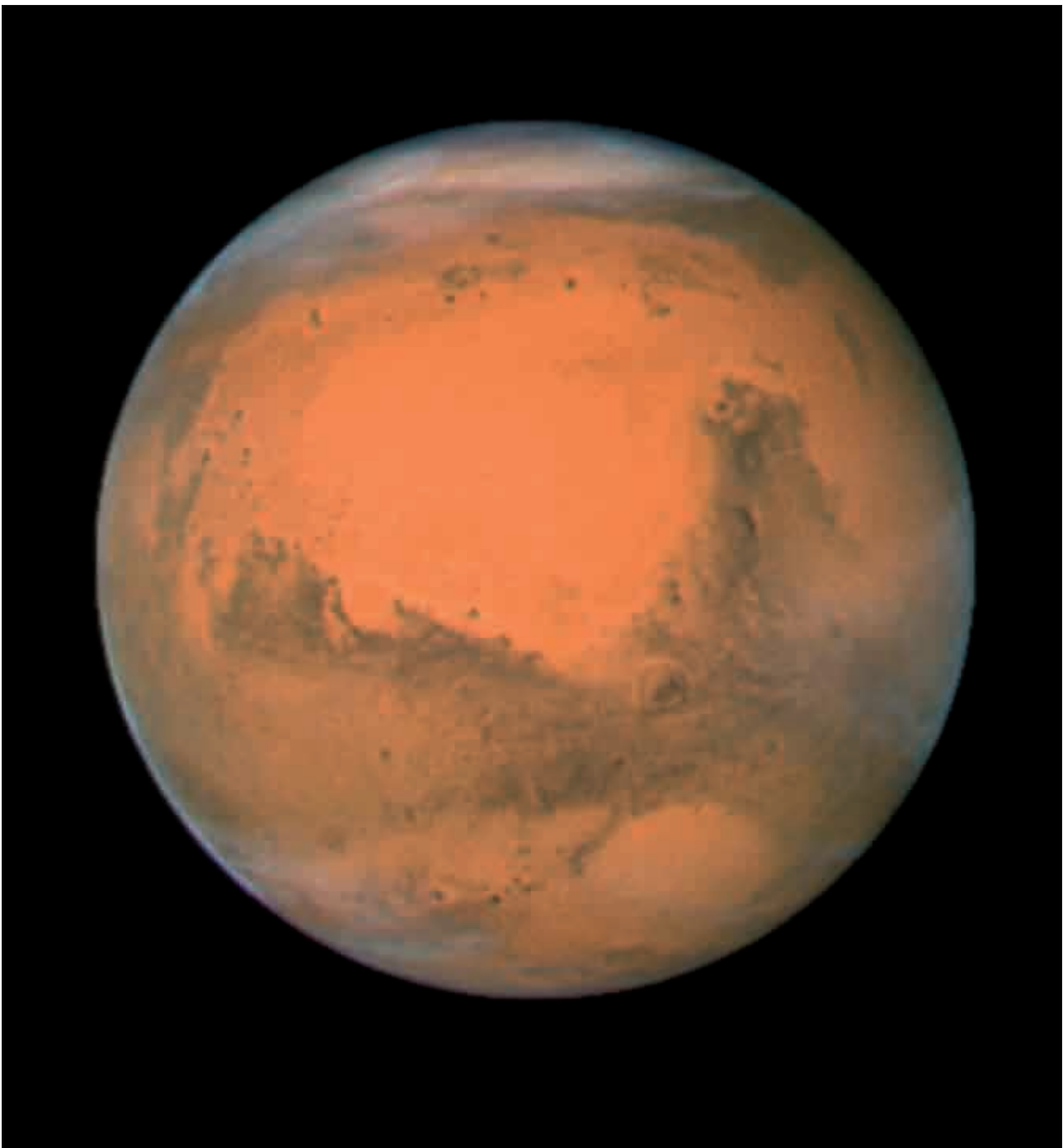
Como que *podería*? Seica na Ciencia nunca hai nada seguro? Hai tal, pero, igual ca na vida, hai cousas seguras e outras só probables. Nos casos máis complicados, as nosas máquinas do tempo aínda son imperfectas e non nos permiten reconstruír con seguridade o que aconteceu. Todos os científicos están de acordo en que no principio do Sistema Solar o Sol quentaba moito menos ca agora e Venus era un planeta no que podía haber océanos. Pero, a partir de aquí, os investigadores están divididos. Talvez a auga xurdiu á superficie traída polos volcáns, pero non se deu estancado alí, senón que se perdeu no espazo a medida que ía saíndo. Ou se cadra Venus tiña de entrada máis proporción de deuterio que a Terra. Cómprennos máis datos para confirmar o grande océano de Venus.

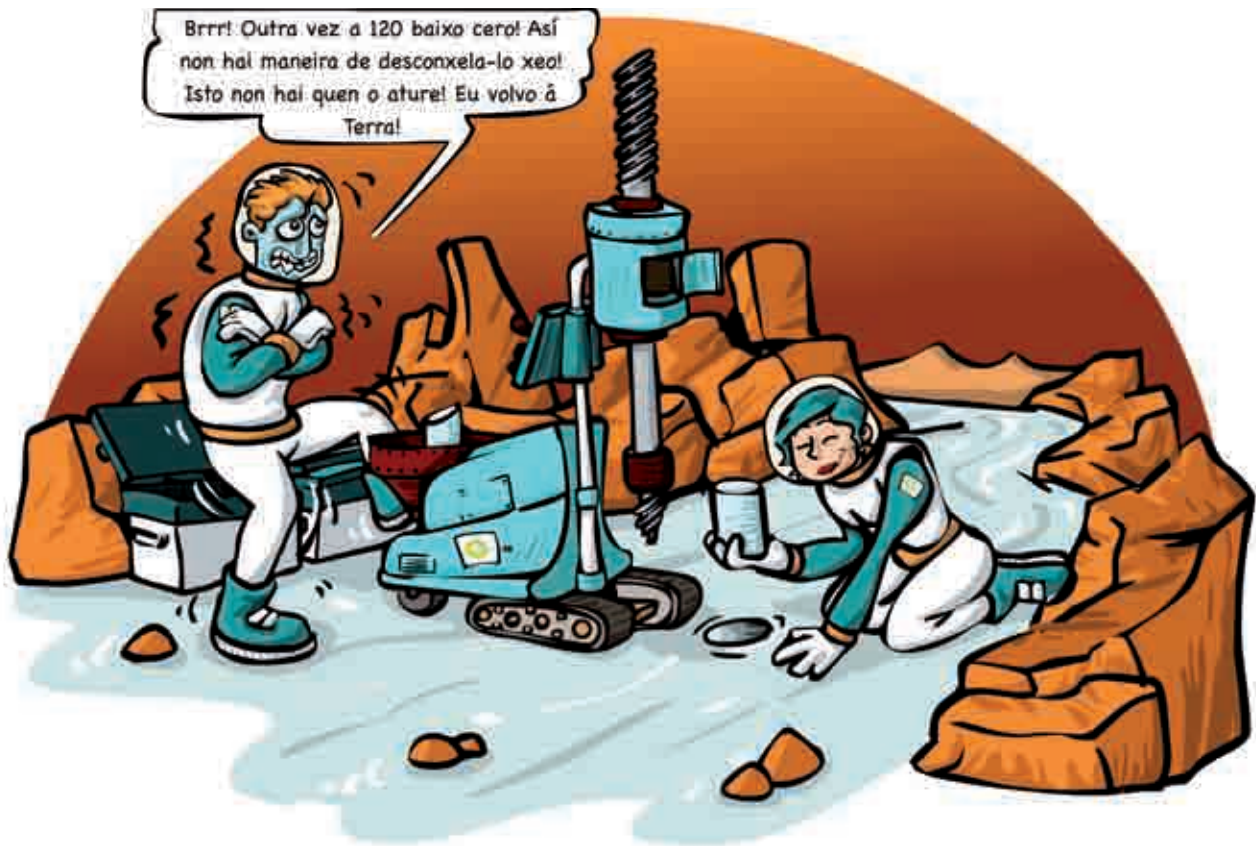
● Analiza a frase “Seica na Ciencia nunca hai nada seguro?”.

Pero hai algo interesante nese posible océano perdido: se existiu, Venus tivo un clima apto para a vida e logo perdeuno ata se converter nese deserto abrasador. Ou sexa, un cambio climático de envergadura global. Sóache...?

- Imagina o que os nosos astronautas-científicos foron capaces de observar dende a súa nave Climántica II – 4D durante o período en que Venus foi perdendo o seu océano e relátao.
- Imagina que sitúan agora a nave sobre a Terra en 1850 e se moven deica a actualidade. Relata os cambios que descubriron nos nosos océanos e busca semellanzas e diferenzas sobre a evolución que observaron nos océanos de Venus.

Marte: Qué frío!





O planeta seguinte á Terra é un mundo realmente fríxido: o termómetro chegou a rexistrar ata 143°C baixo cero.

● Sabes por que Marte é tan frío? Marca a/s resposta/s correcta/s:

- Porque a súa atmosfera é moi tenue
- Porque está moi lonxe do Sol
- Porque a súa atmosfera carece de gases de invernadoiro

Ademais, Marte, como Venus, é un planeta extremadamente seco, con só 0,03 % de vapor de auga na súa atmosfera (na Terra, ata 4 %). Pero, aínda máis ca en Venus, os exploradores de Marte atoparon moitas pegadas de climas húmidos. Vámolos ver:

- A proporción de deuterio a hidróxeno é cinco veces maior ca na Terra. A explicación máis sinxela é que tamén Marte tivo un océano, que despois se evaporou.
- A superficie do planeta está cortada por centos de leitos de auga secos, de varios tipos diferentes. Uns, con moitos afluentes (Figura 7a), aseméllanse aos ríos terrestres. Outros, en cambio, atravesan chairas nas que parece que nunca choveu (Figura 7b). Algúns máis puideron ser escavados non por auga senón por xeo (Figura 7c). Os máis espectaculares tiveron que ser escavados por ríos xigantescos, moito meirandes ca os maiores ríos terrestres (Figuras 7d e 7e).

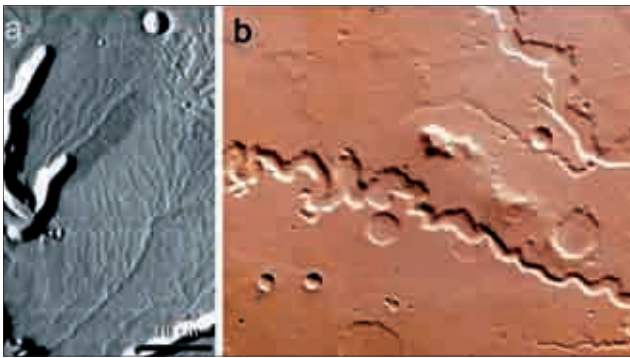


Figura 7a. Rede fluvial en Marte. Todo o terreo está cuberto por leitos de auga secos.
Figura 7b. Leitos en Marte. A chaira intermedia apenas está erosionada.

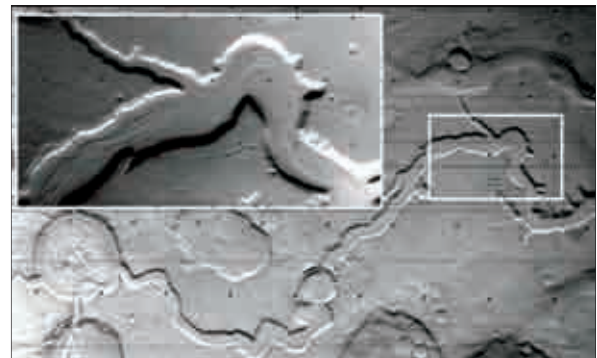


Figura 7c. Leitos de auga de fondo plano en Marte. Quizais as liñas paralelas sexan equivalentes das morenas, liñas de bloques soltos típicas dos glaciares terrestres.

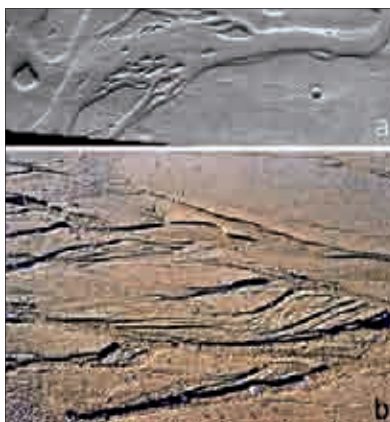


Figura 7d. Arriba, leito de auga marciano formado nunha grande inundación; abaixo, formas parecidas producidas na praia de Carnota [A Coruña] ao baixar a marea

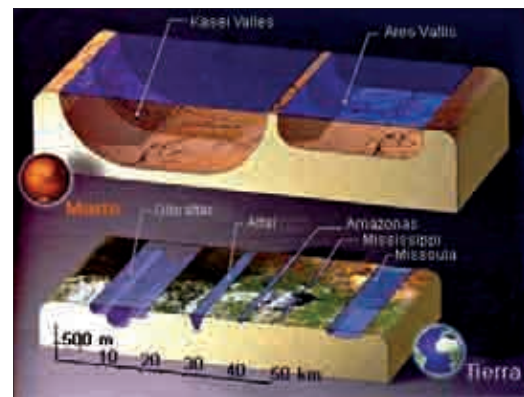


Figura 7e. Comparación de Kasei e Ares, os dous maiores leitos marcianos, co Amazonas, o río máis caudaloso da Terra.

- Busca en Internet exemplos de ríos ou vales da Terra que se asemellen aos leitos de auga marcianos representados nas figuras 7a e 7c.
- Explica a xustificación da posible existencia dun mar en Marte baseada na comparación das proporcións de deuterio e hidróxeno entre Marte e a Terra.

- Os maiores destes leitos acaban nunha gran depresión de varios quilómetros de profundidade que ocupa o terzo norte do planeta. Moitos científicos pensan que alí houbo un océano (que chamaron Oceanus Borealis, o océano do norte) cunha profundidade media de case 600 metros. Unha das probas é que a depresión está cuberta por sedimentos, que puideron ser depositados pola auga.
- Case todos estes leitos de auga son moi antigos, o que indica un ou varios períodos de clima húmido na historia primitiva de Marte: foi nestas épocas cando existiría Oceanus Borealis. Así e todo, tamén hai leitos formados hai poucos millóns de anos, e mesmo pequenos corgos formados nos últimos anos (Figura 8).



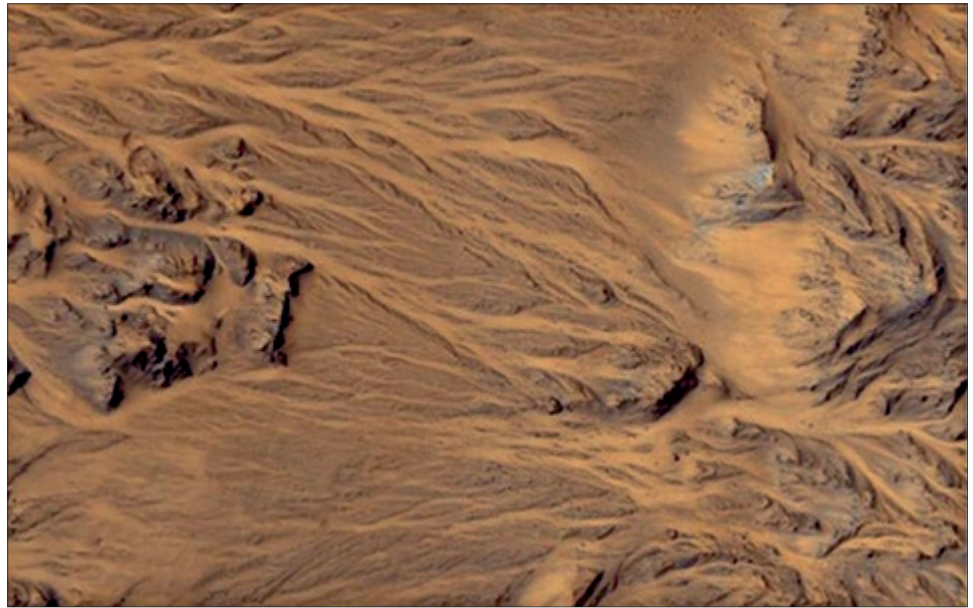


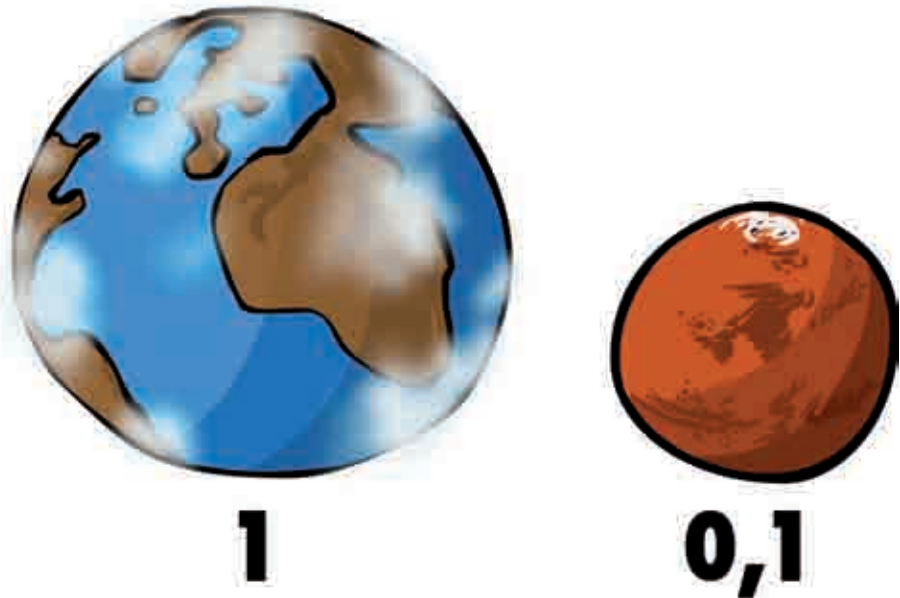
Figura 8. Corgos en Marte. O feito de que non haxa cráteres de impacto significa que se formaron hai moi pouco tempo (igual que un moble sen rabuñaduras non pode ser demasiado antigo).

Onde está agora a auga que escavou os leitos e depositou os sedimentos? Velaí a grande incógnita de Marte, que se vai desvelando paseniño. Descubriuse que no subsolo do planeta existe unha gran cantidade de xeo, que forma ata o 90 % do terreo no norte do planeta. Así que unha parte importante do antigo océano está aínda alí, conxelado e cuberto por po transportado polo vento. O resto evaporouse e perdeuse no espazo.



- Que credes que pode pasar nun planeta para que un océano se conxela e desapareza?
- Que relación existe entre a masa e a gravidade?

Os científicos cren que o Marte primitivo tiña auga líquida e unha atmosfera densa de gases de invernadoiro (CO₂ sobre todo), pero que esta última se perdeu por mor da baixa gravidade do planeta (a masa de Marte é só o 10 % da terrestre).



Ao se perder a atmosfera e, xa que logo, o efecto invernadoiro, a temperatura do planeta caeu en picado: unha parte da auga converteuse en xeo e o resto evaporouse e perdeu no espazo.

Puido xurdir vida en Marte durante o seu período húmido? En teoría si, mais non hai datos para coñecermos a probabilidade deste proceso. Nos momentos finais, cando a auga líquida estaba a desaparecer, as súas características eran moi hostís para a vida: habíase parecer máis a un ácido saturado de sal, onde se disolvería en poucas horas calquera organismo vivo.

- Dos lugares marcianos que coñeces, en cal buscarías vida? Xustifica a resposta.

Como vemos, hai moitos máis datos sobre a auga marciana que sobre a de Venus. Pero, se se confirma o que se pensa ata agora, os dous planetas teñen algo en común: un clima benigno que mudou a outro terrible. Ou sexa, que a Terra non é o único planeta que sufriu cambios climáticos globais.

- Como seguro que sabes, os científicos achegaron moitas probas de que o actual cambio climático foi causado pola actividade humana; non obstante, esta conclusión ten sido discutida. Como cres que pode influír neste debate a hipótese dos cambios climáticos globais en Venus e Marte?
- Poden ter estas discusións actuais sobre o cambio climático fundamentos diferentes ás que caracterizan o método científico? Xustifica a resposta.





Alén da liña de neve

Ao cruzar esta fronteira de auga atopamos mundos ben distintos á Terra, Venus e Marte. Por exemplo, Urano e Neptuno, que están formados case totalmente por auga, e algúns satélites dos planetas xigantes que teñen superficies que están formadas case sempre por xeo. As densidades da maioría destes corpos son pouco maiores que 1, polo que supoñemos que no seu interior tamén predomina a auga. Europa, que orbita arredor de Xúpiter, presenta unhas paisaxes que recordan as dos mares xeados da Terra cando chega a primavera e a cuberta de xeo empeza a rachar (Figura 9). A única explicación deste fenómeno é a existencia en profundidade dun océano subterráneo. Este tería máis de cen quilómetros de espesor e o seu volume triplicaría a suma de todos os océanos da Terra.

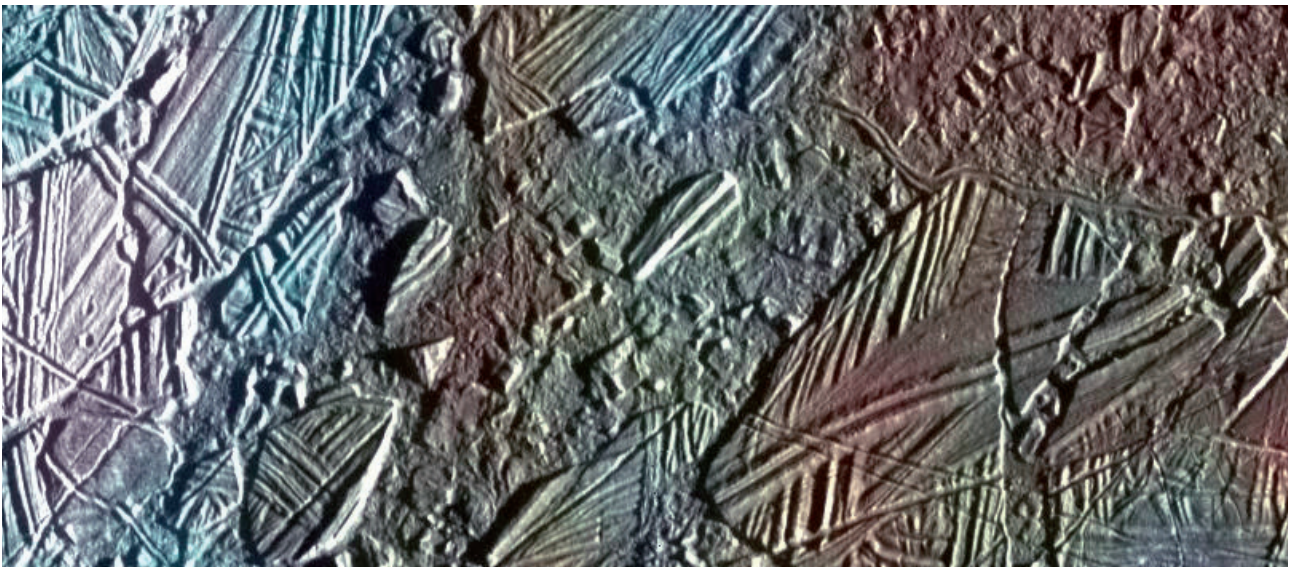
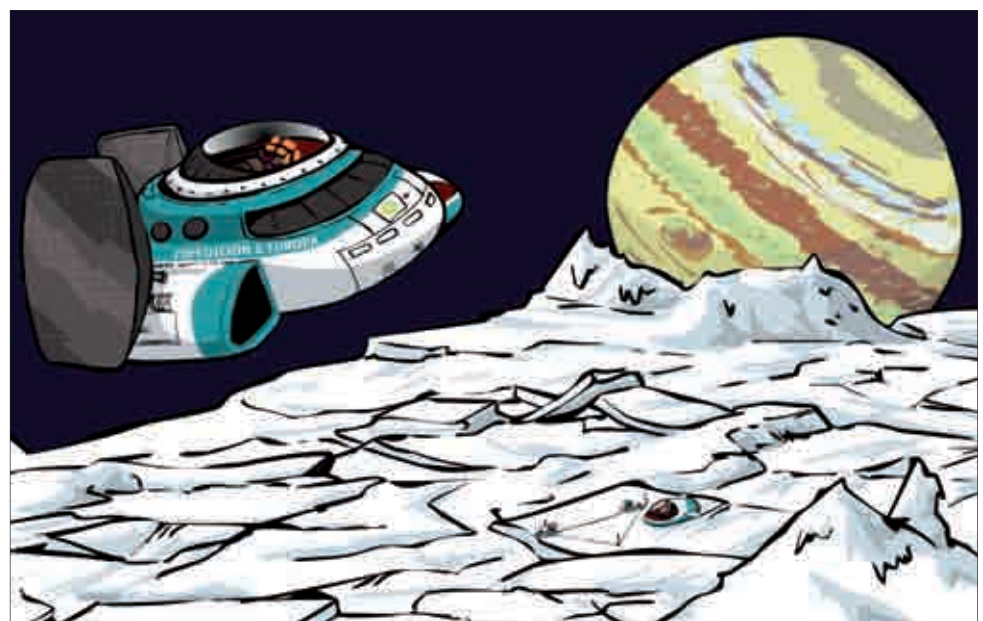


Figura 9. Este caos de bloques xeados na superficie de Europa sería imposible se non houbo un océano subterráneo baixo o xeo.



- Por que non podería haber un océano na superficie de Europa? Busca na rede datos sobre este satélite para responderes.

Este concepto de océanos subterráneos cachou por sorpresa aos científicos planetarios; despois, novas investigacións demostraron a súa existencia en varios satélites máis: en Ganimedes e Calisto, en órbita de Xúpiter, en Encélado, que vira arredor de Saturno, e en Tritón, en derredor de Neptuno. Algúns destes mares invisibles son realmente enormes. Ganimedes (que é o maior satélite do Sistema Solar) seica está formado nun 50 % por auga, o que daría un volume de líquido 27 veces maior ca a hidrosfera terrestre! Outros, coma Encélado, poñen de manifesto a súa auga oculta con geysers que alcanzan varios quilómetros de altura (o maior geysers terrestre só se elevou 400 metros).





E para rematar, chegamos aos confíns do Sistema Solar, o reino dos cometas (Figura 10), compostos por auga nas súas catro quintas partes; a última proba de que, aínda que vivamos nun mundo formado sobre todo por rochas, a auga é o composto máis estendido entre os corpos deste sistema e, moi probablemente tamén, nos moitos outros sistemas de planetas do Universo.



Figura 10. O núcleo do cometa Halley, de 13 x 7 quilómetros, libera gases (vapor de auga, sobre todo) no seu paso cerca do Sol en 1986.

● Constrúe unha gráfica e representa nela os volumes de auga dalgúns dos corpos que apareceron neste tema:

- Exoplaneta GJ1214b: $10 \times 10^{12} \text{ km}^3$ de auga
- Urano: $13 \times 10^{12} \text{ km}^3$ de auga
- Neptuno: $12 \times 10^{12} \text{ km}^3$ de auga
- Ganimedes: $18 \times 10^9 \text{ km}^3$ de auga
- Europa: $4 \times 10^9 \text{ km}^3$ de auga
- Encélado: $1,4 \times 10^7 \text{ km}^3$ de auga

Compáraos co volume da hidrosfera terrestre, que como xa sabemos é de $1,4 \times 10^9 \text{ km}^3$, e á que por comodidade imos dar o valor 1.

● Responde co estudado neste apartado ás cuestións iniciais: "RESPONDE CO QUE SABES AGORA".