

PO DE ESTRELAS

NOVAS RECEITAS CIENTÍFICAS
DE *OS DADOS DO RELOXEIRO*

Xurxo Mariño Alfonso



O Sol, nacemento e morte dunha estrela

COMPARACIÓN DO TAMAÑO DO SOL COS SEUS PLANETAS



1. Nebulosa

É unha concentración de po e gas cunha porcentaxe moi alta de átomos de hidróxeno que procede da morte doutras estrelas ou, nun primeiro momento, do Big Bang

2. A gravidade fai que o po e o gas se condensen nunha bóla cuns grumos arredor máis fríos, que formarán os planetas

3. A estrela
A inmensa temperatura de 15 millóns de graos do núcleo fai que os átomos de hidróxeno se combinen para formar helio. Esta fusión termonuclear libera moitísima enerxía: de aí vén a luz e a calor que recibimos do Sol

4. Xigante vermella

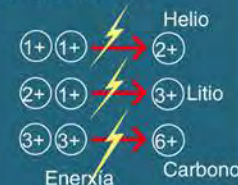
As estrelas de tamaño medio, como o Sol, van rematar a súa vida como ananas brancas. Previamente expandiranse moito engulindo os planetas máis próximos

7. Na explosión da supernova as temperaturas son tan altas que se forman moitos tipos de átomos

Miles de millóns de astros comparten espazo na nosa galaxia. O Sol é unha estrela convencional, que naceu e morrerá como tantas outras no Universo. Mentres, mantén con vida os seres que habitamos o planeta Terra

FABRICANDO ÁTOMOS

Combinando os átomos de hidróxeno, o elemento máis simple cun só protón, fórmanse todos os demais da táboa periódica. Ademais é un proceso xerador de enerxía



Anana branca
A atmosfera exterior da estrela oscila e tórnase inestable, expulsando moita materia e formando unha nebulosa planetaria, cunha anana branca no interior

Púlsar

É unha estrela de neutróns que emite enerxía de maneira rítmica

Buraco negro

Se o núcleo ten moitísima masa, remata nunha estrela cun campo gravitatorio tan intenso que é capaz de atrapar a luz

6. Supernova

Despois da explosión, o núcleo da supernova pode rematar sendo un buraco negro ou unha estrela de neutróns

5. Superxigante vermella

As estrelas que teñen moita máis masa que o Sol converteranse nunha superxigante que rematará estoupando

Anana negra

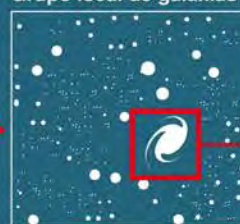
O Sol rematará a súa vida como unha esfera pouco máis grande que a Terra, que se irá apagando lentamente até converterse nunha chea de cinzas

O NOSO ENDEREZO NO UNIVERSO

Universo



Grupo local de galaxias



Vía Láctea



Sistema solar

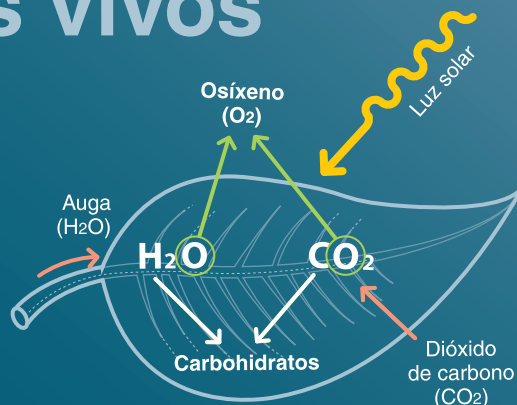


A IDADE DO SOL



Sol e carbono, o alimento para os seres vivos

O planeta que habitamos ten as condicións idóneas para que xurda a vida, polo menos tal e como a coñecemos. Na súa superficie hai auga (H_2O) en estado líquido, e na atmosfera atopamos outro elemento necesario para os seres vivos, o dióxido de carbono (CO_2). A enerxía do Sol é utilizada para combinar o hidróxeno (da auga) e o carbono (do CO_2), formando substancias nutritivas que alimentan os seres vivos. Gran parte deste carbono volve á atmosfera, nun ciclo que mantén o equilibrio natural

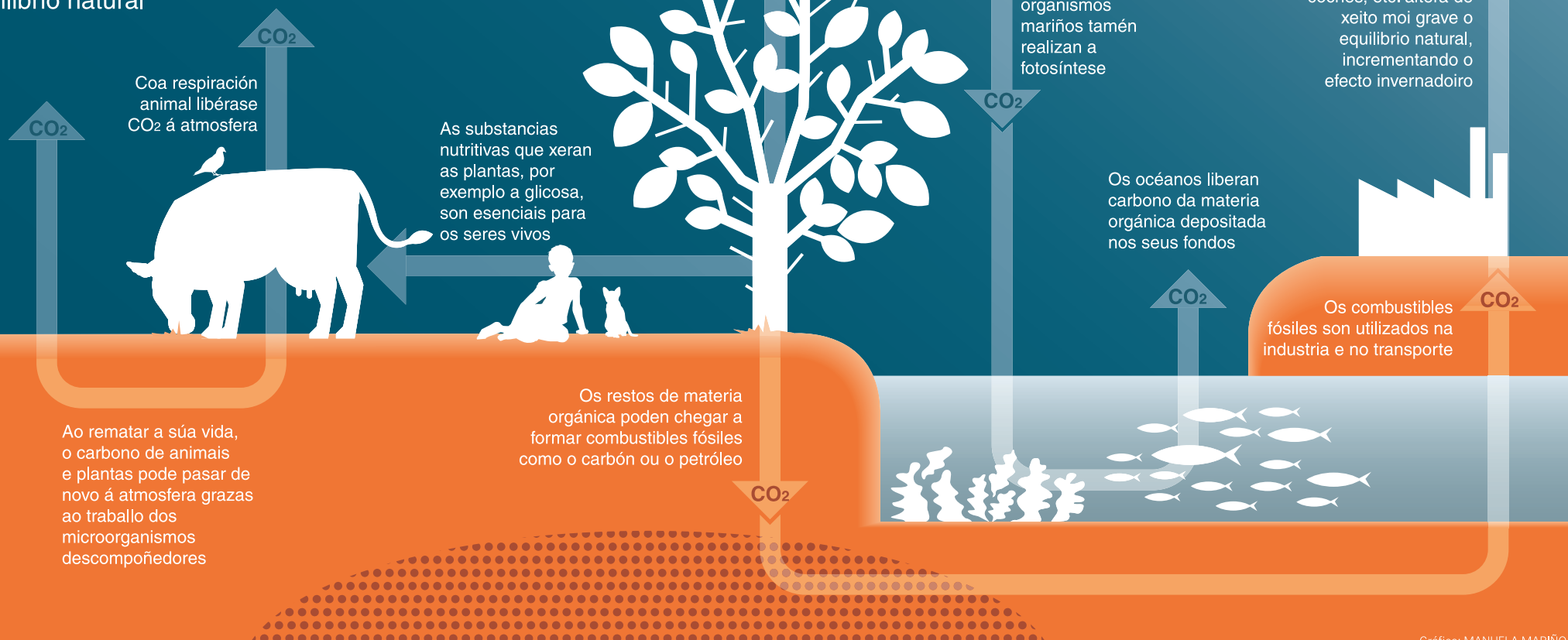


Fotosíntese

As plantas recollen CO_2 da atmosfera e auga do solo para producir carboidratos (azucres), que logo serven tamén de alimento aos animais. Este proceso, chamado fotosíntese, precisa da radiación solar e ten ademais como efecto secundario a liberación de osíxeno

O CARBONO DA ATMOSFERA

Mediante a fotosíntese as plantas converten o carbono do CO_2 no seu propio alimento



Efecto invernadoiro

O exceso de CO_2 impide a saída do calor emitida pola superficie da Terra. Isto provoca que quede atrapada na atmosfera, aumentando perigosamente a temperatura



A gran cantidade de dióxido de carbono emitido por industrias, coches, etc. altera de xeito moi grave o equilibrio natural, incrementando o efecto invernadoiro

As algas e outros organismos mariños tamén realizan a fotosíntese

Os océanos liberan carbono da materia orgánica depositada nos seus fondos

Os combustibles fósiles son utilizados na industria e no transporte

Os restos de materia orgánica poden chegar a formar combustibles fósiles como o carbón ou o petróleo

Ao rematar a súa vida, o carbono de animais e plantas pode pasar de novo á atmosfera grazas ao traballo dos microorganismos descompoñedores

PO DE ESTRELAS

MARIÑO ALFONSO, Xurxo

Po de estrelas : novas receitas científicas de Os dados do reloxeiro / Xurxo Mariño Alfonso ; con ilustracións de Santy Gutiérrez ; e infografías de Manuela Mariño. — Santiago de Compostela : Consello da Cultura Galega, Sección de Ciencia, Técnica e Sociedade, 2007. — 182 p. : il. ; 23 cm DL 4340-2007. — ISBN 978-84-96530-49-2
1. Ciencia-Obras de divulgación. I. Consello da Cultura Galega. Sección de Ciencia, Técnica e Sociedade

© ILUSTRACIÓNS

Santy Gutiérrez

© INFOGRAFÍAS

Manuela Mariño

© TEXTOS

Xurxo Mariño Alfonso

© CONSELLO DA CULTURA GALEGA, 2007

Pazo de Raxoi, 2º andar

Praza do Obradoiro, s/n

15705 Santiago de Compostela

Tel. 981 957 202 Fax 981 957 205

correo@consellodacultura.org

Web: <http://www.consellodacultura.org>

ISBN 978-84-96530-49-2

Depósito legal C 4340-2007

Imprime: Servizo de Edición Dixital
da Universidade de Santiago
de Compostela - Unidixital

PO DE ESTRELAS

NOVAS RECEITAS CIENTÍFICAS
DE OS DADOS DO RELOXEIRO

XURXO MARIÑO ALFONSO

Con ilustracións de Santy Gutiérrez
e infografías de Manuela Mariño



CONSELLO
DA CULTURA
GALEGA

SECCIÓN DE CIENCIA, TÉCNICA E SOCIEDADE

ÍNDICE

Limiar	9
<i>Ese mundo de aí fóra</i>	
Breve guía de campo do Sol, ese descoñecido cotián (1)	15
Breve guía de campo do Sol, ese descoñecido cotián (2)	21
O principio antrópico, ou como explicar un mundo físico de precisión	25
Primeiras impresións dunha correspondente nun mundo novo	31
Os astronautas, exploradores flotantes do século XXI. Como se adestran e para que	37
Algúns problemas de vivir nas naves espaciais, eses estupendos hoteis rodeados de baleiro	43
O tempo espacial, unha previsión útil mais complexa	47
<i>A vida que coñecemos</i>	
Buscando vida no planeta Terra.	55
Unha visión do papel dos seres vivos na natureza . .	61
As distintas velocidades do tempo e o reloxo radioactivo	67
Evolución vs. creacionismo, un debate inexistente. .	73
O sólido método científico e a insoportábel levidade do <i>Homo sapiens</i>	79
Autoorganización e evolución sen selección natural	83
<i>Seres humanos</i>	
A mente bilingüe	89
En busca dunha explicación neurolóxica a certas habilidades místicas	93

A maior lonxeidade das mulleres: un asunto de corazón	97
Coidado co monóxido de carbono: un gas doméstico que hai que ter en conta	101
Mente, movemento e a recuperación da actividade perdida	105
Depresión, serotonina e propaganda farmacéutica . .	109
O ADN mitocondrial, un terceiro en discordia	115

Do que somos capaces

De John Harrison ao reloxo óptico, unha historia do tempo	121
O ano en que Einstein floreceu	127
Unha ollada á segunda gran revolución informática. .	133
O papel dos computadores nas demostracións matemáticas	139
Como funciona o ar acondicionado? Creando frío con substancias refrixerantes	145
Os problemas de vivir sendo un analfabeto dos números.	149
Cal é o invento máis importante dos últimos 2000 anos?	153
O proceso de aceptación dos descubrimentos científicos	157

Seres non humanos

A historia das formigas que constrúen trampas para facer emboscadas ás súas presas	165
A coevolución de morcegos e bolboretas nocturnas, unha historia sen fin	169
Véxome reflectido, logo existo: experimentos con espellos na procura da identidade individual . . .	175
A importancia dos microorganismos na vida do planeta Terra	179

LIMIAR

O Consello da Cultura Galega desde a súa mesma fundación apostou claramente pola ciencia como unha forma máis da cultura. Primeiro, a partir da Sección de Patrimonio Natural, na que se observaba a natureza como un dos referentes fundamentais da nosa identidade como pobo, e sobre todo, despois, coa creación da Sección de Ciencia, Técnica e Sociedade, na que se tentaba afondar nos trazos que servían para identificar os valores culturais da ciencia.

Unha dificultade que se atopou xa desde as primeiras formulacións en relación cos traballos que desenvolver nas dúas seccións foi como achegar a ciencia á sociedade dun xeito que non deturpara os seus propios valores (obxectividade, certeza, utilidade...) e que ao mesmo tempo establecera un diálogo aberto entre os creadores da ciencia e da técnica e o público en xeral. Había a conciencia de que estes valores xa estaban a marcar dun xeito difuso e mesmo imperceptíbel a cultura contemporánea, pero a través de múltiples e pouco definíbeis vieiros que transmitían unha imaxe da ciencia e da técnica as máis das veces abeirada cara aos seus aspectos máis espectaculares e aplicados. O que se deu en chamar o «espectáculo da ciencia» e a visión da tecnociencia como «solución-de-todos-os-problemas» pasou a ser o referente fundamental dos contidos que xeraban os medios de comunicación.

Por outra parte, a linguaxe cada vez máis especializada e críptica das publicacións científicas establecía unha barreira real para unha transmisión veraz do feito científico ao público en xeral. Para moitos, mesmo existía unha imposibilidade propia da metodoloxía científica para que se puidera facer unha auténtica comunicación destes saberes científicos, polo que a súa vulgarización se convertía nunha quimera. Por isto, había que preocuparse, máis que por unha auténtica comunicación

(de feito imposíbel), por unha «tradución» do feito científico que preservase ao máximo os valores da ciencia e da técnica. Niso consistiría a verdadeira vulgarización científica.

Consciente a Sección de Ciencia, Técnica e Sociedade de que atopar un xeito apropiado de vulgarización científica era un dos obxectivos fundamentais que debía procurar no seu traballo, ensaiou diferentes formatos: congresos, exposicións, debates, informes, cómics etc., co que acumula na actualidade xa unha certa experiencia que nos pode permitir formular xuízos sobre o alcance e limitacións de cada un deles.

A publicación hai dous anos de *Os dados do reloxeiro* de Xurxo Mariño foi unha das experiencias máis satisfactorias no terreo da vulgarización científica que se realizou no Consello da Cultura Galega. Inicialmente non foi algo madurado e xerado pola propia Sección, senón que nos chegou como unha iniciativa de relatos curtos quincenais de divulgación para o Portal do Consello que Xurxo nos enviaba desde a súa estadia no MIT americano. Do valor e da potencialidade dos relatos decatámonos deseguido e, por iso, foi apoiada a iniciativa sen vacilacións; converteuse nunha das seccións fixas do portal e, mesmo poderíamos engadir, das máis agardadas.

A idea de recoller estas achegas en formato de libro veu pouco despois e completáronse cun conxunto de viñetas humorísticas que xeraran outro atractivo engadido. Non era frecuente en España mesturar os contidos científicos –aínda que foran de vulgarización– co humor. Esta práctica tiña xa unha certa tradición no mundo anglosaxón (como as viñetas de Sindey Harris no *American Scientist*), mais na cultura científica hispana víase case como unha profanación. Porén entendiamos que a ollada humorística sobre a ciencia era tamén outra forma de cultura, mesmo, diríamos, que era unha ollada dunha cultura máis adiantada e madura que nos permitía rir de nós mesmos e relativizar e desdramatizar os nosos feitos. Como galegos, atopabámonos perfectamente preparados para iso e a fina e sa ironía dos debuxos do Carrabouxo achegaba os vimbios necesarios para que a tarefa acadase éxito, como así estimamos que sucedeu.

O libro que se ofrece agora, *Po de estrelas*, é unha nova versión das achegas que puntualmente Xurxo Mariño segue enviando ao Portal

do Consello. E aínda que semellase que este libro puidese ser «máis do mesmo», a realidade é que o autor, despois de máis de catro anos de experiencia no traballo de presentar en formato atractivo e de fácil lectura a ciencia máis actual e tamén de afrontar novos retos en vulgarización da ciencia, como os suxestivos «cafés científicos», na actualidade é outra persoa, con máis coñecementos (o seu labor de investigador en neurociencias non se detivo) e con outra visión de como se poden «traducir» a ciencia e a técnica aos nosos conveciños. Coas súas potencialidades, as súas dificultades e, quizais o máis importante, cos seus límites –esas fronteiras que xamais se poderán atravesar–, fai que os relatos estean impregnados doutro saber-facer, doutra visión do mundo en que se inscriben, o que, sen dúbida, os fai diferentes.

De todos os xeitos, este libro ten tamén outras novidades, como son a autoría do humorista e os infogramas que se achegan na cuberta e na contracuberta do libro. Santy Gutierrez é un debuxante de humor das novas xeracións que fai un bo contrapunto coa mestría e veteranía do Carrabouxo da publicación anterior, e a cor e a síntese conceptual que se recolle nos infogramas de Manuela Mariño é un paso máis en relación coas posibilidades do mundo gráfico como linguaxe da vulgarización científica.

Para rematar, sería inxusto non citar o labor de promotor e animador de todos estes proxectos de Manolo Gago, responsábel do Portal do Consello. A el débesele coñecer a Xurxo Mariño así como moitas das ideas que despois se plasmaron no mundo dos bits informáticos e do papel impreso, por onde transcorre o día a día dese proxecto ilusionante de facer unha cultura actual, pero sen desertar das nosas identidades, que é a cerna do quefacer do Consello da Cultura Galega. Esta tarefa, sen dúbida, acáelle moi ben a todos aqueles que pensamos que a cultura científica é un dos sinais de identidade dos nosos tempos e que, como tal, débese constituír nun dos eixes inspiradores da nosa identidade, imaxinando xeitos de traballo nos que todo o que de universal supoñen a ciencia e a técnica se conxugue, sen distorsións, con ese mundo do cotián e achegado que define o contorno do máis noso.

Francisco Díaz-Fierros Viqueira

ESE MUNDO DE AÍ FÓRA

BREVE GUÍA DE CAMPO DO SOL, ESE DESCOÑECIDO COTIÁN (1)

Todas as mañás un astro enorme asoma polo horizonte e, grazas ao xiro da Terra, desprázase polo ceo enchendo todo de luz e calor. O Sol, a estrela que está máis preto do noso planeta, é o motor de todas as plantas e animais; sen el a vida na Terra non existiría, cando menos tal e como a coñecemos. Mais... que coñecemos do astro rei? De onde saen a calor e a luz? Por que todos dependemos del?

Xa os exipcios, hai varios miles de anos, apreciaban a importancia do Sol, adorado como un deus supremo ao que lle chamaban Ra. A Terra e outros 7 planetas damos voltas ao seu redor, formando unha entrañábel familia que se chama Sistema Solar (algo que a igrexa católica tardou en aceptar, xa que lle gustaba pensar que era a Terra a que estaba no centro do Universo). O Sistema Solar tampouco se encontra no centro de nada: estamos nunha barriada do extrarradio da galaxia Vía Láctea. Agora sabemos que o Sol, en termos cosmolóxicos, é absolutamente insignificante: forma parte dunha galaxia en que hai outros 100 000 millóns de colegas parecidos. O de «astro rei» está ben, aínda que só para consumo doméstico: para nós o Sol é absolutamente vital –no sentido máis literal da palabra.

Que é o Sol?

É unha estrela común, formada basicamente por cantidades enormes de hidróxeno (un 95%) e tamén unhas chiscas de helio (3%) e elementos pesados (2%). Os átomos de hidróxeno, que se formaron na grande explosión inicial ou big bang, estaban inicialmente dispersos no Universo, mais esa forza que chamamos gravidade e que fai que os corpos con masa se atraian uns aos outros –cunha intensidade que é directamente proporcional ao produto das masas e inversamente proporcional ao cadrado da distancia– provocou que os

gases se xuntasen e condensasen nun espazo relativamente pequeno –falando en termos cosmolóxicos, claro–, para formar unha enorme pelota.

Que ocorre no Sol?

Ao xuntarse cantidades enormes de átomos de hidróxeno, no interior da pelota aumenta moito a presión e tamén a temperatura, xa que as partículas tropezan unhas con outras con moita frecuencia. De feito, as condicións de temperatura da nosa estrela son difíciles de imaxinar: uns 15 millóns de graos no interior e uns 6000 graos na superficie. Un excelente forno para cocer átomos e fabricar novos elementos. Porque iso é o que está a ocorrer no Sol: os átomos de hidróxeno combínanse entre si para formar helio e outros elementos máis complexos. Cada vez que se forma un átomo de helio, libérase enerxía en forma de radiación; esta radiación viaxa cara á superficie do Sol e, cando chega ao exterior –ao cabo de aproximadamente un millón de anos–, emítese principalmente como luz visíbel. Esa é a luz que chega á Terra: o produto da enerxía que se liberou hai moito tempo no interior do Sol ao formarse cantidades enormes de átomos de helio.

Fabricando átomos

Vexamos cun pouco máis de detalle en que consiste a formación de átomos novos a partir doutros máis simples. A maioría dos átomos son entidades físicas tremendamente estábeis, formados por un núcleo con protóns e neutróns, e unha parte externa na que revoan os electróns. As propiedades características de cada tipo de átomo (ou sexa, de cada elemento) veñen determinadas polo número de protóns que hai no núcleo. Por exemplo, o hidróxeno ten un núcleo cun so protón, o helio ten dous protóns, aos átomos con 6 protóns chamámoslles carbono, aos que teñen 7 protóns, nitróxeno, e así sucesivamente (hai unha táboa en que pode comprobarse o número de protóns que ten cada elemento: a chamada táboa periódica. Ao número de protóns chámasele número atómico). Se xuntamos dous protóns –e dous neutróns– podemos formar un átomo de helio, e con 3 átomos de helio fabricariamos carbono. En principio calquera substancia pode converterse en calquera outra simplemente modificando o número de partículas que hai no núcleo; o ouro, por exemplo, é o átomo que ten

79 protóns... vaia choio –este era o soño dos alquimistas!–. Mais a cousa non é tan doada: para arrancar ou incluír un protón no núcleo dun destes elementos é preciso vencer unhas forzas enormes que son as que manteñen as partículas intimamente unidas, unha especie de «super-glue» cunha forza descomunal (non podía ser tan doado iso de converter hidróxeno en ouro).

Central termonuclear

Que terían que facer os alquimistas para fabricar ouro? Quentar, elevar moito a temperatura, de tal xeito que as partículas atómicas alcancen velocidades enormes e choquen entre si, fundíndose. A isto chámase fusión termonuclear e, polo de agora, só ocorre no interior das estrelas. Por este sistema fórmanse no Sol cada segundo 700 millóns de toneladas de helio a partir de hidróxeno (!!). Estas reaccións termonucleares son as que formaron e están a formar todos os átomos que existen no Universo (excepto o hidróxeno). Como xa comentei noutro artigo: todos os átomos que forman parte do noso corpo, do corpo do resto de seres vivos, de todas as rochas e minerais, de todos os obxectos que vemos, todos, foron fabricados no interior dalgunha estrela.

Xogando a ser Ra

Hai tempo que os científicos se decataron de que a enerxía que se libera coa fusión nuclear pode ser moi útil para unha sociedade como a nosa, tremendamente necesitada de fontes alternativas que substitúan os contaminantes e limitados hidrocarburos (petróleo, gas natural etc.). O problema é que é moi complicado alcanzar na Terra as condicións necesarias (15 millóns de graos!). Na actualidade está en proxecto a construción do primeiro reactor de fusión termonuclear: é o chamado ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor). Levará tempo poñelo en marcha e comprobar se é posíbel obter enerxía a partir del; de conseguirse, os seres humanos teríamos por primeira vez un pequeno sol artificial nas nosas mans..., o soño dos alquimistas feito realidade.

Á parte da fusión, tamén hai a posibilidade de facer átomos novos ao revés: rompendo núcleos pesados noutros máis simples nun proceso que se chama fisión. Se a fusión é unha construción, a fisión sería unha especie de deconstrución. Na fisión de elementos moi pesados

tamén se libera enerxía e ademais este proceso pode levarse á práctica na Terra con máis facilidade que a fusión. Os seres humanos hai tempo que o facemos: as centrais nucleares e as bombas atómicas obteñen enerxía a partir da fisión de átomos de uranio ou plutonio.

É posíbel que no futuro teñamos enerxía de fusión; esperemos que imitar a Ra non traia tantos desastres como os que se derivan da fisión nuclear.

Ligazóns

Información da NASA sobre o Sol e resto do Sistema Solar

<http://sse.jpl.nasa.gov/planets/profile.cfm?Object=Sun>

Simulador de Sistema Solar

<http://space.jpl.nasa.gov/>

A táboa periódica

http://gl.wikipedia.org/wiki/T%C3%A1boa_peri%C3%B3dica_dos_elementos

Fusión nuclear

http://es.wikipedia.org/wiki/Fusi%C3%B3n_nuclear

ITER na Wikipedia

<http://es.wikipedia.org/wiki/ITER>

ITER - sitio oficial

<http://www.iter.org/index.htm>

Fisión nuclear

http://gl.wikipedia.org/wiki/Fisi%C3%B3n_nuclear



BREVE GUÍA DE CAMPO DO SOL, ESE DESCOÑECIDO COTIÁN (2)

O Sol é a fonte de enerxía para a vida na Terra. A historia do planeta está profundamente ligada ao da estrela que nos quenta e ilumina, e tamén ao seu destino. Un destino fatal.

Da mesma maneira que agora coñecemos moitas cousas da evolución biolóxica, tamén temos moita información sobre unha evolución a maior escala, tanto no tempo como no espazo: a evolución do Universo. Si, o Universo evoluciona; continuamente hai estrelas que nacen, outras que morren, e outras que se encontran nalgunha etapa intermedia da súa existencia; e parella a esta evolución estelar vai a evolución dos planetas e de todo o que poida existir neles. Deste xeito, a vida na Terra depende criticamente da historia do Sol. Como é esta historia?

Nacemento do Sistema Solar

O Sol formouse hai uns 5000 millóns de anos (m.a.) debido á acumulación de po e gas por efecto da gravidade. Estes compoñentes proviñan, pola súa vez, da morte doutras estrelas máis antigas. Daquela a Terra e o resto de planetas veciños aínda non existían; estes comezaron a formarse a partir de restos do mesmo material que estaba a formar o Sol, materia que foi xuntándose e orixinando unha especie de «grumos» que xiraban arredor da nacente estrela. O resultado deste baile cósmico foi unha concentración enorme de materia, o Sol, rodeada por outras pequenas concentracións que non alcanzaban a temperatura suficiente para que no seu interior ocorresen reaccións termonucleares, os planetas.

Nestes últimos 5000 m.a. pasaron moitas cousas. O feito de que os planetas sexan «fríos» permitiu, en concreto na Terra, a aparición de

seres vivos. A evolución da vida é un acontecemento secundario que acontece dentro doutra evolución de maior rango. Cara a onde van a Terra e o Sol? Que vai ocorrer con estes astros?

Morte do planeta Terra

Ao Sol vai pasarlle o mesmo que lles acontece a todas as estrelas de características similares: morrerá, deixará de emitir enerxía dentro duns 5000 m.a. Estamos, por tanto, no medio da súa vida. Durante ese tempo o Sol queimarán o combustíbel que aínda lle queda (o hidróxeno) e, unha vez esgotado, comezará a aumentar de tamaño para converterse nun monstro que engulirá os planetas máis próximos, incluída a Terra. Este é o destino fatal do noso planeta: perecer abrasado por unha estrela agonizante. Daquela a vida na Terra xa terá desaparecido porque ao comezar a crecer o Sol o incremento de temperatura provocará a evaporación de toda a auga da superficie do planeta: os seres vivos dependemos da auga, estamos formados por ela.

Isto quere dicir que á vida na Terra lle quedan menos de 5000 m.a. Que vai pasar coa nosa especie? Desaparecer? Emigrar a outros planetas?

Morte do Sol

Mais sigamos coa estrela. Como dicía, aumentará moitísimo de tamaño e converterase nun tipo de estrela chamada xigante vermella. Este incremento de volume é debido a un cambio no proceso de fusión do hidróxeno: inicialmente ocorre no núcleo que está no centro, mais agora comeza a producirse nas capas máis externas, as cales se expanden debido ao aumento de presión. A continuación o Sol, ou o que quede del, expulsará ao exterior gran cantidade de materia e orixinará unha nebulosa. No interior o núcleo pasará a ser unha «pequena» esfera (pouco maior que a Terra actual): a este tipo de estrelas chámase-las ananas brancas. O noso Sol, transformado agora nunha anana branca, irá apagándose pouco a pouco até converterse nun montón de cinzas.

A nosa estrela vai ter ese destino porque ten relativamente pouca masa. Hai outros astros máis masivos que rematan a súa existencia estoupando, orixinando as chamadas supernovas. Algunhas destas

supernovas dan lugar a unhas estrelas que emiten enerxía de maneira rítmica: son as estrelas de neutróns ou *pulsars*. Outras, as supernovas de moitísima masa, rematan como buracos negros, estrelas cun campo gravitatorio tan intenso que é capaz de atrapar até a luz.

Re-nacemento

Mais as estrelas son como a Ave Fénix e volven xurdir das súas cinzas. A materia que é emitida ao espazo polos astros agonizantes pode volver xuntarse por efecto da gravidade, para orixinar novas estrelas e planetas. De feito, os científicos consideran que o Sol é unha estrela de terceira xeración, contando desde o big bang.

Ao mirar polas noites o ceo podemos ver astros en distintas etapas da súa existencia: nubes de po e gas concentrándose para formar novos mundos, como a Nebulosa de Orión; estrelas moi mozas, como as Pléiades; medianas, como o Sol; vellas, como a xigante vermella Aldebarán; ou restos de supernovas, como a Nebulosa do Cangrexo.

Toda esta enciclopedia galáctica de vida e morte está aí, á nosa vista.

O PRINCIPIO ANTRÓPICO, OU COMO EXPLICAR UN MUNDO FÍSICO DE PRECISIÓN

Vivimos nun Universo excepcional. Os valores das constantes físicas que gobernan a estrutura do cosmos están axustados cunha precisión demencial, de tal xeito que un mínimo cambio daría lugar a un Universo absolutamente distinto ao actual no que a vida, tal e como a coñecemos, non podería evolucionar. Casualidade? Hai algunha razón para que, de entre todas as combinacións posíbeis de constantes físicas, as que existen sexan precisamente as únicas que permiten un mundo físico coma este? Somos os seres vivos a consecuencia dunha combinación de sucesos practicamente imposíbeis?

O Universo está ordenado, moi ordenado. Isto pode parecer algo normal, mais non o é; cando menos non hai unha explicación clara de por que é así e non doutra maneira. A materia e a enerxía, átomos, moléculas, seres vivos, planetas e galaxias respectan unhas leis que permiten o florecemento de estruturas fermosamente harmoniosas. O corazón dos científicos non pode deixar de acelerarse cada vez que algún constituínte da natureza revela esa precisión, esa orde.

Non me toques estas constantes

A velocidade de expansión inicial do Universo e a intensidade da forza da gravidade parecen estar axustadas finamente para evitar que se producise un colapso nos primeiros momentos do big bang e, ao mesmo tempo, para permitir a condensación gravitacional que dá lugar a estrelas e planetas. A carga eléctrica do electrón é exactamente a que ten que ser para que as estrelas poidan funcionar como centrais termonucleares, queimando hidróxeno e helio, construíndo átomos de carbono e osíxeno, sementes de vida. A relación entre a masa do protón e a do electrón (o protón é 1836, 15 veces máis pesado que o electrón) é a xusta para impedir un colapso da estrutura atómica e,

con iso, da física do cosmos que coñecemos. Esta lista de constantes físicas e os seus valores críticos é moito máis longa, todas necesarias, todas axustadas con precisión de reloxeiro.

Lixeirísimas modificacións nesas constantes impedirían a evolución dun Universo coma o actual e, é claro, a evolución de vida intelixente coma a actual. Dá a impresión de que todos eses valores están afinados até o milímetro para permitir o desenvolvemento da vida. De momento non hai ningunha explicación que nos ilumine e indique por que eses valores e non outros; as teorías físicas actuais non poden predicilos, sabemos que son así porque podemos medilos.

Unha solución de xastre

Á falta de explicacións, os físicos botan man do chamado principio antrópico, tan interesante como sinxelo. Vén a dicir algo así como: as constantes físicas son as que son porque, de ser distintas, non habería vida intelixente para observalas. Non hai nada que impida que existan outros mundos con outras constantes físicas, mais neses casos non existirá vida intelixente, polo menos como a que coñecemos neste mundo. O principio antrópico ten dúas versións, ou dúas formulacións, dependendo do punto de vista dos científicos. O principio antrópico débil, baseado na existencia dun único Universo, di que a aparición de vida intelixente só pode ter lugar en momentos moi concretos do tempo e do espazo. Os seres intelixentes non deberían de sorprenderse, por tanto, de que a súa aparición coincida coa existencia de, precisamente, as condicións que a fan posíbel. O principio antrópico forte vai un pouco máis lonxe e está baseado na existencia de moitos universos –ou dun Universo con rexións heteroxéneas respecto ás leis físicas que as gobernan–; neste caso, só unhas configuracións moi específicas das leis físicas permitirán a aparición de vida intelixente, que non tardará en preguntarse, por que estas leis físicas e non outras? Pois, precisamente porque se fosen outras non habería ninguén para facer preguntas.

Charlas cósmicas

O principio antrópico é un dos temas quentes de debate entre os físicos teóricos actuais. Uns defenden a súa utilidade e validez científica, mentres que hai outros que cren que é unha forma de dicir algo cando non se ten nada que dicir –ou sexa, cando non se ten

unha explicación para as constantes físicas. Unha das charlas máis interesantes está tendo lugar á vista de todos os interesados (ver ligazón máis abaixo) entre dous titáns da física moderna, Leonard Susskind –o «inventor» da teoría das supercordas– e Lee Smolin –«coinventor» da teoría da gravitación cuántica de lazo. Estas dúas teorías son as principais candidatas na busca dunha teoría global para a física. Smolin considera que o principio antrópico non pode ser refutado por un experimento e, por tanto, non pode considerarse un principio científico. Pola contra, Susskind, botando man da teoría das supercordas, cre que poden existir moitos universos con propiedades físicas diversas, polo que o principio antrópico ten moito sentido.

Unha casualidade como outra calquera

Independentemente de que existan infinitos universos ou só un (este en que estás agora), o que está claro é que neste as condicións para a vida son excelentes. E isto lévanos a outra pregunta fundamental para entender o noso papel no cosmos: é inevitábel a aparición de vida no Universo actual? O científico francés Jacques Monod escribiu en 1970 un fermoso ensaio titulado *Le hasard et la nécessité (Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne)*. O azar e a necesidade, estas serían as forzas naturais impulsoras da evolución darwiniana, que deron lugar, logo duns 3500 millóns de anos de evolución, ao *Homo sapiens*; unha historia que Monod, e a maioría de biólogos actuais, cre irrepetíbel e, ao mesmo tempo, intrascendente. «O home sabe por fin que está só na insensíbel inmensidade do Universo... nin o seu destino nin o seu deber foron escritos».

Esta idea darwiniana dunha evolución movida case exclusivamente polo azar e a continxencia está cambiando, pois as matemáticas e as simulacións con computadoras indican que neste Universo a materia ten unha tendencia natural para a autoorganización e a creación espontánea de complexidade, de tal xeito que a aparición de vida intelixente sexa algo moito máis común e até predicíbel do que imaxinamos. Ao mellor dentro de pouco a selección natural ten que compartir pedestal coas leis de autoorganización e complexidade. Mais esta é outra historia...

Ligazóns

Debate entre Leonard Susskind e Lee Smolin

http://www.edge.org/3rd_culture/smolin_susskind04/smolin_susskind.html

Vídeo de Leonard Susskind

http://www.edge.org/3rd_culture/bios/susskind.html

Vídeo de Lee Smolin

http://www.edge.org/3rd_culture/bios/smolin.html

Bibliografía

Davies, Paul: *Dios y la nueva física*, Ed. Salvat Editores, 1986.

Proyecto Cósmico, Ed. Pirámide, 1989.

Hawking, Stephen: *Historia del tiempo*, Ed. Planeta, 1992.

Monod, Jacques: *El azar y la necesidad*, Ed. Planeta, 1993.

Penrose, Roger: *La nueva mente del emperador*, Ed. Mondadori, 1991.



PRIMEIRAS IMPRESIÓNS DUNHA CORRESPONDENTE NUN MUNDO NOVO

Titán é a maior lúa de Saturno, a única no Sistema Solar cunha atmosfera importante. O ar nese mundo está formado, coma na Terra, por unha mestura de gases, mais é moito máis denso, de tal xeito que desde o exterior é imposíbel saber que aspecto ten a superficie. Hai uns anos revelouse este segredo por primeira vez: unha nave espacial soltou unha sonda que, atraída pola gravidade, caeu sobre Titán. Antes de esnafrarse contra a superficie, atravesou a atmosfera e tivo tempo para sacar fotos e tomar moitas medicións. Os seres humanos acabamos de descubrir un mundo novo, algo que non pasa todos os días... nin todos os séculos.

No ano 1655 o físico holandés Christiaan Huygens descubriu Titán, un corpo brillante de cor amarela-vermella situado a uns 1600 millóns de quilómetros de nós. Mais Titán era distinto a outros corpos do Sistema Solar; cuberto por un manto de gases –nitróxeno, metano etc.–, a súa superficie permaneceu invisíbel, incógnita aos ollos dos curiosos humanos durante case 400 anos. Até hai ben pouco.

Bos días, chámome Huygens e veño da Terra

O 25 de decembro de 2004 a nave espacial Cassini –que se encontraba sobre Titán, logo dunha viaxe de 7 anos, como resultado dun proxecto que levou 20 anos planificar– soltou unha sonda da ESA (Axencia Espacial Europea), de nome Huygens, co obxectivo de explorar a misteriosa lúa de Saturno. O 14 de xaneiro de 2005, ás 10 da mañá, a sonda topou coa atmosfera da lúa a unha velocidade de 20 000 km/h. Isto elevou a temperatura da superficie protectora da sonda até os 1600 graos e freou o aparato até uns 1800 km/h. Neste momento desprendéronse as cubertas protectoras. A misión chega ao momento crítico, comeza o descenso a través da atmosfera. Como será o mundo que está a punto de aparecer fronte

aos ollos de vidro da sonda? Os científicos súan, tremen, teñen os ollos pegados aos monitores...

Un comentarista deportivo podería contar os momentos que seguiron desta maneira:

Un gran paracaídas frea o aparato até 320 km/h e, cando chega a 120 km da superficie de Titán, outro paracaídas de menor tamaño toma o relevo. Dentro de 2 horas e media a Huygens esnafrarase contra a superficie da lúa –sólida?, líquida?, aínda non se sabe. Comeza a función. Queda pouco tempo. Os sistemas de medición que levaban 7 anos durmidos actívanse e comezan a tomar datos de maneira febril. Tres cámaras toman fotos, ao mesmo tempo que outros aparatos miden a composición da atmosfera e a velocidade do vento. Ao chegar a uns 20 km da superficie, do impacto, a sonda envía toda esa información á Cassini, que segue a orbitar a lúa. Na Terra os nerviosos científicos aínda non saben nada, esperan. Huygens segue a caer e 5 km antes do impacto analiza a composición química da superficie. Pouco antes do incerto «atitanaxe», a 700 metros, acende unha luz que permite estudar con precisión a zona do golpe final e... pataplún!!...

Un bo comezo

Había moi poucas posibilidades de que a sonda sobrevivise ao impacto e de que, incluso así, as baterías durasen, mais para sorpresa e maior ledicia de todos así foi –e tamén, por sorte, o paracaídas non cubriu a sonda. Entón outro grupo de instrumentos púxose a traballar. As présas eran nese momento moito maiores: non se sabía canto poderían durar as pilas e, ademais, a nave Cassini pronto desaparecería no horizonte e non podería recibir ningún dato. As cámaras tomaron fotos, o espectrómetro analizou gases e unha sonda, chamada penetrómetro, introduciuse na superficie. As pilas duraron 70 minutos.

Cando a Huygens calou para sempre, a nave Cassini enfocou as súas antenas cara á Terra e emitiu os valiosos datos... tardaron 67 minutos en chegar, viaxando á velocidade da luz polo inmenso baleiro que separa os dous mundos. Tres potentes antenas situadas en California (EE UU), Madrid e Camberra (Australia) foron as encargadas de recibir a información.

Coñecendo o curmán de Saturno

Había moitísimo interese en coñecer Titán. Os científicos cren que pode ser similar a como era a Terra ao comezo da súa existencia. Sabíase que en Titán hai substancias químicas e moléculas –hidrocarburos, nitrilos– parecidas ás moléculas orgánicas da Terra, parecidas ás moléculas da vida. Aínda que a temperatura é duns -180 graos, hai substancias que a esa temperatura son líquidas e poden ser o vehículo para a realización de reaccións químicas, por exemplo o metano –un hidrocarburo. Iso si, a esa temperatura as reaccións ocorrerán moito máis amodo; algo así como unha Terra a cámara lenta.

As fotos tomadas durante o descenso mostran canais, que se xuntan e desembocan nunha rexión máis escura. Aínda que parece que todas esas estruturas estaban secas no momento da exploración, os canais poden estar formados por ríos de metano e etano líquido, e as rexións escuras poderían formar auténticos lagos ou océanos.

As medicións tomadas na superficie indican que está composta de xeo de auga e hidrocarburos. O espectrómetro detectou varios gases, como etano, acetileno e outros hidrocarburos. Tamén se mediu gas metano, o que suxire que puido haber unha choiva desta substancia pouco antes da chegada da Huygens. As rochas están erosionadas, probablemente polo líquido que flúe de cando en vez. O penetrómetro, logo de introducirse 15 cm nas entrañas do novo mundo, indicou que o solo ten unha consistencia branda, como a da area, cunha codia na superficie algo máis dura.

Hai alguén aí?

De momento non se encontrou ningunha evidencia de vida, mais a existencia de evaporación, nubes, choiva e ríos é un caldo de cultivo estupendo para o desenvolvemento de moléculas orgánicas complexas. É moi probábel que calquera forma de vida precise dun medio líquido para facilitar o transporte de moléculas e a súa interacción. Mares e ríos de hidrocarburos son tan válidos para a vida como os mares e ríos de auga que hai na Terra. Unha vida moi distinta, por suposto.

A radio que nunca se acendeu

Os datos recollidos pola Huygens eran extremadamente valiosos, así que como medida de seguridade transmitíronse á nave Cassini por duplicado, a través de dous canais de radio independentes, A e B. Así é todo, o equipo da ESA encargado das fotografías decidiu arriscar e, en vez de enviar a mesma foto dúas veces, utilizaron os dous canais para enviar fotos distintas, desá maneira conseguirían recibir xusto o dobre de imaxes. Ademais, un experimento para calcular a dirección e a forza do vento utilizou unicamente o canal A. Mais algo fallou e o receptor da Cassini do canal A nunca recibiu a orde de activarse. Os sinais emitidos pola Huygens pasaron a carón dunha Cassini cega e perdéronse no espazo. Menos mal que foron previsores. Todos menos os encargados do experimento co vento e os das fotos que, en vez de obter as 700 imaxes esperadas, encontráronse coa metade.

Mais nin así se dan os científicos por vencidos. A emisión de radio da Huygens era de pouca intensidade, similar á dun teléfono móbil, mais tamén chegou até a Terra –tamén a do canal A–, aínda que como un sinal extremadamente débil –tan débil como o sinal do teu teléfono móbil que pode ser captada en Titán. Agora os astrónomos están tratando de recompoñer eses datos a partir das ondas captadas por unha rede de 18 radiotelescopios situados arredor do mundo.

O coñecemento que temos hoxe sobre Titán é un bosquexo, produto de botar unha ollada algo apresurada ao correo enviado pola nave Cassini. Queda moito por facer, os científicos teñen que analizar con coidado as montañas de datos recibidos. Será cousa de varios anos.

Ligazóns

ESA

<http://www.esa.int/SPECIALS/Cassini-Huygens/index.html>

NASA

http://www.nasa.gov/mission_pages/cassini/main/index.html





OS ASTRONAUTAS, EXPLORADORES FLOTANTES DO SÉCULO XXI. COMO SE ADESTRAN E PARA QUE

O traballo de astronauta é fascinante, perigoso e, tamén, moi escaso. En toda a historia da humanidade só un fato de persoas cunha capacidade e preparación extraordinarias foron e son tripulantes de naves espaciais. Na actualidade a Estación Espacial Internacional (ISS) é un lugar do Cosmos habitado permanentemente por seres humanos. Como é a vida en órbita destes exploradores do século XXI?

Cando aos astronautas se lles pregunta que describan a experiencia máis sobresaínte de todas as que se viven nunha misión espacial, case todos din o mesmo: observar, aínda que sexa por uns segundos, a Terra. A unha altura duns 400 quilómetros e a 27 800 km/hora de velocidade (datos da órbita da ISS), o planeta Terra aparece como unha enorme e fermosa esfera que pouco a pouco vai mostrando, coma se fose unha longa fotografía sen final, montañas, océanos, auroras boreais, cidades iluminadas pola noite, tormentas eléctricas, tormentas de area, linguas glaciarias, ríos, deltas e pozos de petróleo.

...e durmir de pé

Hai anos lin un libro titulado *Odisea dun astronauta*, no que Joseph P. Allen, un dos primeiros astronautas en voar na lanzadeira espacial, describe a indescritíbel sensación de observar a Terra desde o espazo, a unha velocidade que permite dar unha volta enteira cada 90 minutos –un amañecer e unha posta de sol cada hora e media! Conta Allen que outra experiencia única e desconcertante é a de ingravidez. Á parte da inexistencia de peso e outras consecuencias máis ou menos divertidas do asunto, en ausencia de gravidade deixa de existir algo tan cotián como a posición horizontal e os conceptos de arriba e abaixo fúndense nunha difusa esfera. Os receptores de equilibrio do cerebro indican que se está continuamente en posición vertical –é

imposíbel tombarse!—, algo que é un reto para a estabilidade psíquica dos viaxeiros espaciais —imaxinade pasar 6 meses así. Cando un astronauta dá unha pirueta o que percibe é que queda totalmente quieto e que o resto do mundo xira arredor seu. Outra consecuencia desta verticalidade perpetua é que non precisa dun sitio específico para durmir; o que fai é agarrarse —con velcro por exemplo— a calquera parede da nave e pechar os ollos. Se nos quedamos durmidos na Terra, por exemplo sentados nun autobús, a cabeza cae bruscamente a un lado, pegamos unha cabezada e espertamos de novo; mais iso non pasa no espazo, a cabeza non cae para ningún lado e un astronauta cansado pode quedar durmido en plena faena sen darse conta. Para evitar isto, conta Allen que algunhas veces os astronautas teñen que vixiarse entre eles para manterse espertos.

O adestramento dos homes e mulleres orquestra

Antes de voar fóra das garras da superficie terrestre, os astronautas candidatos pasan varios anos de exhaustivo adestramento. Deben converterse nunha especie de enciclopedias ambulantes con coñecementos sobre aeronáutica, enxeñaría, informática, medicina, meteoroloxía, psicoloxía, mecánica e todo o relacionado coas misións específicas que lles toquen (experimentos científicos, posta en órbita de satélites, reparación e manutención da ISS). Con todo, o reto máis importante é o de ter dotes para facer traballo en equipo. Ao final de cada proceso de selección sempre quedan varios centos de solicitantes que cumpren os requisitos de coñecementos técnicos, polo que a peneira final baséase en boa medida en entrevistas persoais para descubrir eses astronautas perfectos compañeiros de equipo e ao mesmo tempo coa cantidade xusta de individualismo e confianza en si mesmos.

Cando se lles pregunta cal foi a parte do adestramento que máis lles gustou, case todos din o mesmo: as sesións de mergullo. Mergullo? Si, todos os candidatos deben completar adestramento de supervivencia na auga e converterse en mergulladores cualificados, pois gran parte da aprendizaxe das actividades que teñen que facer no espazo lévase a cabo nun enorme tanque de auga que simula a ausencia de peso —ollo, non simula a ausencia de gravidade. Dentro da inmensa piscina hai reproducións das naves e aparatos que van usar no espazo e con

elas fan exactamente as mesmas manobras que logo terán que repetir a 400 km de altura. Excepto o ruído e as vibracións do despegamento todo o demais é duplicado e adestrado con precisión na Terra. Humm... case todo.

Non se pode duplicar todo con exactitude: na Terra é moi difícil simular a ausencia de gravidade. Pódese ter esa sensación, por exemplo ao ir dentro dun ascensor en caída libre: o ascensor e o ocupante irán á mesma velocidade e, ao carecer de referencias exteriores, o ocupante sentirá que flota no ar do interior do elevador. O malo é ao chegar ao final do percorrido. En vez de meterse en ascensores e romper a crisma, os astronautas experimentan coa sensación de ingravidez a bordo de avións de adestramento que se deixan caer durante breves períodos de 20 segundos; neses momentos teñen a sensación de flotar no interior do aparato, o que aproveitan para aprender a moverse e orientarse.

Xornada laboral

O tempo medio de voo das lanzadeiras espaciais é de dúas semanas e media; outra cousa son as misións na ISS, onde os astronautas pasan tempadas de 6 a 9 meses (nos plans de colonización da Lúa e de Marte a duración dos voos espaciais deberá ampliarse a anos e talvez algún día a xeracións). A xornada habitual dun astronauta é de 16 horas, aínda que teñen que estar «localizábeis» as 24 horas. Os traballos da tripulación das lanzadeiras espaciais inclúen realizar experimentos científicos, montar a ISS e manter a propia lanzadeira. Tamén realizan misións que consisten na liberación, captura ou reparación de satélites. Na ISS o traballo principal da tripulación é realizar investigacións científicas, experimentos médicos (levan a cabo experimentos con eles mesmos e de forma rutineira toman mostras de sangue e análizas) e manter a propia Estación. Isto último é un traballo intenso xa que hai que comprobar todos os sistemas constantemente: manter a presión e a calidade do ar e limpar os filtros, actualizar os sistemas informáticos etc. É como vivir nunha casa-coche en que á vez es fontaneiro, electricista, mecánico, carpinteiro, médico e investigador científico.

Unha das actividades máis interesantes son os paseos espaciais: algo así como pór un ser humano en órbita. Parece que é un exercicio

difícil, divertido e algo mareante á vez, pois algúns dos homes-satélite sufriron vertixes ao verse flotando a semellante altura da superficie da Terra. E aquí entra en xogo a experiencia mergulladora, incluso no referente á descompresión, xa que para realizar estas saídas ao exterior os astronautas deben seguir un proceso de descompresión, que dura algo máis de 2 horas, similar ao que fan os mergulladores logo dunha inmersión profunda. Isto faise para evitar a formación de burbullas de nitróxeno nos tecidos e no sangue, fenómeno que pode chegar a ser fatal para un ser humano en semellantes condicións de desamparo.

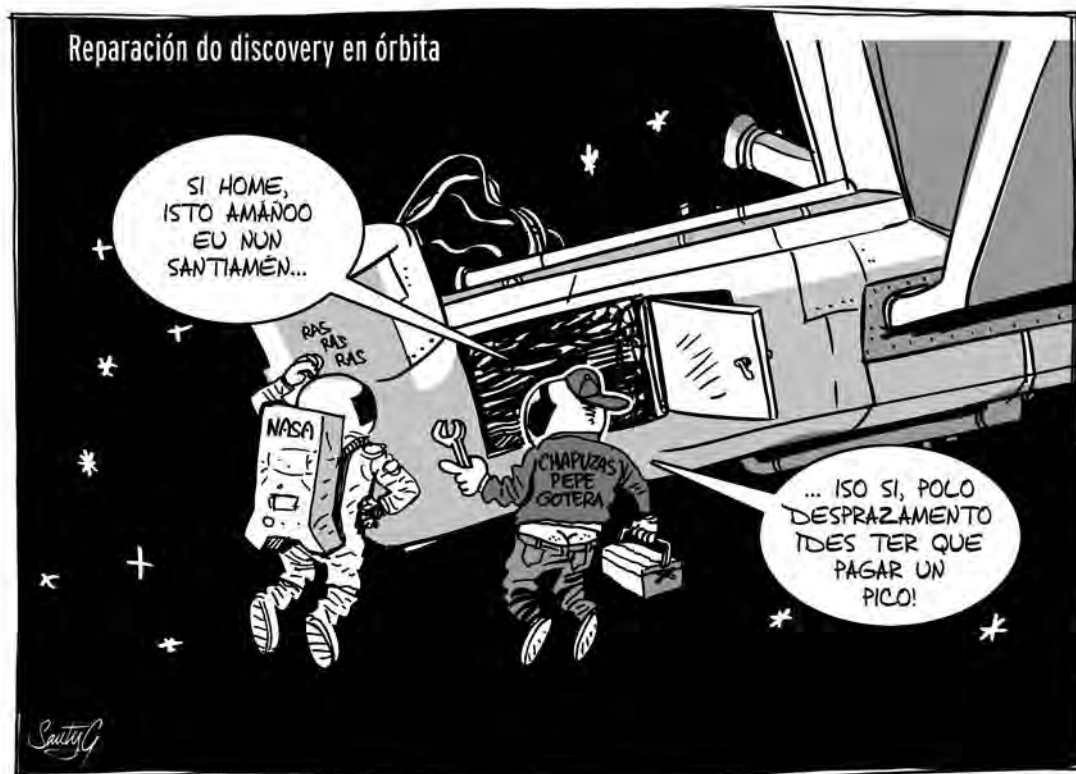
Mais a vida no espazo é moito máis que seguir o calendario de traballos específicos de cada misión. Os astronautas teñen que tratar de facer unha vida «normal», algo que resulta bastante difícil a bordo dunha cápsula de metal que flota no espazo; igual que aquí abaixo, teñen que respirar, comer, chamar por teléfono á casa, asearse, durmir... No artigo seguinte veremos como sobreviven.

Ligazóns

NASA

<http://www.nasa.gov>

<http://www.lanasa.net>



ALGÚNS PROBLEMAS DE VIVIR NAS NAVES ESPACIAIS, ESES ESTUPENDOS HOTEIS RODEADOS DE BALEIRO

As plantas e os animais que habitamos o planeta Terra temos corpos e costumes adaptados ao efecto da gravidade. A ausencia desta forza fundamental provoca cambios tanto na fisioloxía como na vida doméstica dos astronautas, cambios que teñen que soportar dentro dunha claustrofóbica caixa de metal. Nas viaxes espaciais todo, ou case todo, está pensado para que os tripulantes sobrevivan nas mellores condicións posíbeis.

Hai millonarios que están dispostos a pagar moitos cartos para vivir a experiencia (como Gregory Olsen, que en 2005 deu un paseo que lle costou uns 16 millóns de euros); unha experiencia única e privilexiada, desde logo, mais tamén chea de problemas e cambios desagradábeis respecto á vida na Terra. Vivir e traballar no espazo é un reto para a saúde física e mental de calquera. Os tripulantes, incluídos os de pago, viven sen luxos diarios e deben combater mareos, claustrofobia e morriña todos os días, ademais de dispor de moi pouco tempo libre para asomarse polos portelos e quedar abraizados coas vistas.

Ar

Problema número un: no espazo non hai ar. Os seres humanos precisamos de osíxeno para vivir porque as células do corpo combinan este gas cos alimentos para producir enerxía. Unha solución sería levar bombonas, como os mergulladores, mais outra mellor é fabricar o ar *in situ*. Na Estación Espacial Internacional (ISS), onde os astronautas pasan varios meses, créase osíxeno mediante electrólise –técnica que consiste na utilización de electricidade para separar os compoñentes dunha substancia química. Utilízase electricidade para separar auga en hidróxeno e osíxeno, igual que ocorre na fotosíntese

das plantas –neste último caso a enerxía provén da luz do Sol. O osíxeno é respirado polos astronautas e o hidróxeno, pouco útil para os pulmóns, é liberado ao espazo. A calidade do ar é controlada con moita precisión dentro dos artefactos espaciais, porque ademais de prover de gases respiratorios, tamén hai que eliminar residuos producidos polos astronautas como o amoníaco, acetona e dióxido de carbono.

Auga

Outro problema número un: ademais de ar, o corpo humano precisa de auga, xa que está composto en gran parte por líquidos. En realidade seguimos sendo animais mariños compostos por billóns de células que aboian nun mar chamado líquido extracelular. Na ISS a auga é reciclada continuamente mediante un proceso que consiste en recoller a humidade e condensación do ar e convertelas en auga para beber e asearse. Mais iso de estar formados por líquidos trae outros problemas: ao faltar a gravidade a sopa química que levamos dentro distribúese de maneira distinta causando cambios en varios sistemas. Os líquidos tenden a subir á cabeza e provocan unha inchazón e sensación febril practicamente continua. Ademais tamén se modifica a función do corazón e dos vasos sanguíneos, encargados da distribución do sangue polos tecidos: o sistema de bombeo e transporte ten que variar para adaptarse ás novas condicións.

E falando de auga, aí arriba hai actos cotiáns que se converten en luxos cósmicos, como por exemplo unha ducha quente. Para tomar unha ducha precisase auga e gravidade, dúas cousas que non abundan a 400 km de altura. Solución: duchas sen auga. Os astronautas aséanse tomando «baños» todos os días con toallíñas húmidas, un xampú que non precisa aclarado para lavar o pelo e un aspirador para succionar os restos de humidade e xabón. Defecar no espazo tamén ten os seus problemas ao non existir esa axudiña da gravidade para que os excrementos aterren no lugar axeitado; a cousa soluciónase cun pequeno retrete que funciona por aspiración. Para mexar utilízase unha especie de funil (cada astronauta ten o seu funil persoal), que tamén se adapta a un aspirador.

Corpo

Os astronautas deben estar preparados para calquera emerxencia médica que poida xurdir. No espazo non hai farmacias nin médicos de garda, aínda que iso de estar rodeados de baleiro tamén ten algunhas vantaxes: non deben de preocuparse de xermes, porque no ambiente estéril no que viven non hai sitio para eles. Coller un catarro na ISS é algo que non vén no manual de instrucións. Mais hai problemas físicos que, pola contra, son case inevitábeis, como os causados pola falla de uso dalgúns sistemas do corpo. O deseño e volume de músculos e ósos está adaptado a soportar a unha persoa na superficie da Terra, mais ao non existir gravidade o peso é nulo e eses tecidos poden estragarse. Para evitalo, os astronautas dedican dúas horas ao día a botar unhas carreiras nunha cinta sen fin. É unha actividade obrigatoria e máis importante canto máis tempo se pasa no espazo, xa que sen ela os viaxeiros non poderían camiñar ou terse de pé ao regresar á Terra.

Estes exploradores teñen outro problema moi importante: fóra da atmosfera terrestre os niveis de radiación que se reciben son elevadísimos. As radiacións proceden do vento solar, raios cósmicos e de partículas atrapadas no campo magnético da Terra. Un astronauta que pase seis meses na ISS pode recibir unha radiación equivalente a facer entre 300 e 450 radiografías (toma raios X!). É un risco difícil de evitar –por exemplo reforzando a estrutura das naves espaciais– e é moi probábel que sempre cause algún dano en todos os astronautas, como pode ser a modificación no ADN das células –que incrementa o risco de sufrir ou de transmitir enfermidades.

Electricidade

Na ISS a potencia eléctrica é o recurso máis crítico porque pon en marcha todos os aparatos e sistemas comentados arriba. A fonte de enerxía máis facilmente dispoñíbel a esas alturas é, claro que si, a solar, de xeito que a ISS utiliza paneis solares combinados con baterías recargábeis para captar e almacenar a enerxía e así dispor sempre dela, tamén nos continuos momentos de «eclipse» da órbita. Os aparatos funcionan a 160 voltios e, igual que cos electrodomésticos das casas, o circuío eléctrico debe ter unha toma de terra para disipar electricidade. Non hai problema de que os parta

un raio, mais si de acumulación de cargas eléctricas na estrutura. Na Terra isto soluciónase conectando o sistema a un ferro chantado no chan, no espazo a toma de «terra» consiste nun «contacto de plasma», que une a estrutura da nave ao espazo exterior e permite a eliminación de ións e electróns.

O meu lar

A habitabilidade dos enxeños voadores non é como para saír nunha revista de deseño interior; os espazos son pequenos e hai poucas concesións ao confort. Na lanzadeira espacial os astronautas fan gran parte da vida na chamada plataforma-central, que mide 4 metros de lonxitude e entre 3 e 4 de ancho. Para durmirmos utilizan sacos que agarran a calquera parte –con correas ou velcro para evitar tropezar coas cousas– ou tamén poden botar man dos asentos da cabina.

Comer no espazo tampouco é, de momento, ningunha marabilla, aínda que sen ningunha dúbida as naves son os «restaurantes» con mellores vistas. A maioría da comida está deshidratada ou conservada en latas e segue un estrito control personalizado para que achegue a cada navegante todos os elementos necesarios (por exemplo, debe dosificarse con precisión a cantidade de ferro que toman na dieta, xa que no espazo os astronautas teñen menos glóbulos vermello e o exceso de ferro podería causar problemas). Non hai disputas para fregar a louza: como non se pode estragar auga, os utensilios e bandexas límpanse con toallíñas húmidas.

Moitos problemas e penalidades para, como xa contaba no artigo anterior, saborear momentos únicos. Observar a Terra, sentir a inexistencia de gravidade, converterse nun satélite humano..., experiencias que os astronautas están desexando contarlle por teléfono á familia (na ISS poden chamar por teléfono a calquera parte utilizando a telefonía por IP a través dun ordenador portátil, igual que aquí abaixo co Skype).

O TEMPO ESPACIAL, UNHA PREVISIÓN ÚTIL MAIS COMPLEXA

No momento de escribir isto a previsión do tempo espacial para as próximas horas é a seguinte: «a actividade solar permanecerá a niveis moi baixos; respecto á actividade xeofísica, espérase que nas próximas 48 horas o campo magnético terrestre oscile entre perturbado e activo, con algúns períodos de tormentas xeomagnéticas de pouca intensidade debido ao paso dunha corrente a alta velocidade (vento solar duns 600 km/h) procedente dun furado coronal». Este parte actualízase constantemente, pola conta que nos ten, sobre todo no caso dalgunhas actividades humanas. En que consiste o tempo espacial? Por que é importante facer unha previsión?

O tempo espacial é o responsábel das fermosas auroras boreais, mais tamén pode producir apagóns nas transmisións de radio, exceso de radiacións nocivas en astronautas e pasaxeiros de avión, erros no funcionamento do sistema GPS, danos en centrais eléctricas, desorientación dalgúns animais e incluso a caída de satélites. Todo isto e máis é consecuencia das perturbacións producidas pola complexa actividade do Sol sobre a superficie do noso planeta, sobre a atmosfera, no campo magnético terrestre e en calquera outra rexión do Sistema Solar que sexa alcanzada polas poderosas emisións de enerxía da estrela que, tamén, nos dá a vida.

Protección solar

A enerxía que proporciona a vida provén da luz solar que é absorbida na fotosíntese mais, ironicamente, a vida tal e como a coñecemos tampouco sería posíbel se a Terra non estivese protexida de varios tipos de radiacións solares. Temos varios escudos protectores; un deles, como xa comentei noutro momento, débémollos á magnetosfera, formada polo campo magnético que rodea o planeta

(orixinado a partir de correntes eléctricas nas rexións fluídas do interior), que é capaz de atrapar ou de desviar do seu camiño moitas das emisións solares potencialmente perigosas. Outro escudo de grande importancia, como veremos máis abaixo, é a atmosfera, que tamén atrapa ou neutraliza varios tipos de radiación. Pero, que emite o Sol ademais da luz visíbel? Emite moitos tipos de radiacións electromagnéticas e de partículas cargadas electricamente.

Unha cebola complicada, e quente!

O Sol está formado por distintas capas. Cada unha delas ten unha actividade específica, un rango característico de temperaturas e diversas emisións de enerxía. O núcleo interior encóntrase a 15 millóns de graos de temperatura e emite fotóns de radiación gamma; estes fotóns tardan millóns de anos en chegar á superficie, proceso en que van perdendo enerxía. Unha das capas máis externas é a fotosfera; está a uns 6000 graos e chámase así porque é a que emite luz visíbel –que podemos captar cos nosos ollos e que tamén é utilizada polas plantas e outros organismos. Por riba da fotosfera, non visíbel normalmente –salvo cando hai unha eclipse solar–, está a cromosfera, unha capa que emite ondas de radio e radiación ultravioleta, entre outras cousas. A parte máis externa do Sol chámase coroa e pode alcanzar os 2 millóns de graos; estas altas temperaturas inducen a emisión ao exterior de raios X.

Na fotosfera poden formarse as coñecidas manchas solares. Estas manchas son grandes rexións escuras que se encontran a menos temperatura do habitual e que indican a existencia dun forte campo magnético que pode favorecer, na cromosfera, a aparición de enormes emisións de radiación e de partículas ionizadas (cargadas electricamente) ao exterior. Hai varios tipos destes fenómenos, como os escintileos ou laparadas, ou as protuberancias. Na coroa solar tamén hai moitas perturbacións magnéticas, sendo a máis importante a que dá lugar ás chamadas «expulsións de masa coronal». A principal consecuencia de tanta actividade é a emisión ao exterior de cantidades astronómicas –nunca mellor dito– de radiacións e partículas: o Sol perde cada segundo nada menos que 5 millóns de toneladas de masa!

A silenciosa batalla entre o Sol e a Terra

A radiación electromagnética (ondas de radio, luz visíbel, raios ultravioleta, raios X etc.) viaxa á velocidade da luz e tarda uns 8 minutos en chegar á Terra. En condicións de repouso –cando non hai tormentas solares–, os raios X e a maioría da radiación ultravioleta son bloqueados pola atmosfera; con todo, as ondas de radio e a luz visíbel non son atrapadas e poden atravesar esta capa sen problemas. Pola súa banda, o escudo magnético –a magnetosfera– encárgase de atrapar ou desviar partículas cargadas electricamente xunto co seu campo magnético asociado; estas partículas tardan en alcanzar a Terra varias horas ou días, dependendo da velocidade do vento solar –ten unha velocidade media de 400 km/s. Que ocorre con estes escudos protectores cando a actividade solar é máis violenta e produce laparadas, protuberancias ou expulsións de masa coronal? Pois pode acontecer que a protección diminúa moito e as radiacións causen danos moi variados na Terra: nestes casos fálase de tormentas solares, tormentas xeomagnéticas e cousas polo estilo.

Cando o tempo solar está revolto as ondas de radio emitidas polo Sol poden causar apagóns nas transmisións terrestres e interferencias por exemplo no control do tráfico aéreo ou nos sistemas de navegación como o GPS. Tamén se producen emisións moi altas de raios X e de partículas ionizadas que ao chegar á Terra dan lugar nas rexións polares ás fermosas auroras. Este é o lado bo, porque a intensa enerxía solar tamén orixina fenómenos moi variados non tan agradábeis. Por exemplo, prodúcese un aumento da temperatura nas capas altas da atmosfera que fan que esta se expanda, feito que pode aumentar o rozamento dalgúns satélites e facer que estes acaben caendo na Terra –isto foi exactamente o que lle pasou ao satélite Skylab, que caeu logo dunha destas tormentas. O vento solar tamén produce fluctuacións do campo magnético terrestre que inducen á formación de correntes anómalas; esta electricidade gratis non é moi ben recibida, xa que pode estragar aparatos eléctricos ou incluso bloquear toda unha central eléctrica. Tamén se cre que non é moi saudábel utilizar un voo comercial que sobrevoe as rexións polares durante o tempo que duran as perturbacións solares, porque a radiación recibida pode ser moi superior á normal.

Por todas estas razóns e moitas outras os científicos están cada vez máis interesados en predicir o tempo espacial. É un labor difícil xa que as variábeis implicadas son aínda máis complexas e menos coñecidas que as que entran en xogo no tempo meteorolóxico. As radiacións electromagnéticas, que chegan con adianto respecto ao vento solar, serven como aviso, mais é preferíbel coñecer mellor a dinámica do Sol e non esperar a esta alarma de última hora. Na rede –ver ligazóns– hai varias páxinas que actualizan cada poucos minutos a previsión para as próximas 48 horas de varios tipos de emisións solares.

Se topas cun aviso de tormenta xeomagnética, ánimo, ao mellor tes tempo e posibilidade para chegar a algún lugar onde observar as auroras (dispós de 3-4 días).

Ligazóns

Sobre o tempo espacial

<http://www.sec.noaa.gov/info/FAQ.html>

<http://www.sec.noaa.gov/info/School.html>

Predición para as próximas horas

<http://www.spaceweather.com/>

<http://www.sec.noaa.gov/today.html>

<http://sohowww.nascom.nasa.gov/spaceweather/>

O Sol, agora mesmo

<http://soho.nascom.nasa.gov/data/realtime-images.html>

http://www.lmsal.com/solarsoft/latest_events/



A VIDA QUE COÑECEMOS

BUSCANDO VIDA NO PLANETA TERRA

A especie humana acaba de pór unha cápsula de exploración en Titán, unha lúa de Saturno, co obxectivo de investigar a posíbel existencia de vida extraterrestre e tamén para coñecer un pouco mellor a evolución do propio planeta Terra. Mais, antes de afondar nesta fascinante aventura espacial, podemos facernos unha pregunta obvia: no caso de que existise vida nun planeta... sería fácil de detectar?

Os científicos dedicados á exploración espacial fixeron esta pregunta hai tempo, para asegurarse que os cartos investidos nesas empresas non se utilizan en balde; e fixeron un experimento coa propia Terra. É posíbel saber se hai vida na Terra desde unha nave orbitando ao redor noso? A pregunta pode parecer estúpida, mais resulta que é preciso achegarse moito a un planeta para poder detectar características tan específicas como a vida. De aí a enorme curiosidade que esperta entre os expertos a misión Cassini-Huygens, de aí a importancia de observarnos a nós mesmos.

A Terra fai de coello de indias

O científico planetario Carl Sagan relatou, coa súa coñecida habilidade, a experiencia levada a cabo no ano 1990 coa nave espacial Galileo, da NASA. Esta nave pasou a uns 1000 km da superficie da Terra e, cos datos que recolleu, os científicos xogaron a adiviñar se era posíbel identificar vida aquí abaixo. Supoñendo que estivese pilotada por seres ignorantes das características do noso planeta... podería detectar vida? Vida intelixente? O relato que segue está baseado no de Sagan. Vexamos como farían uns supostos extraterrestres para explorar a Terra, da que non saben absolutamente nada...

No rango de luz visíbel o primeiro que se observa desde as alturas é un planeta con zonas marróns (continentes), azuis (océanos) e brancas; dúas destas rexións brancas están nos polos (casquetes polares), mais outras móvense continuamente por riba de todo o demais (nubes). Medindo a temperatura de conxunto, a partir da radiación infravermella que emite, descubrírase que na maioría das rexións está por riba do punto de conxelación da auga (H_2O , un material común en todo o Universo), excepto nos extremos brancos, que está por debaixo. Estudando con máis detalle as diferenzas no espectro de luz emitida, os supostos extraterrestres poderían deducir facilmente que hai auga sólida nos polos e vapor de auga nas nubes. Ademais, esas enormes cantidades de vapor de auga servirían para deducir que a parte azul do planeta está formada por auga líquida, xusto a necesaria para producir tanta nube. Auga líquida! Toda unha novidade no Sistema Solar (Polo de agora. Parece ser que en Marte non é, ou foi, tanta novidade; alí tamén hai naves humanas explorando).

Demasiado osíxeno

Utilizando as propiedades da luz reflectida (ou sexa, seguimos a voltas co espectro de luz), pódese detectar a existencia de CO_2 (anhídrido carbónico) e de O_2 (osíxeno). Incríbel! Exclamarían os visitantes, na atmosfera deste planeta hai cantidades enormes de O_2 . Resulta que o O_2 pode fabricarse a partir de auga e luz. A luz do Sol pode romper a auga (H_2O) en osíxeno e hidróxeno, mais incluso con tanta auga non hai maneira de que as contas cadren; neste planeta (imos chamarlle Terra), hai moito O_2 . Isto animaría bastante os visitantes extraterrestres, pois só se coñece outra maneira capaz de fabricar osíxeno a partir de luz e auga: a vida. Mais, de momento, só é unha posibilidade.

Vacas e sospeitosos seres verdes

Ao ampliar a visión da nave sobre as rexións sen auga (os continentes) e sen cambiar de aparato de medición (o espectrofotómetro), descubrírase que neste planeta hai, en xeral, dous tipos de superficies: unha moi parecida á doutros planetas, lúas e asteroides (unha ensalada variada de minerais e rochas), mais outra non tan típica: a análise indica que hai rexións inmensas dunha superficie que absorbe luz,

moita luz. Será este estraño material o culpábel de producir tanto O_2 ? Estará vivo? As cousas empezan a encaixar, a hipótese da existencia de vida colle forza. En concreto, este ente ten unha voracidade especial pola luz azul e vermella, deixando escapar o resto (os supostos extraterrestres están a observar a cuberta vexetal que é, claro que si, de cor verde, o tipo de luz que non é atrapado polo pigmento clorofila). Neste momento da viaxe espacial os visitantes terían argumentos para dicir que neste planeta hai auga (H_2O) que é utilizada xunto coa luz solar por un curioso manto verde, probabelmente dotado de vida, para atrapar o hidróxeno e liberar á atmosfera o osíxeno. Para que quere o hidróxeno? (Pois para formar, xunto co carbono do CO_2 , que tamén absorbe, moléculas orgánicas).

Hai, ademais, outro indicio que tamén apuntaría aos escépticos observadores a existencia de vida neste planeta, e é que, nesa análise dos gases da atmosfera, tamén se encontrarán con gas metano. En principio non hai nada que relacione directamente o metano coa vida, mais hai un detalle: este gas é incompatíbel cun ambiente con tanto osíxeno, xa que o osíxeno o elimina a gran velocidade. Hai, de novo, unha explicación alternativa: a existencia de vida que o produza en cantidades apreciábeis (de feito, o pouco metano que hai na atmosfera procede da actividade de, por exemplo, bacterias, cultivos de arroz e, tamén, dos peidos das vacas; non é broma).

Faros de intelixencia

Chegados a este punto os extraterrestres poderían volver ao seu planeta e contar que é moi probábel que na Terra exista algún tipo de vida (independentemente da química en que estea baseada. Atoparemos nós en Titán, grazas ao dúo Cassini-Huygens, información desta categoría? Niso estamos). Mais claro, esta suposta nave do relato de hoxe non leva só un detector de espectros de luz, senón que tamén leva aparatos para detectar outros tipos de radiación electromagnética; por exemplo, ondas de radio. Hai moitas actividades no Universo que as producen, como os campos magnéticos e os lóstregos (que existen tamén noutros mundos), e polo tanto pode ser unha información útil. E aquí vén a gran sorpresa para os extraterrestres que observen a Terra: este planeta emite ondas de radio con frecuencias constantes, ás veces moduladas de maneira moi complexa.

Non hai nada coñecido no Universo, excepto a vida intelixente, que, até onde sabemos, poida producir tal cousa. Esa estrutura das ondas de radio é un indicio moi claro de vida intelixente (e, de feito, o estudo da estrutura das ondas de radio que nos chegan do exterior é a principal ferramenta que temos os humanos para buscar vida intelixente extraterrestre, como xa contei nalgún relato anterior).

Extra, extra!

Xa poden dar a noticia no seu planeta: case seguro que na Terra hai vida intelixente. Que pinta terá? Será esa substancia verde que se alimenta de luz e auga? Aínda que pareza mentira, para observar desde o ar indicios de vida intelixente na Terra hai que achegarse moito ou incluso aterrar (por iso tamén nos interesa aos humanos achegarnos todo o que poidamos a, polo de agora, os planetas do Sistema Solar; a sonda Huygens caeu hai uns anos en Titán con intencións deste tipo). Desde o ar, cunha resolución de 1 km de distancia (cada píxel na pantalla da nave espacial correspondería a 1 km), é imposible ver indicios de intelixencia na terra; non apreciarán os extraterrestres nin grandes edificios, nin canteiras, nin as pirámides de Giza... as liñas rectas que dan forma a esas construcións humanas teñen menos de 1 km. Para poder observar os efectos da actividade dos seres intelixentes é preciso aproximarse máis, polo menos até alcanzar unha resolución de 100 metros, entón si que se apreciará, sobre todo, moitas liñas rectas (edificios, rúas, campos de cultivo etc.). Mais os seres vivos, os causantes de todo iso, seguimos invisíbeis para os estranxeiros (aínda que os supostos extraterrestres poderían pensar, antes de afondar máis, que os seres intelixentes son as autoestradas ou os grandes edificios, inclusive un con forma de pentágono).

Para que a forma dos seres humanos (e outros animais de gran tamaño) se faga visíbel nos monitores dalgún suposto visitante extraterrestre é preciso que se acheguen moitísimo (ou que, por exemplo, amplíen moito o sistema de imaxe), tanto como para obter unha resolución de 1 metro. En realidade somos moi pouca cousa; con pouco que un observador se aparta da superficie da Terra, zas!, desaparecemos.

Que por que enviamos unha nave a Titán, esa lúa de Saturno na que nas imaxes dos telescopios xa se ve que non hai nada?

Pois porque, ao mellor, é preciso achegarse máis. Quen sabe.

Bibliografía

Este relato é unha adaptación do capítulo «Hai vida intelixente na Terra?» do libro *Un punto azul pálido* de Carl Sagan.



UNHA VISIÓN DO PAPEL DOS SERES VIVOS NA NATUREZA

A canción da vida é unha fuga que se repite de maneira incansábel desde hai varios miles de millóns de anos. No último século as ciencias físicas e biolóxicas achegaron, pola primeira vez na historia dos seres humanos, coñecementos fundamentais que nos permiten ter unha filosofía da vida baseada en datos concretos, obxectivos, non en disquisicións místicas. Este coñecemento –o coñecemento en xeral– achega liberdade, ar fresco para a mente que permite gozar con optimismo da natureza –humana e non humana.

Conciencia global

Os seres humanos estamos feitos de anacos de estrelas, literalmente, aínda que neste caso a crúa realidade tamén resulta ser poesía. A vida no planeta Terra é un fenómeno apaixonante e estraño; estraño incluso para nós mesmos, xa que logo duns 500 anos de ciencia aínda nos custa comprender a relación que temos co medio natural. O coñecemento da natureza humana é unha das mellores ferramentas que podemos usar para solucionar este problema, que é tanto físico como filosófico; un terrible baleiro que, agrandado nalgúns casos pola visión dogmática das relixións monoteístas, impídenos descubrir a importancia da nosa relación co planeta que habitamos, unha relación que ten que ser de gozo e de respecto.

A globalización é algo obvio desde o punto de vista biolóxico; Vigo e Montevideo –ou calquera outro lugar do planeta– están intimamente relacionados porque forman parte da biosfera, a capa da Terra ocupada por seres vivos. Todos nós, maravillosos bichiños termodinamicamente anómalos, estamos intimamente relacionados co resto da biosfera (e tamén co resto do Cosmos, comezando pola Vía Láctea –a galaxia en que vivimos– e o Sistema

Solar –o barrio que ocupamos da galaxia–). Parece mentira que aínda agora esteamos comezando a decatarnos disto e a actuar en consecuencia.

Coñecemos a nós é coñecer o Universo

Un dos síntomas deste «descubrimento» foi o florecer da conciencia ecoloxista das últimas décadas, que levou á popularización da idea do planeta Terra como unha complexa maquinaria da que todos os seres formamos parte: científicos como James Lovelock e Lynn Margulis afondaron nos anos 70 neste concepto de sistema global ao que chamaron Gaia. Mais xa moito antes, en 1926, o científico ruso Vladimir Vernadsky publicou un libro esencial na historia da ciencia, *A biosfera*, no que describía con moita precisión –para a época– as relacións da materia orgánica e inorgánica co resto do cosmos (cousas da política: este libro e o seu autor, agora moi apreciados e respectados polos científicos da vida, foi ignorado durante décadas. Aínda agora as traducións que existen son escasísimas; a que teño eu é a primeira que se fixo ao inglés, nada menos que en 1997!).

Non existe, por tanto, maneira de construír unha sociedade avanzada –e duradeira– se non é en harmonía co medio natural, porque nós tamén somos medio natural. Mírate; a túa pel, as unllas, os pelos e tamén o que non ves –arterias, intestinos, músculos, neuronas etc.–, todo o que forma o teu corpo son moléculas, constituídas por átomos como o carbono, hidróxeno, osíxeno, nitróxeno, calcio, ferro... e uns cantos máis. Estes elementos son po de estrelas, proceden do Cosmos co que todos estamos intimamente emparentados, e esa unión ancestral perdura, porque aínda agora seguimos dependendo das estrelas, en concreto do Sol, que é a que temos máis preto.

Enerxía global

A vida en Galiza, en todo o planeta depende, día a día, do Sol. Este astro emite enerxía en forma de radiación que é absorbida polas plantas, coa que fabrican moléculas orgánicas, como os azucres, que serven de fonte de enerxía aos animais. Os átomos que forman todo isto son compartidos, co paso do tempo, por plantas, animais e materia inorgánica; é como se entre todos formáramos un grande

organismo no que a dixestión tarda en facerse centos ou miles de anos. Debido a isto é importante ser consciente de que calquera modificación significativa que os seres humanos causemos na natureza sempre vai influír en nós mesmos. Sempre, porque somos a mesma cousa. Para comprender isto un pouco mellor podemos, por exemplo, seguirlle a pista a un átomo de carbono.

Dando voltas polo planeta Terra

O ar esta cheo de átomos de carbono (vou escribir C para simplificar, que é como fan os químicos), moitos deles formando parte dun gas chamado CO_2 . Resulta que as plantas están moi interesadas en captar ese C, de tal xeito que utilizan auga e a enerxía do Sol para dar lugar a unha reacción en que collen o C do CO_2 e o incorporan a outra molécula, como por exemplo a glicosa. As plantas son fábricas de substancias nutritivas; ademais, ao mesmo tempo, liberan ao ar osíxeno molecular (que os químicos escriben como O_2). Os animais vivimos porque respiramos O_2 e comemos substancias enerxéticas como a glicosa, por iso dependemos totalmente das plantas. Os seres humanos temos C por todas as partes; é un átomo fundamental que obtemos da atmosfera polo método que acabo de describir. Mais ese C nunca está quieto. Podemos botalo de novo para fóra cando expiramos (tomamos O_2 e botamos CO_2) ou tamén cando expiremos (ao morrer): o noso corpo descansará no cemiterio e, co tempo, a materia orgánica da que estamos formados volverá á biosfera; os átomos estarán de novo a disposición dos seres vivos de xeracións futuras.

Os científicos calcularon que cada átomo concreto de C fai un ciclo completo (plantas-animais-atmosfera-e de novo ás plantas) cada 200 anos. Este movemento continuo da materia está sendo alterado pola especie humana, de tal xeito que o C que hai na atmosfera en forma de CO_2 aumenta de maneira preocupante. Pensa que, en condicións normais, o CO_2 atmosférico non debería aumentar nin diminuír, senón que o absorbido polas plantas compensaría o emitido pola materia orgánica en descomposición. Mais, os vexetais cada vez absorben menos (polo simple feito de que cortamos demasiadas árbores) e a combustión de materia orgánica (petróleo, gas natural

etc.) emite máis do normal; resultado: hai unha acumulación anormal de CO₂ que modifica o ciclo natural.

O do carbono é só un exemplo de como todos formamos parte dese grande organismo chamado biosfera (ou Gaia, ou como se lle queira chamar) e tamén de que a actitude de cada un de nós cara á natureza ten que ser de respecto, porque todos somos natureza.



AS DISTINTAS VELOCIDADES DO TEMPO E O RELOXO RADIOACTIVO

Habitamos un mundo que cambia constantemente, a todos os niveis, en todas as escalas. Para apreciar o paso do tempo é imprescindible ter un marco de referencia, mais neste mundo non hai ningunha referencia fixa. Se observamos, por exemplo, os mecanismos que teñen lugar no interior do noso corpo, a vida é unha inmensidade de tempo, mais se a comparamos cos procesos xeolóxicos ou cósmicos, é un chisco case inexistente. O tempo pasa a moitas velocidades e para apreciálas precisamos buscar puntos de apoio, por inestábeis que estes sexan; un deles é a radioactividade emitida polo carbono 14.

Somos o que recordamos

Como conto noutro artigo –«Coidado co CO: un gas doméstico que hai que ter en conta»–, a vida dun glóbulo vermello dura uns 120 días, 4 meses. Cada unha desas células vive nun planeta humano que non cambia practicamente nada durante esa existencia. Se invertemos o proceso e agora somos nós os que observamos o propio corpo, comprobaremos aterrados que cada minuto perdemos unha chea de millóns de células –no sangue, pel, estómago, intestinos etc.–, que son cambiadas por outras acabadas de nacer. Estamos continuamente converténdonos noutra cousa, mais non somos conscientes, e iso é así porque hai un tipo de células que duran toda a vida –aínda que moitas van morrendo co paso do tempo–: o marco de referencia da nosa propia existencia son as células do sistema nervioso. Elas, as neuronas, conforman o noso «eu» interno. No caso de que mudasen, de que morresen e fosen cambiadas por outras frescas, recentemente cultivadas, estaríamos cambiando de personalidade a cada minuto ou, case mellor, non teríamos tempo de esculpir unha, careceríamos de «eu».

Esta idea é moi importante porque o que moitas veces se presenta como algo negativo –que as neuronas non se reproduzan e desa maneira non poidan cubrir os ocos que van deixando as que pouco a pouco van morrendo–, é precisamente o que nos permite ser os mesmos durante toda a nosa vida. O esqueleto funcional do noso cerebro, a armazón de conexións entre neuronas dá lugar á memoria: o noso «eu» non é máis que memoria.

O organismo global

Este concepto é válido para moitos escenarios, escalas temporais e niveis de organización. Pensemos agora na evolución das sociedades humanas. Tamén mudan sen cesar, mais van quedando puntos de referencia que conforman a memoria histórica, os circuitos neuronais da civilización. Podemos apoiarnos no Dolmen de Axeitos, no Castro de Baroña ou no Partenón de Atenas. A perda ou o descoido destes fitos crearía algo así como un Alzheimer colectivo, unha desorientación como a que debeu causar no seu momento a perda da biblioteca de Alexandría.

Precisamos de cousas que non cambien para apreciar o movemento. Mais iso só é posíbel de maneira relativa. Incluso a maiores escalas temporais e espaciais o bicho está a moverse. O terríbel tsunami de decembro de 2004 recordounos que nin sequera vivimos nun planeta ao que lle poidamos pór límites. As costas da India e doutras rexións mudaron de perfil, os mapas quedaron obsoletos, o planeta Terra carece de personalidade.

Cada ano hai un terremoto de magnitude 8 ou maior na escala de Richter, son os chamados «grandes terremotos». Mais tamén hai uns 17 de magnitude entre 7 e 7,9 ou «terremotos importantes», 130 de escala 6-6,9 ou «terremotos destrutivos», 1300 de escala 5-5,9 ou «moderados», 13 000 de escala 4-4,9 ou «lixeiros», 130 000 «menores» e 1 300 000 «moi pequenos». Aproximadamente 4000 terremotos ao día! Isto non debería de estrañar a ninguén que coñeza a dinámica das placas que forman a superficie da Terra. Se a isto lle engadimos volcáns, furacáns, tornados, todo tipo de tormentas, choivas e erosións varias, podería parecer, ollando a teoría, que levantar unha casa ou facer unha autoestrada son empresas inútiles. Para que aplanar, asfaltar unha liña de terra se sabemos con absoluta

certeza que vai ser destruída? Neste caso a escala de tempo intervéñ a favor noso, a vida dura unha chiscadela de ollos comparada coa dinámica terrestre, de maneira que, con sorte, poderemos chegar a vellos sen toparnos cun gran terremoto.

Reloxo molecular

Na escala seguinte, na cósmica, as cousas van aínda máis paseniño para a perspectiva mental humana e, incluso, se nos encontramos cun terremoto e sobrevivimos, polo menos poderemos estar tranquilos de que non nos caia na cachola un asteroide –as posibilidades existen, mais son mínimas.

Na investigación científica hai un exemplo moi interesante dunha técnica que se usa para revelar o paso do tempo en obxectos lonxevos, neses marcos que a historia vai deixando polas cunetas. Utilízase para coñecer a idade de restos orgánicos, principalmente fósiles, aínda que ás veces tamén se usa para investigacións de tipo circense –como por exemplo adiviñar a idade dunha saba. Estou a falar do método do carbono 14 (C14). Como podemos facer para descubrir o fluír temporal nos obxectos que, precisamente, son os que menos o acusan? Coma sempre, hai que buscar un punto de referencia, un reloxo interno. Os elementos radioactivos teñen a característica de desintegrarse a un ritmo constante, emitindo radiación, de tal xeito que podemos usar a diminución dun elemento concreto como marco de apoio. Resulta que todas as plantas e animais temos mentres estamos vivos unha cantidade coñecida dunha destas substancias radioactivas, o C14.

A longa vida do carbono 14

O reloxo funciona da seguinte maneira: as plantas utilizan o carbono do CO₂ do ar para facer moléculas orgánicas, que chegan a nós coa alimentación, ben directamente a través dos vexetais que comemos ou ben a través da cadea vexetal-herbívoro-carnívoro. A maioría do carbono que hai na atmosfera é C12, o de toda a vida, non radioactivo, mais tamén hai C14, formado como consecuencia do impacto de raios cósmicos e doutras partículas enerxéticas contra o nitróxeno (nitróxeno + neutrón = C14). Este C14 pasa a formar parte do CO₂ e é incorporado polas plantas á cadea alimenticia exactamente igual que o carbono «normal». O C14 está a desintegrarse continuamente, mais

como tamén está sendo incorporado de xeito continuo, a proporción entre C14 e C12 permanece estábel en practicamente todos os seres vivos e ten un valor coñecido. A cousa cambia ao morrer: deixamos de incorporar carbono na dieta –xa non hai dieta–, o C14 segue a desintegrarse e a proporción C14/C12 vai mudando lenta, constante e inexorabelmente. Un reloxo de bastante precisión.

Calquera cantidade de C14 tarda uns 5700 anos en desintegrarse á metade (50%), é o que se chama «vida media». Tardará outros 5700 anos en desintegrarse ao 25%, etc. Por tanto para calcular a idade dun fósil ou de calquera resto orgánico o único que hai que facer é coñecer a cantidade de C14 que ten –e isto sábese medindo o nivel de radiación que emite–, ou sexa, a cantidade de C14 «que lle queda», e comparala co valor inicial que temos cando estamos vivos. Este método pódese aplicar a obxectos de até 50 000 anos de idade pero non aos que son máis vellos, xa que emiten moi pouca radiación e os cálculos xa no son fiábeis.

O C14 é un curioso punto de referencia que está a mudar constantemente. Segundo isto, á frase anterior de «precisamos de cousas que non cambien para apreciar o movemento» debería engadirille «...e de cousas que cambien para apreciar o que non se move».



EVOLUCIÓN VS. CREACIONISMO, UN DEBATE INEXISTENTE

Ultimamente pode lerse e escoitarse nos medios de comunicación que existe un debate entre dous tipos de explicacións para entender a orixe dos seres vivos: a evolución e o chamado deseño intelixente. Mais non é un debate científico, senón unha discusión política inducida pola ignorancia e o fundamentalismo relixioso.

Algúns estados dos EE UU andan a discutir se é preciso incluír na educación, xunto coa evolución, unha teoría que explica a orixe da especie humana –e resto de compañía planetaria– baseada en... nada. Esta «teoría» chámase «deseño intelixente», un nome máis comercial e cun pouco máis de atractivo que o que tiña antes: creacionismo. Non existe ningunha explicación nin apoio científico ao creacionismo, que defende que somos o resultado ou a creación dalgún ser supremo. Pola outra banda, a evolución é unha teoría que está totalmente aceptada pola ciencia, é máis, as ciencias biolóxicas carecerían de explicación fóra dun marco global de coñecemento distinto ao da evolución; esta teoría dá sentido e permite relacionar entre si todos os coñecementos que imos adquirindo sobre a vida no planeta Terra. En realidade a evolución poucas veces estivo en cuestión, o que si que se cuestionou, e segue a ser motivo de interesantes debates entre científicos, son os mecanismos, os motores desta: selección natural, deriva xenética, simbióxese ou autoorganización son varios dos mecanismos propostos que, por certo, non son excluíntes entre si. Todos poden ser parte da evolución, a pregunta é: cal é máis importante?

Unha transformación constante

A teoría da evolución propón que calquera ser vivo actual procede doutros seres vivos, lixeiramente distintos, e estes últimos tamén proceden doutros, e estes doutros... así até chegar aos seres máis

simples. O feito de que unha especie animal ou vexetal sufra modificacións co tempo e que estas modificacións se transmitan ao resto da descendencia está perfectamente explicado pola ciencia. As modificacións débense a cambios que se producen nos xenes, que son as caixas que gardan toda a información básica para construír un organismo, e eses xenes son precisamente o que se transmite dunha xeración a outra. A que se deben entón as modificacións? Algunhas son consecuencia da influencia, do choque de partículas contra as moléculas dos xenes, que ocasionan cambios físicos nestes. Esas partículas poden proceder de fóra da Terra, como os raios cósmicos, ou poden vir de radiacións locais (de rochas radioactivas, aparatos médicos etc.). Outras modificacións débense a erros nas moléculas dos xenes no momento da súa duplicación: cada vez que unha célula se divide noutras dúas hai que facer unha copia dos miles de xenes que leva, o que supón, no caso dos seres humanos, copiar varios miles de millóns de nucleótidos –os elementos básicos que forman os xenes–; aínda que a alta tecnoloxía que hai no interior das células ten sistemas para detectar e corrixir erros, sempre se lle escapa algún (aquí hai que advertir que, en termos evolutivos, as únicas células en que estes cambios son importantes son as células que transmitimos á seguinte xeración, no noso caso óvulos e espermatozoides).

Esas saudábeis discrepancias científicas

O descubrimento dos mecanismos xenéticos da herdanza serviu para apoiar a teoría da evolución por selección natural proposta por Darwin e Wallace. Dalgunha maneira Darwin adiantouse á bioloxía molecular predicindo as regras básicas da transmisión do material hereditario –grazas, é claro, á utilización dun método de pensamento rigoroso e obxectivo. Na actualidade os medios de comunicación seguen identificando evolución con selección natural, como se fose a mesma cousa, mais debe quedar claro que a selección natural é un dos mecanismos propostos para explicar a evolución, non o único. Ningún científico serio pon en dúbida a existencia da evolución das especies, mais hai un interesante debate entre os defensores dos distintos tipos de «motores evolutivos». A selección natural é o máis coñecido, con razón, porque foi o primeiro en explicar de maneira coherente a orixe e relación entre as especies. Segue a ser o mecanismo preferido polos neodarwinistas. O avance no coñecemento

da estrutura e dinámica dos xenes deu tamén lugar a outra proposta para un mecanismo evolutivo, chamado deriva xenética, que explica que poden existir modificacións nos xenes que se transmiten ás seguintes xeracións independentemente da selección natural. Hai tamén outra teoría, cada vez con máis apoio experimental, que suxire que os cambios importantes na evolución non se deben a lentas modificacións graduais (como propón o neodarwinismo) senón que son modificacións bruscas debido á mestura de material xenético de especies distintas. A esta teoría evolutiva chámasele simbioxénese, defendida fervorosamente na actualidade pola bióloga Lynn Margulis. Outro mecanismo que pode ter importancia na orixe e evolución dos seres vivos é a tendencia á autoorganización da materia. Segundo isto, e debido ás propiedades físicas e químicas das substancias, poden formarse estruturas estábeis e complexas de maneira espontánea, sen que sexa preciso unha presión do ambiente (hai un artigo sobre este tema máis adiante: «Autoorganización e evolución sen selección natural»).

Argumentos sólidos

Independentemente de cal ou cales sexan os motores que guían os cambios que van moldeando aos seres que habitamos este insignificante planeta, a evolución non está posta en dúbida. É máis, ningún ser vivo podería existir sen a posibilidade de cambio e evolución, xa que son precisamente esas propiedades as que permiten unha adaptación ás modificacións do medio externo. Unha das predicións da evolución é que todos os seres vivos estamos emparentados, porque se seguimos para atrás na cadea de cambios sempre se chega a un único tipo de organismo do que todos os demais procedemos. Grellos, lobos, carrachas, tomates e seres humanos, todos temos unha orixe común. Esta consecuencia tan espectacular da teoría evolutiva está totalmente apoiada polas investigacións científicas. Por exemplo, o código xenético, o tipo de linguaxe que utilizan os xenes, é idéntico, i-dén-ti-co, para todos os seres vivos (hai, como non, unhas excepcións mínimas. Para exemplo o artigo «O ADN mitocondrial, un terceiro en discordia»). Isto dá lugar a que os mecanismos moleculares que hai no interior das células para fabricar as proteínas tamén sexan practicamente idénticos en todos os bichos e plantas que pululan pola Terra. A investigación básica en

medicina pode facerse con bacterias ou con calquera outro ser vivo porque moitos procesos bioquímicos son os mesmos.

Eu creo que nin sequera Darwin podería imaxinar a existencia destas probas tan poderosas da evolución. Nos nosos días a estupidez dalgúns despistados dá lugar a teorías como a do deseño intelixente, que non son máis que parvadas.

Ligazóns

Lynn Margulis

http://es.wikipedia.org/wiki/Lynn_Margulis

Código xenético

http://es.wikipedia.org/wiki/C%C3%B3digo_gen%C3%A9tico



O SÓLIDO MÉTODO CIENTÍFICO E A INSOPORTÁBEL LEVIDADE DO *HOMO SAPIENS*

As recentes fraudes descubertas na ciencia poden ser moi útiles para coñecer como é o mundo dos investigadores e como funciona o método científico. Indican, por unha banda, que os científicos non son de pedra e que algúns deles poden caer nos peores vicios da especie humana; mais tamén demostran que o método da ciencia ten mecanismos para descubrir as malas artes: é imposible enganar a natureza; tarde –ver acto primeiro– ou cedo –ver acto segundo– todas as fraudes son descubertas.

Acto primeiro

A comezos do século xx antropólogos, paleontólogos, xeólogos e outros investigadores andaban enredados nunha interesante discusión sobre a orixe da especie humana. A teoría da evolución por selección natural xa gozaba de boa aceptación pola ciencia, mais toda proba a favor era un descubrimento interesante, sobre todo se era unha proba a favor da evolución da nosa propia especie. Daquela xa se coñecían uns poucos fósiles de simios primitivos –parentes dos chimpancés actuais– e tamén había fósiles máis recentes de homínidos próximos aos humanos de agora... mais non se encontraran fósiles intermedios, que fixeran de ligazón entre os monos e os humanos e que permitisen establecer unha liña evolutiva directa entre eles: eses fósiles inexistentes eran o chamado «elo perdido». Calquera científico que encontrara un fósil que enchese ese espazo alcanzaría unha enorme sona, o seu nome formaría parte de libros e enciclopedias para coñecemento de xeracións futuras. Ben, iso sempre que o método científico o permita.

Pois mira ti por onde que en 1912 Charles Dawson, un paleontólogo afeccionado, encontrou o «elo perdido»: un cranio con características parecidas ás dos humanos, mais cunha mandíbula claramente

relacionada cos simios. Este estupendo descubrimento fixose en Piltdown, Inglaterra, e pouco despois foi presentado ao público nunha reunión da Sociedade Xeolóxica de Londres, co apoio de importantes e recoñecidos paleontólogos. O fósil pasou a formar parte do saber científico co nome de *Eoanthropus dawsoni* e popularmente coñeceu-se como *Home de Piltdown*. Dawson era famoso –até o fósil levaba o seu nome!– e os ingleses estaban contentos: por fin aparecera un fósil homínido importante nas súas illas, xa era hora: os alemáns tiñan o *Neanderthal* e os franceses o *Cromagnon*.

Mais a ciencia non se detén, a tecnoloxía tampouco, procurando novos métodos e instrumentos de investigación. Nos anos seguintes a este descubrimento os paleontólogos e antropólogos seguiron encontrando fósiles de homínidos primitivos en distintas partes do mundo –como o xénero *Australopithecus*– e pronto comprobaron que o Home de Piltdown non encaixaba en ningún tipo de esquema coherente, non había maneira de establecer unha historia evolutiva dos homínidos con ese fósil no medio. Co paso do tempo desenvolvéronse técnicas máis avanzadas para coñecer a idade dos fósiles e o *Eoanthropus dawsoni* non tardou en ser analizado en profundidade, había que saber algo máis del. O veredicto das novas análises foi demoledor: a parte superior do cráneo correspondía a un humano moderno e a mandíbula a un orangután. Ademais a mandíbula fora manipulada para darlle unha aparencia similar á que tiña o resto do cráneo. Tratábase dunha fraude feita a conciencia, que chegou no momento adecuado, cando as mentes dos científicos estaban á espera de que aparecese ese «elo perdido». O engano destapouse no ano 1953, nun congreso internacional de paleontólogos: o *Eoanthropus dawsoni* estivo uns 40 anos enganando o mundo, mais o método científico continúa funcionando impasíbel ante as debilidades humanas. A Charles Dawson iso pouco lle importou, morrera en 1916.

Acto segundo

A comezos do século XXI biólogos, médicos, veterinarios e outros investigadores andaban enredados nunha interesante discusión sobre a posibilidade de clonar seres humanos para facer un uso terapéutico dos embrións. De conseguilo as posibilidades que se abrían serían

enormes: poderíanse obter tecidos de recambio de calquera parte do corpo, sen os problemas de rexeitamento típicos dos transplantes. Isto permitiría repórter calquera parte do corpo danada, inclusive o cerebro! Os científicos e a sociedade da época estaban encantados coa posibilidade, aínda que a técnica tamén era motivo de disputas de tipo ético, que chegaban a constituír asuntos de estado. Os EE UU, por exemplo, estaban a pór moitas trabas a esas investigacións, pola contra outros países, como Corea do Sur, permitían libremente o traballo dos científicos. O primeiro científico que conseguira unha técnica fiable de clonación terapéutica alcanzaría unha enorme sona, o seu nome formaría parte de libros e enciclopedias para coñecemento de xeracións futuras. Ben, iso sempre que o método científico o permita.

Pois mira ti por onde que en 2004 Woo Suk Hwang, un descoñecido veterinario, encontrou a maneira de clonar seres humanos. O seu traballo foi a flamante portada da revista *Science* do 12 de marzo de ese ano, e o Dr. Hwang converteuse de inmediato nun heroe da ciencia e ademais os coreanos estaban contentos: por fin producían investigación de primeira liña, facéndolle sombra aos EE UU e Europa. Hwang coñecía que neses mesmos meses había outro grupo de investigación nos EE UU que estaba a piques de alcanzar resultados moi similares, mais en ciencia a sona vai sempre para quen chega primeiro, aínda que a diferenza sexa de dous días, e Hwang gañara a carreira. Por suposto, os norteamericanos tamén descubrirían unha técnica para clonar, e tamén a publicarían, pouco despois dos coreanos.

Mais a ciencia non se detén, a tecnoloxía tampouco, e calquera descubrimento científico ten que poder ser reproducido ou superar calquera proba que poida aparecer no futuro. Os norteamericanos nunca publicaron a súa técnica de clonación e o Dr. Hwang, que xa tiña a sona, quedou sen coñecer o que estaba desexando: unha maneira factíbel para clonar seres humanos. Porque, como xa todos sabemos, o equipo de investigación coreano non a conseguiu.

Outra fraude máis, alimentada pola cobiza persoal, as expectativas creadas polo orgullo patrio, a precipitación, as loitas entre editores de xornais científicos de prestixio e as dificultades de separar a

mentira da verdade nun mundo dixitalizado que pon nas mans dos investigadores unha fabulosa colección de ferramentas tecnolóxicas de manipulación.

... Mais o método científico continúa funcionando impasíbel ante as debilidades humanas.

AUTOORGANIZACIÓN E EVOLUCIÓN SEN SELECCIÓN NATURAL

A bioloxía moderna sostén que a selección natural é o principal motor evolutivo, orixe da inmensa diversidade de organismos vivos do planeta Terra. Mais a medida que aumenta a nosa comprensión da natureza, xorden novos mecanismos que reclaman un posto de honra no olimpo dos deuses creadores. A materia tende a organizarse de maneira espontánea e algúns científicos cren que as leis de autoorganización poden ser un mecanismo evolutivo tan importante como a selección natural. Terá que compartir Darwin a súa coroa?

Os científicos deben ser humildes respecto ao alcance do seu coñecemento e conscientes de que, en calquera época pasada, moitos dos seus predecesores creron ter a razón absoluta. Os novos descubrimentos modifican sen descanso as teorías que nalgún momento alguén coidou que eran definitivas. A ciencia avanza perfilando o coñecemento acumulado.

No caso da principal teoría para explicar a evolución, a selección natural, debe aplicarse a mesma cautela. En esencia, esta teoría di que os organismos evolucionan de maneira paulatina, debido a que algunhas das modificacións accidentais nos seus xenes poden converterse en útiles nun ambiente competitivo e cambiante.

Selección natural forever

A versión moderna da teoría darwiniana, o neodarwinismo, deixou moi contentos a case todos os biólogos. Xa temos unha explicación definitiva! Capaces de explicar a parte viva do mundo sen necesidade de recorrer a fantasmas, o optimismo déixase ver sen rubor pola obra de moitos autores. O químico Peter Atkins, da universidade de Oxford, da por solucionado o problema da evolución biolóxica. No

seu marabilloso libro *A Creación* di que «unha gran parte do Universo non precisa ningunha explicación. Por exemplo, os elefantes. No momento en que as moléculas aprenderon a competir e a crear outras moléculas coma elas, aparecerían, no seu debido tempo, elefantes e cousas que se parecen a elefantes vagando polos campos. Os detalles dos procesos implicados na evolución son fascinantes, mais carecen de importancia». Outro profesor da mesma universidade, Richard Dawkins, leva anos divulgando con estupendos libros as virtudes da teoría darwiniana. Para estes autores a lenta aparición de moléculas similares ao ADN, con capacidade de almacenar información, reproducirse a si mesmas e sufrir variacións de maneira progresiva, é suficiente para explicar gran parte da evolución dos organismos vivos: a selección natural chega dabondo.

Os cristais tamén evolucionan

Mais parece que a materia ten a miúdo comportamentos evolutivos que non precisan de selección natural: modificacións estruturais importantes –e tamén funcionais– que xorden en moi pouco tempo como consecuencia das propiedades físicas da materia. Hai tempo que outro estupendo divulgador, A. Grahm Cairns-Smith, da universidade de Glasgow, se deu conta que non chega co ADN, senón que é preciso explicar como apareceu ese tipo de molécula sen ter que recorrer a sopas máxicas. Cairns-Smith cre que os primeiros sistemas xenéticos, que logo deron lugar ao ADN, estaban formados por lodos, sistemas cristalinos inorgánicos con capacidade de reproducirse e de almacenar información. Neste caso a estrutura básica non se forma por selección natural, senón que é consecuencia das propiedades de autoorganización dos cristais. Estes cristais formarían, co paso do tempo, a estrutura básica que permitiría o xurdimento do ADN, estrutura da que non queda nin rastro unha vez que o ADN toma o relevo.

Caldo-expreso: creando vida a toda velocidade

As simulacións con computadoras indican que a organización espontánea da materia pode ter un papel moi relevante na aparición da vida e na evolución posterior e, para algúns científicos como o biólogo Stuart Kauffman, tan importante como a selección natural. Segundo Kauffman, hai leis de complexidade que xeran de maneira

espontánea a maioría da orde na natureza. A partir dun grupo de moléculas pode formarse de maneira espontánea e de súpeto un metabolismo, un conxunto de substancias químicas estreitamente relacionadas entre si, que se manteñen e se reproducen grazas a unha achega externa de enerxía. Isto é a vida para Kauffman: «a organización natural de catalizadores (moléculas que regulan a aparición doutras moléculas) en sistemas químicos complexos».

A partir dun conxunto de elementos químicos en principio inconexos e sen ningunha organización, pode orixinarse, cristalizarse, unha estrutura nova con capacidade de reprodución e almacenamento de información. Mais, ao contrario do que propón a teoría da selección natural, é posíbel que esta organización xurda en moi pouco tempo, mediante unha «transición de fase», algo así como o que lle ocorre á clara dun ovo ao metela en aceite quente.

Esta teoría proporciona unha visión totalmente nova da aparición da vida: pode, debe acontecer de súpeto. Este tipo de autoorganización non se dá paso a paso (como ocorre coa selección natural), senón que se forma dun único golpe unha vez que os ingredientes están preparados. Os procesos autoorganizativos serían importantes, non só na aparición da vida, senón que tamén estarían presentes nas distintas etapas da evolución orgánica e inclusive nos complexos mecanismos que o ser humano utiliza para organizar as súas sociedades.

Esta teoría leva a unha conclusión con importantes consecuencias á hora de entender a existencia de seres vivos na Terra: a vida non é unha posibilidade máis na evolución da materia, senón que, en planetas como o noso, é algo moi probábel. Se é certo que a materia ten unha tendencia tan alta para organizarse, o raro sería que non existisen seres vivos.

Somos inevitábeis?

(Grazas a Germán Sierra (escritor e profesor de bioquímica na Universidade de Santiago de Compostela) por advertirme sobre a obra de Stuart Kauffman).

Ligazóns

Richard Dawkins

<http://www.simonyi.ox.ac.uk/dawkins/WorldOfDawkins-archive/index.shtml>

Stuart Kauffman

http://www.edge.org/3rd_culture/bios/kauffman.html

Bibliografía

Atkins, Peter: *La Creación*, Ed. Labor, 1983.

Dawkins, Richard: *El gen egoísta*, Salvat Editores, 2000.

Cairns-Smith, A. G.: *Siete pistas sobre el origen de la vida*, Alianza Editorial, 1990.

Kauffman, Stuart: *At home in the Universe*, Oxford University Press, 1996.

Kauffman, Stuart: *Investigaciones: complejidad, autoorganización y nuevas leyes para una biología general*, Tusquets Editores, 2003.

SERES HUMANOS



A MENTE BILINGÜE

O cerebro dos bilingües é funcional e estruturalmente distinto ao dos que só manexan unha lingua. Máis rápido para determinadas tarefas, con máis substancia gris e cun sistema específico para impedir interferencias; estas son as conclusións de varios traballos de investigación publicados nos últimos anos.

As persoas bilingües poden, podemos manexar dúas linguas con similar destreza e sen ningunha interferencia aparente; cambiamos dunha a outra coa lixeireza de quen patina sobre xeo. Utilízase a mesma zona do cerebro? Á mesma velocidade? Cos mesmos circuitos cerebrais ou con distinta cablaxe? Os experimentos están a indicar que hai diferenzas importantes entre os cerebros bilingües e os non-bilingües; e, dentro dos primeiros, tamén hai diferenzas se a segunda lingua se aprende de neno ou de maior.

Ecología cerebral

Hai unha característica que é universal a todos os seres vivos e incluso aos non vivos: a mestura de mundos distintos –físicos, químicos ou psicolóxicos– produce riqueza, diversidade. En ecología, por exemplo, á zona de confrontación, de unión entre dous ecosistemas chámasele ecotón. Os ecotóns están entre os lugares do planeta con maior diversidade de especies, con maior capacidade enerxética. Unha auténtica mina. As rías galegas son un excelente exemplo de ecotón: o mar tropeza coa terra nunha xeografía de fractal matemático, producindo condicións óptimas para a riqueza biolóxica. Mais os ecotóns tamén existen na nosa cabeza e tamén son produtores de riqueza.

Unha cuestión de peso...

Hai pouco publicouse un dos traballos máis sorprendentes sobre este bífido tema, no que se comparou a densidade cerebral de persoas bilingües inglés-italiano con outros parámetros como a habilidade para falar a segunda lingua e a idade da súa adquisición. O resultado mostra que coa experiencia de adquirir a segunda lingua se producen modificacións na estrutura do cerebro. En concreto, unha zona do córtex parietal implicada na fluidez verbal aumenta de densidade e este incremento é maior nas persoas que teñen máis desenvoltura para falar a nova lingua. O que aínda non se sabe é a que se debe esa maior densidade de masa pensante: aumento das conexións entre neuronas?, aumento do tamaño das células? Hai outro resultado interesante neste traballo, pois ademais parece que a densidade é maior nos casos de aprendizaxe temperá da segunda lingua; aprender de vellos é menos eficaz para gañar substancia gris.

...de organización

O traballo comentado arriba é importante porque mostra a existencia de cambios estruturais cando se aprende outra lingua. Hai uns anos outro grupo de científicos demostrou que tamén existen diferenzas funcionais, sobre todo nos bilingües «tardíos», os que aprenden unha segunda lingua na idade adulta. Neste caso cada unha das linguas procésase de maneira independente, en rexións do cerebro separadas; esta división ocorre na chamada área de Broca, moi importante para articular a fala. Curiosamente, as persoas que aprenden as linguas cando son nenos non precisan desta disociación, como se o cerebro infantil tivese máis recursos para meter todo no mesmo saco. Estes resultados suxiren, en calquera caso, que é preciso buscar unha maneira para que non existan interferencias entre as linguas. No ano 2002 descubriuse, nun estudo con bilingües español-catalán que, de feito, os bilingües usan unha ruta distinta de conexións cerebrais para acceder ao léxico, ao seu vocabulario interno, de xeito que non salten chispas polo cruzamento de cables. Este tendido eléctrico especial permite que se poida filtrar e eliminar virtualmente o léxico non necesario en cada momento.

...e de velocidade

Mais isto non é todo. Outro descubrimento recente conclúe que as persoas bilingües son máis rápidas realizando determinadas tarefas cognitivas (no experimento tratábase de elixir o cadrado adecuado entre varios cadrados de distinta cor situados en distintas posicións nun monitor de ordenador) e que esta vantaxe se fai máis evidente coa idade, de tal xeito que se suxire que o bilingüismo é unha protección moi eficaz contra a deterioración mental ou, nas palabras dos autores: «It appears, therefore, that controlled processing is carried out more effectively by bilinguals and that bilingualism helps to offset age-related losses in certain executive processes».

A inmensa maioría dos galegos saímos cun bilingüismo de serie galego-español. Se a isto lle sumamos a aprendizaxe do inglés, a cousa quedaría nun cerebro con máis densidade que a media no córtex parietal; cunha única zona na área de Broca para manexar o galego e o español e unha zona distinta para o inglés; con circuítos diferentes de acceso para evitar interferencias e con menos deterioración mental que a media co paso do tempo.

Pois iso, *cheers, salud*, saúde.

Ligazóns

Bilingüismo e aumento de substancia gris

http://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/entrez?cmd=Retrieve&db=pubmed&dopt=AbstractPlus&list_uids=15483594

O cerebro partido dos bilingües

http://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/entrez?cmd=Retrieve&db=pubmed&dopt=AbstractPlus&list_uids=9217156

Dous circuítos para dúas linguas

http://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/entrez?cmd=Retrieve&db=pubmed&dopt=AbstractPlus&list_uids=11875570

Bilingüismo, velocidade mental e vellez

http://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/entrez?cmd=Retrieve&db=pubmed&dopt=AbstractPlus&list_uids=15222822



EN BUSCA DUNHA EXPLICACIÓN NEUROLÓXICA A CERTAS HABILIDADES MÍSTICAS

As experiencias místicas que moita xente alcanza mediante a meditación ou o fervor relixioso están entrando no campo da ciencia. Son o resultado de procesos psicolóxicos inexplicábeis ou, pola contra, simples trastornos mentais? Poden conseguirse eses estados mentais mediante o adestramento? É posíbel encontrar a espiritualidade nalgún recuncho do encéfalo? Os científicos, botando man da tecnoloxía e tamén dalgúns místicos, pensan que poden dar resposta a moitas desas preguntas.

Hai uns anos describíñ unha xuntanza que tivo lugar no Massachusetts Institute of Technology (MIT) –á que tiveron a sorte de asistir– entre científicos e monxes budistas. O obxectivo era compartir experiencias e falar de amores e desamores entre relixión (en concreto, budismo) e ciencia. Unha das decisións que se tomou, co apoio dun encantado Dalai Lama, foi a de estudar a actividade do cerebro dalgúns monxes mediante o rigoroso método científico. Tratábase de coñecer se os monxes, a través desas longas xornadas de meditación, chegan a estados mentais distintos dos normais; de medir, ao fin e ao cabo, a electricidade do misticismo.

O laboratorio do Lama

A proposta non caeu en saco roto: a finais de 2004 publicouse o resultado dese experimento na prestixiosa revista *PNAS (Proceedings of the National Academy of Sciences)*. Chama a atención iso de ler, nunha separata científica, que os suxeitos dun experimento sexan budistas que levan practicando as «tradicións tibetanas Nyingmapa e Kagyupa por períodos de tempo de 10 000 a 50 000 horas»; e tamén resulta curioso ver, na sección de agradecementos, un recordo á «Súa Santidade o Dalai Lama». En ciencia, normalmente, os suxeitos son

moléculas, algas ou ratas; e os agradecementos van para os técnicos de laboratorio e algún que outro colega.

Pois resulta que o profesor Richard Davidson, da universidade norteamericana de Wisconsin, marchou ao cuartel xeral dos budistas en Dharamsala, India, a estudar a actividade eléctrica dos cerebros destes individuos cando se encontran baixo un estado de meditación chamado de «compaixón pura». Os electroencefalogramas (EEG) resultantes, comparados cos de monxes novizos –con pouca práctica nesa meditación– resultaron espectaculares: a meditación produce nos monxes un incremento, nunca visto antes na literatura científica, na amplitude e sincronización dun tipo de actividade cerebral: as chamadas ondas gamma. Estas ondas están directamente relacionadas cos procesos afectivos e cognitivos, de tal xeito que os científicos cren que «o adestramento mental pode levar o encéfalo a niveles maiores de consciencia» (signifique isto o que signifique).

Visión occidental

Esta experiencia científica é unha das poucas que demostra que é posíbel modificar a función e as capacidades do sistema nervioso humano simplemente... pensando; ou, mellor dito, non pensando en nada e concentrándose nun estado de «bondade e compaixón incondicional». Xa postos a falar de curiosidades, resulta interesante que un dos medios que primeiro anunciou esta investigación foi o *Wall Street Journal*, no número do 5 de novembro; probabelmente aos *brokers* non lles viría mal algo de «bondade incondicional». Ou ao mellor os deportistas da Bolsa de Nova York están pensando noutra cousa, xa que o artigo remata así: «Isto abre a sedutora posibilidade de que o cerebro, coma o resto do corpo, poida ser modificado de maneira intencional. Igual que o aeróbic perfila os músculos, o adestramento mental modifica a substancia gris con formas que os científicos aínda están comezando a descubrir».

Místicos ou enfermos?

E falando de experiencias relixiosas, outra recente e interesante investigación tivo como obxectivo o estudo científico, ou mellor, o descubrimento (nos dous sentidos da palabra) dos mecanismos mentais que causan o éxtase, a Unio Mystica que algúns cristiáns din que achan con Deus. Xa nos anos 60 e 70 algúns científicos

destacaron a relación entre algúns tipos de epilepsia e os «ataques» de relixiosidade extrema. Agora, un equipo de científicos suízos acaba de demostrar que existe unha explicación neurolóxica para as chamadas «experiencias fóra do corpo», na que os que as sofren cren que están espertos e ven o seu corpo e o mundo desde unha localización fóra do propio corpo.

Estudar estes casos é difícil xa que non hai moitos. Das seis persoas estudadas –algunhas delas, igual que Santa Teresa, dábanlle unha interpretación mística ao fenómeno–, cinco tiñan un dano cerebral ou unha disfunción nunha rexión do cerebro –a unión temporoparietal– directamente implicada na coordinación dos sentidos que informan da situación do corpo nas tres dimensións espaciais. O dano, ou a existencia de pequenos ataques epilépticos nesta rexión, orixina a desaparición dos límites reais entre o corpo e o espazo, de tal xeito que unha persoa pode percibir o seu corpo ocupando unha posición que non coincide coa real.

A meditación profunda, cando está controlada por un cerebro san, parece que pode provocar cambios funcionais que aumentan as capacidades cognitivas. Pola contra, o dano en rexións concretas do córtex cerebral pode orixinar a ilusión de intensas experiencias místicas.

Tede coidado cos golpes na zona temporoparietal (un pouco por riba das orellas).

Ligazóns

Artigo sobre neuroloxía espiritual en *The Economist*

http://www.economist.com/science/PrinterFriendly.cfm?Story_ID=2478148

Artigo en PNAS sobre a actividade mental dos monxes budistas:

1. Resumo

http://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/entrez?cmd=Retrieve&db=pubmed&dopt=AbstractPlus&list_uids=15534199

2. Artigo completo

<http://www.pnas.org/cgi/content/full/101/46/16369>

Neuroloxía das «experiencias fóra do corpo»

http://www.ncbi.nlm.nih.gov/sites/entrez?cmd=Retrieve&db=pubmed&dopt=AbstractPlus&list_uids=14662516



A MAIOR LONXEVIDADE DAS MULLERES: UN ASUNTO DE CORAZÓN

As mulleres viven máis anos que os homes e non se sabe moi ben por que. Desde hai tempo varias teorías tentan explicar esta diferenza na lonxevidade, mais ningunha está demostrada definitivamente. A comezos de 2005 un grupo de científicos do Reino Unido propuxo que a explicación pode estar, entre outras cousas, na musculatura do corazón.

O corazón é un músculo imprescindíbel para o funcionamento do corpo. É unha máquina que traballa bombeando sangue a todos os tecidos; desta maneira, arterias, veas e capilares distribúen osíxeno, nutrientes e outros elementos a todas as células do corpo. As células son terribelmente ávidas e precisan dunha alimentación constante ou, pola contra, morren ao cabo duns minutos. Como funciona este músculo tan especial?

Músculos obedientes

A maior parte dos nosos músculos teñen como misión mover o esqueleto, tirando dos ósos dun lado para outro: estou a falar da chamada musculatura esquelética –por certo, este tecido é a parte fundamental que, os que somos carnívoros, comemos dos outros animais: xamón, filetes e churrasco son bos exemplos de músculos esqueléticos. Cada músculo está composto por miles de longas células ou fibras musculares cunha propiedade moi especial: poden contraerse e diminuír de lonxitude seguindo instrucións do noso cerebro, da nosa vontade. Para contraer por exemplo o bíceps –ese músculo do brazo que ensinamos cando «sacamos bóla»– o noso cerebro envía unha orde a un grupo de neuronas que están en contacto con esas fibras musculares e, ao recibir o sinal, as fibras, rápidas e obedientes, acúrtanse. Estas fibras poden crecer en tamaño (hipertrofia muscular) dependendo da cantidade de traballo que

realicen, aumentando desa maneira a cantidade de tensión que poden realizar; ao facer exercicio os músculos implicados tenden á hipertrofia. Coa idade, e tamén coa falta de exercicio, as fibras van diminuindo de tamaño e morrendo.

Músculo automático e incansábel

Un corazón en repouso latexa unhas 100 000 veces ao día, bombeando nesas 24 horas uns 7000 litros de sangue –cantos litros e latexos levas xa na túa vida? O músculo do corazón é moi parecido ao que move os ósos, mais ten unha propiedade especial: a contracción das fibras non depende da nosa vontade, senón que ocorre de maneira independente, automática e continua –menos mal. En condicións de repouso hai unha contracción –un latexo– aproximadamente cada segundo (a frecuencia media é de 65-70 latexos por minuto), a cal pode aumentar ou diminuír dependendo do momento do día e da actividade que se está a facer. Ao aumentar a actividade física as células do corpo precisan máis fluxo de sangue e, por tanto, a bomba traballa a máis velocidade: o corazón aumenta a frecuencia –e outros parámetros, como a forza de contracción. As fibras do corazón teñen ademais outra característica que as fai diferentes ás dos músculos esqueléticos: a contracción realízase de maneira extremadamente organizada e sincronizada. Os millóns de fibras que o forman seguen unha secuencia precisa de acurtamento, que lle permite funcionar como unha bomba certamente moi eficaz. Isto conséguese grazas a que as células están ligadas unhas a outras a través de conexións eléctricas polas que circula a orde de contracción.

As vellas deben de namorarse

Que ten que ver todo isto coa diferenza en lonxevidade de mulleres e homes? Parece que moito, entre outras cousas porque as enfermidades do corazón son a principal causa de morte no mundo occidental. Na Unión Europea as mulleres viven unha media de 82 anos, mentres que os homes quedan en 76. Pode haber moitas razóns para explicar estes números, por exemplo diferenzas hormonais e o efecto destas no sistema cardiovascular –formado polo corazón e os vasos sanguíneos– ou modificacións globais no organismo como consecuencia da distinta importancia evolutiva de homes e mulleres. Estas e outras teorías seguen no ar, mais agora temos un

dato novo moi importante: un grupo de científicos da universidade John Moore de Liverpool descubriu que o corazón feminino é moito máis duradeiro.

Os investigadores, liderados por David Goldspink, compararon o corazón de 250 voluntarios –xente san que levaba unha vida sedentaria– con idades entre 18 e 80 anos e encontraron unha diferenza espectacular entre os corazóns de distinto sexo: os homes de 70 anos teñen un terzo menos de fibras musculares que os de 20 –as células van morrendo co tempo–, e por tanto un corazón cun 20-25% menos de potencia. Que pasa coas mulleres? Pois... nada: o corazón das mulleres de 70 anos ten practicamente o mesmo número de fibras e a mesma potencia que o dunha rapaza de 20! Por algunha razón que aínda é descoñecida o paso do tempo afecta moi pouco á supervivencia das fibras contráctiles do corazón feminino, e este feito pode estar directamente relacionado coa diferenza en lonxevidade respecto aos homes. Mais o organismo é plástico e pode exercitarse. Os científicos de Liverpool tamén observaron que os homes que fan exercicio de maneira continuada chegan a vellos cun corazón cunha potencia comparábel á dos rapaces de 20.

Facer traballar o corazón diminúe a morte paulatina de millóns de fibras musculares. Ti dirás.

Ligazóns

Por que viven máis as mulleres?

<http://elmundosalud.elmundo.es/elmundosalud/2005/02/11/mujer/1108136913.html>

COIDADADO CO MONÓXIDO DE CARBONO: UN GAS DOMÉSTICO QUE HAI QUE TER EN CONTA

A intoxicación por monóxido de carbono (CO) causa todos os anos a morte doce e estúpida dunha morea de xente. Esta substancia maquiavélica está moi presente na nosa vida cotiá, mais poucas veces nos decatamos da súa sombra ameazante. Coñecer un pouco mellor este «asasino silencioso» pode salvarnos a vida.

Todas as células do corpo precisan dun gas para poder funcionar: o osíxeno (O_2). O sistema respiratorio encárgase de levar o osíxeno da atmosfera até o sangue, o cal distribúe o gas por todo o organismo. Este sistema de transporte pode bloquearse no caso de existir no ar que respiramos un gas que se fai pasar por osíxeno e ocupa o seu lugar: o CO.

Transportando osíxeno a todo o corpo

Nos pulmóns o O_2 do ar difunde e pasa ao interior dos vasos sanguíneos. Sangue fresco, cargado dun gas que é imprescindible para que as células produzan enerxía e realicen a súa función. Para facer este traballo coa maior eficacia o sangue ten un exército de mensaxeiros, os glóbulos vermellos. No interior destas células hai moléculas dunha proteína chamada hemoglobina que ten unha afinidade especial polo osíxeno, de tal xeito que cada unha pode cargar con catro moléculas de O_2 –cando isto acontece, a molécula pasa a chamarse oxihemoglobina. A hemoglobina é unha molécula fundamental, que está presente en practicamente todos os animais; para ter unha idea da súa importancia no funcionamento do corpo humano, chega con ollar estes números: unha persoa adulta ten entre 25 e 30 billóns –si, con b- de glóbulos vermellos e cada un deles contén uns 250 millóns de moléculas de hemoglobina. Podes seguir multiplicando ti. Os glóbulos vermellos traballan constantemente, carretando O_2 a todos os tecidos do corpo;

ao facerse vellos, ao cabo duns 120 días, son substituídos por outros: cada día fórmanse no teu corpo varios miles de millóns de glóbulos novos.

Todos estes datos serven para mostrar a voracidade do corpo polo gas que nos dá a vida; unha célula sen O_2 pode sobrevivir só uns poucos minutos, así que non se pode andar con bromas. En condicións normais este sistema funciona estupendamente xa que na atmosfera hai osíxeno dabondo, mais hai moitas situacións en que o ar que respiramos contén un gas que lle fai a competencia ao O_2 .

O inimigo invisíbel

O monóxido de carbono (CO) prodúcese na combustión incompleta de hidrocarburos, algo que ocorre acotío nos motores dos coches ou nos aparatos domésticos que queiman gas, madeira, carbón etc. Cando hai osíxeno dabondo, a combustión orixina fundamentalmente a unión dun átomo de carbono con dous átomos de osíxeno, producindo CO_2 , que é un gas inofensivo; mais se a combustión ocorre con pouco O_2 , fórmase un gas cunhas propiedades totalmente distintas: CO.

O CO é moi tóxico e, ademais, inodoro –non cheira– e incoloro, o que complica máis as cousas. O principal problema co CO débese a que ten moita facilidade para unirse á hemoglobina, ocupando o sitio do O_2 e deixando ás células do corpo sen ese gas vital. Ademais o noso corpo, cando lle dan a elixir, parece que prefire o gas tóxico, xa que as moléculas de hemoglobina teñen 250 veces máis afinidade polo CO que polo O_2 , de tal xeito que poden cargarse de CO aínda que a concentración dese gas sexa moi pequena. A molécula que se forma con esta unión chámase carboxihemoglobina.

Todos temos algo de CO no sangue, os valores normais están entre un 0,5% de carboxihemoglobina –en zonas rurais– e un 2% –en zonas urbanas–; se ademais somos fumadores, o nivel pode alcanzar o 10%, debido ao CO que ten o fume do tabaco. Con eses valores de CO no corpo podemos seguir vivindo, xa que queda hemoglobina dabondo para carretar o O_2 . O problema chega cando por algunha razón permanecemos durante un tempo nun espazo con moito CO. Valores de carboxihemoglobina do 20% producen dor de cabeza e outros síntomas –mareo, debilidade, náuseas– e se chegan ao 50% poden

provocar a morte en pouco tempo. Como é un gas que non cheira, nin se pode ver, os síntomas da intoxicación poden pasar desapercibidos –sobre todo ao estar durmidos–, o que explica que a maioría da xente que morre polo efecto deste gas non se decate do que está a pasar. Os órganos que precisan de máis osíxeno son os que primeiro sofren as consecuencias, como o cerebro ou o corazón, o que pode orixinar en pouco tempo a perda da consciencia e un fallo cardíaco.

Doce estupidez

As intoxicacións por CO son moi comúns na sociedade actual, unha sociedade que utiliza a combustión de hidrocarburos para mover coches e quentar comidas e habitacións. Resulta difícil de comprender a pouca información que existe sobre algo tan cotián e perigoso, a pesar das mortes que se producen todos os anos. Hai un século, en 1902, Émile Zola morreu na súa casa de París, debido ao CO producido por unha cheminea que non tiraba ben; cen anos despois, enviamos sondas a Titán e mensaxes SMS, mais somos incapaces de ofrecer unha educación que nos impida morrer docemente cando acendemos unha estufa para non morrer de frío.

Unha moeda con dúas caras, coma todas

Como ocorre con todos os produtos tóxicos, o problema está na cantidade, non na substancia en si. De feito, hai pouco que se descubriu que o CO é producido polo cerebro en pequenas cantidades e que pode ter a función de contribuír á comunicación entre as células nerviosas –neuronas–, favorecendo a memoria. Outro exemplo de que todo é cuestión da dose.

Se vos levantades con dor de cabeza pola mañá, probade a mellorar a ventilación dos aparatos que queimen combustible (calefaccións de gas, chemineas, braseiros etc.).

Ligazóns

Envenenamento con monóxido de carbono

<http://www.nlm.nih.gov/medlineplus/spanish/print/carbonmonoxidepoisoning.html>

MENTE, MOVEMENTO E A RECUPERACIÓN DA ACTIVIDADE PERDIDA

O movemento é una propiedade característica do reino animal. O sistema nervioso elabora ordes que finalmente se transforman na contracción dos músculos. Grazas ao coñecemento científico xa sabemos como son gran parte dos mecanismos que hai detrás desta capacidade tan importante para a nosa supervivencia; agora os investigadores tratan de traspasar unha nova fronteira: a recuperación da parálise que se produce coas lesións medulares.

As plantas non se moven. Os animais, pola contra, precisamos desprazarnos para sobrevivir: movémonos para explorar, buscar alimento, para reproducirnos, fuxir dos inimigos ou do clima desagradábel; e tamén para facer todo tipo de actividades lúdicas. O alimento non nos entra co ar que respiramos, nin a través dos pés, hai que moverse! Este feito deu lugar a unha serie de procesos moi interesantes na evolución dos animais.

Dos sentidos aos músculos, pasando polo cerebro

En primeiro lugar, a necesidade de desprazamento require da existencia de sistemas que detecten como é o medio que hai arredor; calquera información que poida ser útil será benvida. Deste xeito aparecen os órganos dos sentidos, como un sistema de aparatos detectores que envían ao corpo datos sobre o exterior. A información que se recibe ten que ser filtrada, procesada e, finalmente, interpretada nun contexto adecuado: estes requirimentos deron lugar ao desenvolvemento do sistema nervioso. O produto da actividade deste sistema é a contracción de fibras musculares. Hai por tanto unha entrada de información, os sentidos, e unha saída, o movemento, e no medio un sistema que se vai facendo cada vez máis complexo (en realidade o fluxo de información non é lineal,

senón circular, xa que o propio movemento estimula a actividade dos sentidos).

A conclusión do parágrafo anterior vén a ser máis ou menos que se temos cerebro é grazas á necesidade de movérmonos. Os seres que non se moven non teñen sistema nervioso, non hai datos complexos que analizar a toda velocidade; non se precisan por tanto órganos dos sentidos, non hai dor, non hai sufrimento. O feito de que repolos, tomates e leitugas non anden a brincar polas hortas permite a supervivencia de xente que é vexetariana. Paradoxalmente esta vantaxe de que existan seres inmóbiles está enlazada co feito de que moita xente vexetariana tamén está en contra da investigación con animais, investigación que está sendo indispensable para a recuperación das persoas que non se poden mover. Grazas a estudos que están a realizarse agora, podo asegurar con rotundidade que no futuro os parapléxicos e tetrapléxicos serán unha cousa do pasado.

A chispa da vida

Todos os movementos que facemos de maneira voluntaria iníciase nunha zona do cerebro chamada córtex motor, lugar onde hai neuronas que envían sinais eléctricos en dirección á medula espiñal. Alí actívanse unhas neuronas que contactan directamente coas fibras musculares; ao chegar o estímulo eléctrico ao músculo as fibras contraense, producen movemento. A transformación é marabillosa: somos capaces de converter un pensamento no movemento dunha parte específica do corpo. E todo grazas a pequenos impulsos eléctricos que viaxan primeiro polas neuronas e logo polas células dos músculos. Cando se produce unha lesión na medula espiñal que orixina a parálise dalgunha parte do corpo –como por exemplo no caso do mariñeiro e poeta Ramón Sampedro–, o que ocorre é que se danan as fibras nerviosas que conectan o cerebro cos músculos, fibras que teñen como misión carretar impulsos eléctricos. Se non hai electricidade non hai movemento.

Electricistas do corpo humano

Os científicos levan moitos anos buscando a maneira de reparar os nervios estragados e, aínda que non está sendo un traballo doado, moitos experimentos e experiencias xa mostraron resultados moi esperanzadores. Hai varias liñas de investigación: unhas baséanse na

busca dos mecanismos químicos capaces de inducir a rexeneración dos nervios seccionados; algunhas estudan o uso de células nai como ferramenta que promova a recuperación das funcións perdidas e outras buscan a recuperación do movemento mediante o movemento mesmo, activando artificialmente os músculos para que a súa actividade estimule de paso a rexeneración de todo o sistema de condución de sinais. Este último tipo de investigacións está representado polas chamadas terapias baseadas na actividade, probabelmente as máis «naturais». O actor Christopher Reeve (ex-Superman) beneficiouse delas e puido recuperar movementos e sensacións que algúns médicos prognosticaran ao principio como irrecuperábeis.

Entre as terapias baseadas na actividade está a utilización da estimulación eléctrica: xa que os músculos non reciben os sinais eléctricos procedentes do cerebro, podemos probar a movelos mediante pequenas descargas emitidas por eléctrodos pegados á pel. O movemento artificial que se produce pode axudar a activar mecanismos de rexeneración, ensinar de novo ao sistema nervioso como ten que facer para producir movemento. Os recentes experimentos do investigador John McDonald (o mesmo que tratou a Superman) indican que a estimulación eléctrica dos músculos produce de feito unha recuperación notábel. Un método de aplicación desta técnica consiste en facer pedalear a unha persoa paralizada nunha bicicleta estática mediante o uso dun computador que envía impulsos eléctricos aos músculos das pernas, reproducindo o movemento natural. O computador faría neste caso o papel do cerebro. No desenvolvemento normal do sistema nervioso os chispazos eléctricos que percorren nervios e músculos son os que perfilan e reforzan a función final. Con esta terapia –chamada «estimulación eléctrica funcional»– os impulsos eléctricos artificiais poden axudar á activación das células nai que hai no corpo, indicándolles o camiño para a recuperación do movemento.

Os seres vivos somos extraordinariamente complexos e plásticos, poucas son as causas perdidas. Todo é cuestión de tempo e coñecemento.

Ligazóns

O centro onde investiga o Dr. McDonald

<http://www.spinalcordrecovery.org/>

Entrevista a John Mcdonald

<http://www.spinalcordrecovery.org/spinalman.pdf>

Terapia baseada na actividade

http://www.kennedykrieger.org/kki_touch_article.jsp?pid=3663

DEPRESIÓN, SEROTONINA E PROPAGANDA FARMACÉUTICA

A depresión é unha doenza que afecta a millóns de persoas en todo o mundo. O tratamento máis común consiste na utilización de fármacos antidepressivos, principalmente os que actúan sobre os niveis de serotonina, unha substancia química do cerebro. Aínda que funcionan, non está cientificamente demostrado que a serotonina teña algo que ver coa/s causa/s da enfermidade; este feito, ignorado por moitos médicos, é habilmente tapado polas todopoderosas industrias farmacéuticas, que venden millóns deses medicamentos cada ano.

Na páxina web española da farmacéutica Lilly, fabricante do Prozac, podía ler isto sobre a depresión (ver ligazón ao final; segundo parece o texto modificouse recentemente): «se ha comprobado que existen alteraciones de unas sustancias químicas presentes en el cerebro. (...) En los pacientes depresivos, los niveles de estas sustancias están disminuidos. Los medicamentos antidepressivos se encargan de regularlas y de que vuelvan a sus niveles normales». Todas son afirmacións incorrectas. Frases similares poden encontrarse na publicidade doutras compañías.

A investigación científica dá pé á fabricación e venda de moitos medicamentos que son útiles, e incluso esenciais, para a saúde de todos nós. As vacinas, por exemplo, son practicamente indispensábeis para manter a esperanza de vida actual. Mais hai algúns casos en que os produtos que se venden non están apoiados polo rigor científico, senón máis ben pola información enganosa e a voracidade capitalista.

Efectos misteriosos

Xa falei con anterioridade dos dubidosos métodos «científicos» utilizados polas industrias farmacéuticas no desenvolvemento e promoción dalgúns fármacos. Nun artigo recente da revista *PLOS-Medicine* revélase a utilización desapiadada que fan as empresas farmacéuticas dos preparados antidepressivos do tipo ISRS (Inhibidores Selectivos da Recaptación de Serotonina). A este grupo pertencen medicamentos como a fluoxetina (Prozac), sertralina (Besitrán, Aremis), paroxetina (Seroxat, Motivan) e outros. Estes medicamentos alivian a depresión máis, curiosamente, non se sabe como, xa que en moitos casos son tan eficaces como a psicoterapia, os medicamentos placebo (medicamentos ficticios) ou simplemente facer exercicio. O éxito que teñen en todo o mundo débese en boa medida á publicidade enganosa das compañías que os venden, coa complicidade das axencias estatais do momento, e tamén ao descoñecemento e/ou frivolidade dalgúns médicos.

Comunicación entre neuronas

O funcionamento dos ISRS é, en principio, sinxelo. A maioría das neuronas (células principais do sistema nervioso) comunícanse entre elas mediante unha substancia química ou neurotransmisor: nos lugares chamados sinapses estas substancias son liberadas por unha neurona –a que envía información– e captadas pola superficie doutra –que recibe a información. A liberación do neurotransmisor está sempre acompañada da case inmediata eliminación deste, de tal xeito que ten moi pouco tempo para actuar sobre a célula receptora. Se esta eliminación falla ou se bloquea, o neurotransmisor ten máis tempo para actuar, polo que aumentan os seus efectos. A serotonina é unha destas substancias transmisoras de información, que actúa en moitísimas sinapses do sistema nervioso e está sendo eliminada continuamente por un proceso de recaptación: é absorbida, captada de novo pola neurona que a liberou. Os fármacos ISRS impiden esta recaptación, a serotonina permanece máis tempo do normal nas sinapses e por tanto aumenta o seu efecto sobre as células receptoras.

Medias verdades

Por razóns que aínda son descoñecidas, esta estratexia de aumentar os niveis de serotonina nas sinapses axuda a mellorar os síntomas na maioría das depresións. Este feito deu lugar á teoría de que a depresión é un desequilibrio químico do cerebro consistente nunha diminución nos niveis de serotonina. Na actualidade institucións, médicos e o gran público teñen asimilado que esa relación (menos serotonina = depresión) é unha teoría científicamente válida, mais non é así: non hai absolutamente ningunha evidencia científica seria que demostre a existencia dunha deficiencia de serotonina en ningunha desorde mental; pola contra, si hai evidencias do contrario –ou sexa, de que a serotonina non ten nada que ver nas causas da enfermidade. O feito de que os fármacos ISRS funcionen relativamente ben –o Prozac é o antidepressivo máis receitado da historia– deu lugar á teoría do desequilibrio nos niveis de serotonina, mais isto de buscar a causa dunha enfermidade baseándose na resposta a un tratamento é un mal argumento; é algo así como dicir que, xa que o Frenadol ou a Couldina alivian os síntomas do catarro, este débese á existencia de niveis baixos deses compostos no corpo. A confusión está en todos os niveis: no portal web tecnociencia.es, xestionado polo Ministerio de Educación e Ciencia e co apoio técnico do CSIC (Centro Superior de Investigacións Científicas), pode lerse algo similar ao que aparece na web citada antes «se ha demostrado que la bioquímica del cerebro juega un papel significativo en los trastornos depresivos. Se sabe que las personas con depresión grave tienen desequilibrios de ciertas sustancias químicas en el cerebro, conocidas como neurotransmisores». Pois non, non hai nada demostrado na literatura científica.

O que si está demostrado é que non existe ningunha evidencia dunha deficiencia de serotonina na depresión, nin en ningunha outra desorde psiquiátrica. De feito hai institucións –como a británica National Institute for Clinical Excellence– que, tomando os datos científicos con rigor, aconsellan tratar a depresión moderada con métodos non farmacolóxicos (por exemplo a psicoterapia). De onde vén a confusión? Probabelmente da publicidade das empresas farmacéuticas, que non dubidan en utilizar frases científicamente inexactas para espallar polo mundo os seus produtos. Isto leva a unha

sociedade hipermedicalizada, con pacientes que acoden ás consultas influídos polo que len ou escoitan nos medios de comunicación e que poden ser escépticos cos médicos que lles din que é mellor unha terapia alternativa á farmacolóxica. Ademais da intoxicación mediática, tamén entra no xogo dos intereses das grandes empresas a non-información, pois hai que ter en conta que estas mesmas compañías non sacan á luz os datos dos estudos que non lles son favorábeis –por exemplo hai estudos que demostran que substancias placebo ou outras como o extracto de hipérico (*Hypericum perforatum*) son tan eficaces no tratamento da depresión como os fármacos ISRS.

As investigacións sobre o funcionamento do sistema nervioso mostran que a estrutura que dá lugar ás nosas emocións é terriblemente complexa, con multitude de conexións entre neuronas nas que entran en xogo miles de substancias químicas. Hai pouco publicouse na revista *The Journal of Neuroscience* un artigo duns científicos fineses e holandeses no que se describen diferenzas entre o electroencefalograma (EEG) de pacientes con depresión e persoas sans. Encontran cambios importantes na actividade sincronizada de miles de millóns de neuronas, mais non teñen evidencias de qué causa eses cambios. A palabra «serotonina» non aparece no artigo por ningunha parte.

(Nota: *PLOS* vén de Public Library of Science, un proxecto de distribución gratuíta de varias revistas científicas de calidade; outras como *Nature* ou *Science* son de pago e caras).

Ligazóns

Lilly

http://www.lilly.es/Nitro/newTemplates/general/Content__LBC.jsp?page=217

Artigo en *PLOS Medicine* sobre a depresión e a serotonina

<http://medicine.plosjournals.org/perlserv/?request=get-document&doi=10.1371/journal.pmed.0020392>

Web de Tecnociencia (do MEC) con datos erróneos

<http://www.tecnociencia.es/especiales/depresion/causas.htm>

O efecto antidepresivo do hipérico

<http://nccam.nih.gov/health/stjohnswort/>



O ADN MITOCONDRIAL, UN TERCEIRO EN DISCORDIA

Na época actual, co esplendor da biotecnoloxía, cada vez é máis común encontrar nos medios de comunicación referencias ao xenoma, o conxunto de todos os xenes dunha especie. Cada un de nós leva consigo unha mestura de xenes procedentes da nai e do pai, un xenoma mixto resultado da reprodución sexual. Mais hai un pequeno grupo de xenes que ten unha existencia á parte, herdado só da nai, que é moi similar en todos os seres humanos: o ADN mitocondrial. As peculiares características destes xenes están a provocar dúbidas de tipo médico e ético, xa que a utilización dalgunhas técnicas de fertilidade ou de terapia xénica poden dar lugar a fillos... con tres proxenitores.

O sustento físico dos xenes é unha gran molécula chamada ADN. Temos varias destas supermoléculas en cada unha das células do noso corpo –salvo escasas excepcións–, formando os coñecidos cromosomas. Este material consérvase coidadosamente dentro da célula nun paquete chamado núcleo. Os biólogos saben desde hai tempo que este conxunto de moléculas de ADN (xenoma) garda toda a información necesaria para a formación dun ser vivo. Toda? Non. Un grupo de xenes resisten desde hai centos de millóns de anos, ignorando as leis de Mendel, nuns compartimentos distintos ao núcleo: as mitocondrias.

Motores celulares

As mitocondrias son pequenos corpúsculos que hai no interior das células, encargados de producir enerxía a partir de substancias nutritivas e osíxeno. O número de mitocondrias dentro de cada célula varía dependendo do traballo que se teña que facer, de tal xeito que as zonas do corpo que precisan de máis enerxía –como músculos e cerebro– teñen células que chegan a ter varios centos

de mitocondrias. Ademais de ser uns excelentes motores, estes corpúsculos posúen unha propiedade extraordinaria: teñen o seu propio ADN, independente do ADN nuclear que todos coñecemos. Cada un destes corpúsculos leva no seu interior varias copias do chamado ADN mitocondrial.

Unha bacteria dentro de nós

A teoría actual considera que as mitocondrias proceden de bacterias que, hai varios centos de millóns de anos, foron capturadas e pasaron ao interior de células eucariotas (con núcleo) primitivas que non podían utilizar osíxeno para producir enerxía. Isto deu lugar a unha relación de tipo simbiótico –os dous seres en cuestión comparten algún beneficio–; as células conseguiron máis capacidade para producir enerxía e as bacterias conseguiron refuxio e alimentación. Co tempo esta relación foi fortalecéndose até chegar á actualidade; agora estudamos as mitocondrias como unha parte máis das células, mais seguen a conservar o seu propio ADN que, non é de estrañar, é moito máis parecido ao dunha bacteria que ao do resto do ADN do núcleo.

O estudo do sistema xenético mitocondrial, que por certo é algo moi recente, deu lugar a máis sorpresas, unha delas relacionada co descubrimento da historia evolutiva dos seres humanos. Resulta que todas as mitocondrias que hai nas nosas células, e con elas o seu ADN, herdámolas directamente da nai; non hai intercambio coas mitocondrias paternas (recorda que o outro ADN, o do núcleo, é sempre unha mestura de xenes maternos e paternos). Isto é así porque no momento da fecundación o óvulo –que procede da nai– contén miles de mitocondrias, que permanecen nas seguintes divisións celulares; pola súa banda o espermatozoide ao unirse ao óvulo libera no interior os seus cromosomas, mais nada máis. Estas mitocondrias que van pasando de xeración en xeración a través dos óvulos son literalmente clons, reproducións idénticas que saltan a través do tempo, como unha liña inmortal de bacterias que todos levamos dentro.

Parentes africanos

Clons? Idénticos desde hai centos de millóns de anos? Case. Aquí é preciso facer unha interesante puntualización. Este ADN mitocondrial

en principio non se mestura con nada, mais non permanece intacto, xa que está sometido a mutacións como calquera outro ADN (mutacións debidas a fallos na replicación, radiacións e outras causas). De feito a taxa de cambio do ADN mitocondrial é bastante máis alta que a do ADN nuclear polo que en realidade, aínda que moi parecidos, os ADN mitocondriais dos seres humanos van variando lixeiramente co tempo. Este feito deu lugar a que os científicos, seguindo estas pequenas variacións a modo de pista, rastreasen a evolución dos seres humanos e chegaron á conclusión de que todos os individuos actuais somos parentes dun grupo procedente de África que viviu hai uns 150 000 – 200 000 anos. Este descubrimento deu lugar á chamada teoría da Eva mitocondrial, que suxire que todos descendemos dun único antepasado feminino. En Europa ese antepasado daría lugar a sete grupos lixeiramente diferentes de ADN mitocondrial, que son os que existen na actualidade. Bryan Sykes, científico da universidade de Oxford, escribiu un estupendo libro de divulgación sobre este tema titulado *As sete fillas de Eva*.

Novas terapias, resultados incertos

Aínda que moi similar, o ADN mitocondrial ten lixeiras diferenzas entre as persoas e non se sabe moi ben como poden afectar esas diferenzas a cada individuo. Hai casos en que o ADN mitocondrial ten demasiadas mutacións e orixina enfermidades derivadas da falta de enerxía causada polo mal funcionamento deses corpúsculos. Son enfermidades complicadas, tanto de diagnosticar –temos mitocondrias en todas as partes–, como de curar, que afectan maiormente ás partes do corpo que precisan de máis enerxía. Para evitar que as mulleres con enfermidades mitocondriais pasen o mal á descendencia un grupo de científicos da universidade de Newcastle está ensaiando unha técnica nova de fertilización in vitro: extraen o núcleo dun ovo fecundado –que xa leva os xenes do pai e a nai– e transfírenos ao óvulo doutra muller ao que se lle quitou o núcleo mais que conserva as mitocondrias –supostamente sans. Neste caso os embrións terán ADN procedente de 3 persoas: ADN da nai e pai así como ADN mitocondrial da nai que doa o óvulo. Estes experimentos estanse a realizar no Reino Unido, mais foron prohibidos en Estados Unidos e China logo da falta de garantía sobre a saúde dos fetos.

Hai outra terapia, esta para favorecer a fertilidade, que tamén dá lugar a embrións con ADN procedente de 3 persoas. Consiste en engadir ao óvulo mitocondrias procedentes do óvulo dunha segunda muller, xa que se comprobou que isto estimula o desenvolvemento. Os científicos teñen na actualidade unha disputa sobre esta técnica: algúns cren que os dous tipos de ADN mitocondrial poden mesturarse e intercambiar xenes, con consecuencias imprevisíbeis. Na outra banda hai científicos que simplemente non cren que as mitocondrias procedentes de nais distintas poidan intercambiar material entre si e que a técnica é segura. Con este método xa naceron varias decenas de bebés; haberá que ver que tal lles vai con iso de ter un ADN tan variado.

Ligazóns

Mitocondrias

<http://es.wikipedia.org/wiki/Mitocondria>

ADN mitocondrial e evolución humana

http://es.wikipedia.org/wiki/ADN_mitocondrial

Eva Mitocondrial

http://es.wikipedia.org/wiki/Eva_mitocondrial

Artigo de Max Ingman

<http://www.actionbioscience.org/esp/evolution/ingman.html>

DO QUE SOMOS CAPACES

DE JOHN HARRISON AO RELOXO ÓPTICO, UNHA HISTORIA DO TEMPO

A medición do tempo é fundamental para a navegación e as comunicacións. Tan preocupados estaban os navegantes polo tema que aló polo ano 1714 o goberno inglés estableceu un premio de 20 000 libras (actualmente uns 10 millóns de euros) para quen fose capaz de construír un reloxo de precisión. O gañador foi un carpinteiro. Actualmente o paso do tempo contrólase con reloxos atómicos que erran 1 segundo cada 30 millóns de anos. Mais a busca por incrementar a precisión continúa e axiña o reloxo atómico será substituído por reloxos ópticos miles de veces máis precisos. Un grupo de xaponeses acaba de presentar o primeiro.

Saber a hora é fundamental non só para coñecer o cando, senón tamén o onde. Por exemplo, o sistema de navegación GPS depende da medición moi precisa do tempo con reloxos atómicos. Para o cálculo da posición mediante este sistema utilízanse sinais temporais emitidos polos satélites; se falla a medición do tempo, tamén fallará o cálculo da posición. Cada un dos 24 satélites da rede leva 4 reloxos atómicos. Mais a preocupación pola medición correcta do tempo para orientarse no espazo comezou moito antes.

Coordenadas imaxinarias

Un barco pode indicar a súa posición de acordo cun sistema de coordenadas baseado en meridianos e paralelos. Os paralelos indican a latitude e son, como di o nome, liñas paralelas que sucun imaxinariamente o planeta de leste a oeste. Os meridianos indican a lonxitude e neste caso trátase de liñas de idéntica extensión que van de polo a polo e dividen o planeta en anacos coma se fose unha laranxa. Desde o tempo de Ptolomeo os cero graos de latitude están no Ecuador. Pola contra, os cero graos de lonxitude foron máis

disputados e remataron finalmente en Londres –concretamente en Greenwich– despois de moitas voltas á laranxa.

Nos comezos da navegación de grandes distancias a latitude podía coñecerse facilmente pola duración do día ou pola altura do sol e as estrelas no horizonte. En 1492 Cristóbal Colón navegou seguindo un paralelo e iso bastoulle para non desviarse moito do seu rumbo cara ao oeste. Mais para coñecer a lonxitude é preciso medir o tempo a bordo do barco –para o cal os astros botan unha man estupenda– e tamén coñecer a hora dalgún punto de lonxitude coñecida; cada hora de diferenza entre as dúas medicións serán 15 graos de lonxitude. A falla de bos reloxos a bordo puña os navegantes en constante perigo; perderse podía significar quedar sen auga e alimentos antes de encontrar unha terra á que agarrarse.

Londres, temos un problema!

Os científicos sempre tiveron presente a importancia da medición do tempo. En 1656 Huygens –o físico holandés que tamén foi o descubridor de Titán, a lúa de Saturno que foi visitada hai pouco por unha nave da ESA-NASA chamada xustamente Huygens– construíu o primeiro reloxo de péndulo (unha idea que xa andara na cabeza de Galileo). Mais estes trebellos só funcionan no mar con bo tempo xa que o movemento da nave modifica seriamente o balanceo do péndulo. Para tratar de solucionar ese problema Huygens inventou e patentou en 1675 o balanceo mediante un sistema de resortes que aínda se utiliza en moitos reloxos de pulseira actuais; unha invención que tamén se atribuíu a si mesmo neses anos Robert Hooke, o científico que acuñou a palabra célula. Está claro que esa foi unha época de investigadores «multimedia».

En 1714 comerciantes e mariñeiros decidiron meterlle presión ao goberno inglés para que fixese algo. Os políticos buscaron o consello de Sir Isaac Newton –tiña daquela 72 anos– e de Edmond Halley –o astrónomo que deu nome ao cometa. Newton parecía desconfiar de que se puidese conseguir un reloxo de precisión a curto prazo: «...debido ao movemento do barco, ás variacións de temperatura e de humidade e a diferente gravidade a distintas latitudes, tal reloxo aínda non foi construído», escribiu. Entón, o Parlamento decidiu crear un premio –The Longitude Act– para entregar a quen inventase

un método capaz de determinar a lonxitude no mar cunha precisión de medio grao: 20 000 libras. Unha comisión debería encargarse de probar calquera artefacto aspirante, o cal tería que viaxar a bordo dun «barco da Súa Maxestade... navegando entre Gran Bretaña e as Indias Occidentais sen perder a lonxitude dentro dos límites establecidos». Unha viaxe desas características duraba naqueles tempos uns 40 días; o reloxo gañador non debería de perder ou gañar máis de 3 segundos cada 24 horas.

O carpinteiro que foi o mellor reloxeiro do mundo

John Harrison naceu o 24 de marzo de 1693. Foi unha mente autodidacta, carpinteiro, músico e... fabricante de reloxo. Antes de cumprir 20 anos xa fixera o seu primeiro reloxo de péndulo, coa novidade de que estaba construído case exclusivamente de madeira; todo un reloxo de carpinteiro. Entre 1725 e 1727 construíu dous reloxo de parede dunha precisión impresionante para a época: tiñan un erro de 1 segundo ao mes, cando neses tempos calquera outro reloxo tiña un erro de... 1 minuto ao día! Esta precisión sen precedentes conseguíuna grazas a unha enorme habilidade e aos inventos e melloras que incorporou á maquinaria.

Convertido nun coñecido construtor de precisión, empezou a pensar en facer un reloxo que funcionase con precisión no mar; sen péndulos, sen problemas co movemento, temperatura e humidade. Unha máquina que aínda non existía. Dedicou o resto da súa vida a construír o seu soño, a máquina máis precisa posíbel. Levoulle 40 anos construír 5 marabillas. O seu primeiro intento foi o Harrison's n.º 1, chamado H-1 (1737), logo chegaría o H-2 (1741) e, dezaoito anos máis tarde, o H-3 (1759). Estes tres reloxo son auténticos prodixios de imaxinación e precisión, mais non foron suficientes para convencer a comisión encargada de dar o premio. Até que construíu o H-4 (e, máis tarde, outro similar, o H-5; 1760 e 1770 respectivamente). Totalmente distinto aos outros tres, o H-4 é pequeno, parecido ao reloxo de peto dos nosos avós. En palabras de Harrison: «Creo que podó atreverme a dicir que non existe ningún outro aparato, mecánico ou matemático, de tanta beleza e rareza coma este reloxo ou cronómetro para a medición da lonxitude». Algúns din

que o H-4 foi o cronómetro máis importante construído na historia; agora pode verse no Museo Marítimo Nacional de Londres.

Medio premio para o H-4

Despois de 81 días no mar, o H-4 atrasou tan só 5 segundos. Mais a comisión non lle quixo dar a Harrison todo o premio: deulle a metade, 10 000 libras. Para conseguir o resto tiña que probar que esa precisión podía ser duplicada: debería construír dúas reproducións do H-4. Construíu o H-5 en tres anos e probouno e axustouno durante outros dous. O H-5 conservábase daquela nunha caixa pechada con tres chaves: unha para un membro da comisión, outra para a familia Harrison e outra para nada menos que o rei George III. Harrison tiña 79 anos. Non había tempo para máis, o H-6 nunca chegou.

Reloxos sen tic-tac

Co paso dos anos os reloxos foron mudando e incorporando algúns cambios, mais non houbo melloras importantes até o reloxo de cuarzo do século xx. Este tipo de reloxo máis que unha mellora foi un cambio radical no concepto de medición do tempo. Inventouse nos anos 20 e funciona grazas a pequenos cristais que son estimulados para crear unha vibración cunha frecuencia de 10 000 ciclos por segundo. Canto maior e máis estábel sexa a frecuencia de vibración, maior será a precisión. Mais os científicos seguiron na procura do tempo e hoxe en día temos sistemas de vibración aínda mellores... moito mellores.

A referencia actual de tempo tómase a partir de reloxos atómicos. O primeiro foi construído en 1949 polo Nacional Institute of Standards and Technology nos EE UU e mellorado ao longo dos anos 50. Estes reloxos están baseados na frecuencia de resonancia (oscilación) dos átomos entre distintos estados de enerxía. Actualmente utilízase o átomo de cesio-133, que oscila exactamente 9 192 631 770 veces por segundo –de feito esta é a definición de 1 segundo desde 1967. Estes reloxos de cesio teñen unha precisión tremenda: un erro de 1 segundo cada... 30 millóns de anos!

Alguén dá máis?

Para aumentar a precisión poden buscarse átomos que oscilen a maior frecuencia, como o estroncio. Até agora non fora posíbel

construír un reloxo atómico de estroncio pola dificultade para medir a súa oscilación, mais uns investigadores da universidade de Tokyo presentaron hai pouco na revista *Nature* un método que pode ser utilizado para a construción dun reloxo cunha precisión mil veces maior que os reloxos de cesio. O novo método utiliza as propiedades dos átomos de estroncio atrapados nunha oscilación producida por raios láser: un reloxo óptico. Este é o futuro da medición do tempo.

O reloxo construído polos xaponeses oscila 429 228 004 229 952 veces cada segundo. Exactamente.

John Harrison foi preciso até para morrer: finou o 24 de marzo de 1776, exactamente 84 anos despois do seu nacemento.

Ligazóns

Outra historia do tempo

<http://physics.nist.gov/GenInt/Time/time.html>

Reloxos atómicos

<http://ciencia.msfc.nasa.gov/headlines/y2002/08apr%5Fatomicclock.htm>



O ANO EN QUE EINSTEIN FLORECEU

O ano da física, celebrado ao longo de 2005, conmemorou os cen anos da publicación por Albert Einstein dunha serie de artigos que modificaron profundamente a idea que temos do espazo e do tempo, da enerxía e da materia. En 1905 Einstein tiña 26 primaveras e ese foi o seu annus mirabilis.

A física actual aínda non se recuperou da onda sísmica producida pola teoría da relatividade de Einstein. Logo de sometela a moitas probas, segue máis vixente que nunca. Mais probabelmente non sexa a teoría definitiva; quedan obstáculos que salvar e os físicos continúan coa fascinante carreira para estudar e probar as súas consecuencias.

Os inicios

O pequeno Einstein naceu en 1879 en Ulm (Alemaña), pasou a infancia e adolescencia en Múnic e fixo estudos universitarios na Escola Politécnica de Zürich entre 1896 e 1900. Ao rematar tentou alcanzar algún posto na universidade, mais foi rexeitado. En 1901 estaba no paro, ninguén lle daba traballo. Sobreviviou dando clases particulares, até que en xuño de 1902 conseguiu un posto de «experto técnico de terceira clase» na oficina de patentes de Berna. Para el estes eran traballos secundarios, necesarios para ir tirando e, a pesar da inestábel situación persoal, non deixou de afondar de maneira autodidacta no que realmente lle gustaba: a física. Durante eses anos (1901-03) publicou tres artigos na principal revista de física alemá: *Annalen der Physik*. En 1904 chegaría un cuarto e en 1905... a revolución.

Na primavera de 1905 Einstein escribiulle unha carta ao seu amigo Konrad Habicht; rifáballe por non lle ter enviado a súa tese: «por que

non me enviaches aínda a túa tese? Non sabes que serei o único que a lea con pracer e interese? A cambio, prométoche catro artigos... o primeiro... é moi revolucionario». Non era broma.

O resplandor

O 9 de xuño de 1905 apareceu en *Annalen der Physik* un artigo titulado «Un punto de vista heurístico sobre a produción e transformación de luz», firmado por un descoñecido A. Einstein. Trataba sobre as propiedades e a estrutura da luz e foi fundamental para o desenvolvemento da outra gran revolución da física –xunto coa teoría da relatividade–: a mecánica cuántica.

Nesa época, grazas principalmente ao traballo do físico escocés James Maxwell, os físicos estaban convencidos de que tiñan clara a estrutura da luz: consistía en ondas electromagnéticas con distintas frecuencias de oscilación. En 1900 o alemán Max Planck propuxo, con bastante cautela, a revolucionaria idea de que na materia a enerxía non cambia de maneira continua, senón mediante saltos discretos que el chamou *quanta*. Esta teoría dos *quanta* ou cuantos de enerxía quedou aparcada, até que en 1905 Einstein a rescatou nese primeiro artigo para propoñer unha idea aínda máis atrevida: a teoría dos cuantos tamén pode ser aplicada á luz, de tal xeito que esta estaría formada por partículas en lugar de ondas! De ser así, os cuantos de luz podían explicar a liberación de electróns dos metais grazas á luz, un fenómeno chamado efecto fotoeléctrico. Na actualidade os físicos cren que a luz pode comportarse como unha onda ou como unha partícula, e os cuantos de luz teñen un nome propio: fotóns. Einstein recibiu o Premio Nobel en 1921 por este traballo.

A certeza dos movementos incertos

A máquina estaba en marcha. O 18 de xullo de 1905 a revista *Annalen der Physik* publicou outro traballo de Einstein titulado «Sobre o movemento de pequenas partículas suspendidas nun líquido estacionario segundo a teoría cinética molecular da calor». Neste traballo explicaba que o movemento ao azar das partículas coñecido como «movemento browniano» –algo misterioso para os físicos desa época– podía ser consecuencia do movemento dos átomos debido á calor. O movemento ao azar das partículas suspendidas nun líquido estaría inducido polos choques dos átomos –ou supostos átomos–

contra elas. Os resultados experimentais deste traballo eran unha evidencia da natureza molecular da materia: esta estaría formada por átomos como elementos discretos, finitos.

Unha nova física

«Sobre a electrodinámica dos corpos en movemento» foi o título do terceiro artigo, publicado en *Annalen der Physik* o 26 de setembro. Este traballo introduciu a que logo se chamaría teoría da relatividade especial. Foi como unha bomba nuclear aos cimentos da física. O traballo chegou á revista o 30 de xuño, só 3 meses e medio despois de enviar o artigo sobre o efecto fotoeléctrico. Durante ese tempo, no que seguía a traballar na oficina de patentes, Einstein tamén enviou o artigo sobre o movemento browniano e rematou a tese de doutoramento. Unha primavera realmente florida.

A teoría da relatividade especial modificou os conceptos de espazo e tempo, asentados solidamente por Newton como absolutos e uniformes. Einstein afirmou que o que é realmente constante é a velocidade da luz –uns 300 000 km por segundo–, independentemente do movemento da súa fonte, algo que obriga a reconsiderar con cautela o concepto de tempo. Nas escalas de velocidade ás que nos movemos os humanos non hai grandes problemas e a mecánica de Newton funciona ben; mais a velocidades próximas á da luz o tempo distorsiónase como unha goma de mascar e sucesos que son simultáneos para un observador poden ser percibidos como separados no tempo por outro observador distante. A concepción newtoniana baseada no sentido común xa non ten sentido: non existe un tempo universal, absoluto, senón que é relativo a un espazo determinado.

O cuarto artigo de Einstein dese ano tamén facía referencia á relatividade. Publicouse o 21 de novembro co título «Depende a inercia dun corpo do seu contido de enerxía?». Nel describe a equivalencia entre a enerxía e a masa dun obxecto. Este concepto desenvolveuno con máis detalle noutro artigo posterior (1907), no que describiu a famosa ecuación $E=mc^2$ (a enerxía –E– está directamente relacionada coa masa –m– e coa velocidade da luz –c). Esta inofensiva ecuación foi un dos froitos máis importantes da teoría da relatividade e a súa aplicación lévanos a consecuencias espectaculares: calquera anaco de

materia é un depósito de enerxía –a enerxía nuclear, por exemplo, baséase neste principio.

A teoría da relatividade especial aplícase a corpos con movemento continuo e en ausencia de gravidade. Máis tarde Einstein desenvolveu a teoría da relatividade xeral, na que entran en xogo a aceleración e a gravidade. Segundo esta, a forma do espazo –e tamén do tempo– depende da distribución dos corpos, de tal xeito que calquera obxecto terá un movemento cunha aceleración e cunha traxectoria que dependerá desa «forma». Unha mazá non cae da árbore, senón que ten unha aceleración e unha ruta determinadas pola deformación do espazo-tempo creada polo planeta Terra.

En busca da teoría perfecta

Cen anos despois da publicación deses traballos as súas consecuencias seguen a ser fundamentais para a comprensión do mundo e o desenvolvemento da tecnoloxía. A teoría da relatividade segue vixente, mais quedan moitos problemas por resolver. O principal é buscar a maneira de que sexa compatíbel coa outra gran teoría da materia, a mecánica cuántica. Einstein pasou a última etapa da súa vida buscando esa teoría unificadora ou «gran teoría do todo». Non o conseguiu. Os físicos actuais non saben se será posíbel; o máis probábel é que as teorías actuais teñan que ser modificadas substancialmente ou substituídas por outras totalmente distintas. O curioso é que, polo de agora, tanto a relatividade como a mecánica cuántica funcionan... de marabilla, cada unha no seu ámbito.

No último século a investigación de moitos físicos e cosmólogos consistiu en tratar de probar ou rebater experimentalmente as teorías de Einstein e, polo de agora, segue tan viva como o primeiro día, segundo as medicións experimentais dalgunhas das súas consecuencias: por exemplo a existencia de buracos negros ou a desviación (precesión) da órbita de Mercurio afectada pola curvatura do espazo-tempo creada polo Sol ou a desviación da luz procedente de estrelas distantes ao pasar preto dalgún obxecto con moita masa –as chamadas «lentes gravitatorias».

Mais tamén quedan cousas por probar, como a existencia das ondas gravitatorias: perturbacións cíclicas da gravidade causadas pola aceleración dos obxectos –aínda que xa hai evidencias indirectas

da súa existencia. Tamén é posíbel que un feito inexplicado, a aceleración da expansión do Universo, poida entenderse utilizando o que Einstein chamou constante cosmolóxica; algúns físicos cren que a enerxía escura –tamén sen explicación– e esa constante poden estar relacionadas ou incluso ser a mesma cousa. Na actualidade hai moitos experimentos en marcha para seguir buscando erros ou confirmar estas teorías, entre eles o proxecto Beyond Einstein –máis alá de Einstein– da NASA.

Non sabemos se esa «teoría do todo» é posíbel. Non hai présa, con ela ou sen ela as mazás seguirán «caendo».

Ligazóns

Os artigos orixinais de Einstein en *Annalen der Physik*

<http://www.physik.uni-augsburg.de/annalen/history/Einstein-in-AdP.htm>

Especial en *El País*

<http://www.elpais.es/especiales/2005/einstein/index.html>

Especial en *El Mundo*

<http://www.elmundo.es/elmundo/2005/graficos/mar/s4/einstein/index.html>



UNHA OLLADA Á SEGUNDA GRAN REVOLUCIÓN INFORMÁTICA

Os ordenadores ou computadores persoais, tal e como os coñecemos, están en proceso de desaparición. Os científicos da computación vaticinan que axiña chegará a Segunda Era, na que o importante será a computación, non os computadores. A compañía Sun Microsystems, un dos principais creadores de hardware e software, acaba de dar un paso máis nesta transformación co lanzamento da Sun Grid: xa podemos usar os computadores de Sun a un prezo de 1 \$ por hora e procesador.

A evolución da máquina

A Primeira Era dos computadores estivo –aínda está– dominada pola miniaturización: aparatos cada vez máis potentes, máis baratos, máis presentes no día a día. Cando eu tiña 14 anos, a finais de 1983, conseguín, logo de moito batallar, que os Reis me trouxeran un ordenador persoal: un Sinclair ZX81. Tiven que convencer as súas maxestades de que trouxeran algo que practicamente non existía. Daquela os ordenadores eran unhas máquinas pouco comúns, a piques de comezar unha revolución. O ZX81 tiña 1 kB de memoria e 3,25 MHz de velocidade; non tiña disco duro, cor nin son; como monitor utilizábase un aparato de televisión. Non existía software comercial, así que para traballar con el había que escribir os programas usando un sistema operativo moi simple. Por suposto, non había conexión a internet. O meu pequeno ordenador era unha máquina completamente illada do resto do mundo.

O aparato que estou a usar para escribir estas liñas ten 1 millón de veces máis memoria que o ZX81, mil veces máis velocidade. Mais, basicamente, é o mesmo tipo de máquina: o concepto de ordenador persoal mudou pouco nesta Primeira Era. Son máquinas que serven para almacenar e organizar información (ordenador) e, ás veces,

para realizar cálculos matemáticos con eses datos (computador). Durante todos estes anos a maioría de compañías dedicadas a vender ordenadores e os programas cos que funcionan non mudaron a filosofía principal: o obxectivo é «vestir» cada vez con máis e mellores galas o bicho. Mais a máquina vai deixar de ser importante; gigahertzios, megabytes e memoria RAM desaparecerán da publicidade, porque en realidade iso nunca foi o que lle interesou ao usuario. O importante é o manexo de información, algo que mudará o noso concepto de ordenador persoal grazas á posibilidade de conectar uns aparatos con outros.

A evolución da computación

A rede está madura e en pouco tempo vai facer desaparecer os ordenadores de sobremesa porque, como di o slogan de Sun Microsystems, o ordenador é a rede, ou a rede é o ordenador. A idea que dominará a Segunda Era dos computadores vai ser a información, non os aparatos encargados de manexala; iso é o que di David Gelernter, profesor na universidade de Yale (EE UU) de Ciencia Computacional e un dos impulsores da «computación distribuída» –ou «en paralelo», ou «en grupo»; estes termos son bastante confusos e veñen do orixinal en inglés *Grid computing*. Do mesmo xeito que o importante en astronomía é o Cosmos, non os telescopios, no mundo da computación o importante é a «ciberesfera» e as «ciberestruturas» dentro dela, mais non os propios computadores.

A computación distribuída consiste na coordinación de información e capacidade de computación sen a existencia dun control central, baseado en software libre –e demais estándares abertos– e con máis fiabilidade que as máquinas illadas. Segundo di David Gelernter, os ordenadores converteranse en simples terminais dunha inmensa rede global. As máquinas deste enxame darán lugar a un lugar común de almacenamento e tratamento da información: a «ciberesfera». Similar ao ciberespazo actual, mais coa diferenza de que ese espazo será o disco duro global. Na internet de hoxe os datos están almacenados nos ordenadores individuais e a rede é un simple sistema para transmitir datos dun lado para outro. Na «ciberesfera» os datos non están en ningún ordenador e están en todos á vez –igual que os cartos están en bancos, en todos á vez, en lugar de estar

debaixo da cama. Encontraremos terminais na casa, no traballo, en bares, supermercados, teléfonos, aparatos de TV, calquera aparato electrónico; e calquera destes terminais converterase no noso ordenador persoal –unha vez que nos identifiquemos cunha clave, unha tarxeta, o iris do ollo, a pegada dactilar ou a voz.

Unha factura máis

Un aspecto importante desta deslocalización do ordenador persoal é que, como dicía arriba, cobrará importancia o que realmente interesa: a información e a computación. Cada vez que utilizemos un ordenador, e só durante ese tempo, pagaremos pola capacidade de computación utilizada na «ciberesfera», igual que facemos agora coa electricidade: prendemos o interruptor e a lámpada funciona, iso é o que nos interesa, independentemente de onde veñan os quilowatts e das características técnicas da empresa de electricidade.

A empresa Sun Microsystems xa ten en marcha este servizo, a Sun Grid: por un prezo de 1 \$ / cpu-hora pódese contratar a capacidade de computación das máquinas de Sun, o novo sistema de computación *prêt à porter* ou, como eles din, *utility computer*. Como se chama esta nova unidade de consumo? Algúns xa lle chaman *computon*, que vén de *computation* e *photon* –o nome dunha unidade de enerxía electromagnética. O ordenador persoal comeza a desaparecer para converterse nun simple terminal. Xunto coa luz e coa auga pronto virá a factura do *computon*.

Cambio de mentalidade

Esta revolución da informática vai traer, tamén segundo David Gelernter, un cambio fundamental na organización da información. O sistema actual funciona como un armario, con caixóns ríxidos, ben definidos, cada un coa súa etiqueta: temos carpetas con ficheiros perfectamente organizados, con nomes específicos, en lugares específicos do disco duro. Este sistema foi deseñado por programadores e para programadores; mais non é un bo sistema para non programadores, cousa que nunca tivo intención de ser. Non hai nada que impida que os documentos carezan de nome, ou que teñan moitos, ou que distintos documentos compartan un mesmo nome, ou que pertencen a varios directorios á vez, ou a ningún.

A cantidade de documentos que manexamos é cada vez maior. Na «ciberesfera», nun sistema de información difuso como na «computación distribuída» non ten sentido seguir metendo os documentos en caixiñas. Nos sistemas futuros o almacenamento farase automaticamente tendo en conta moitas características distintas –tipo, tamaño, data, procedencia etc.– e para a recuperación utilizarase un sistema de busca similar ao buscador interno de Google, o Google Desktop.

Ligazóns

David Gelernter

http://www.edge.org/3rd_culture/bios/gelernter.html

Sun Grid

<http://www.sun.com/service/sungrid/index.jsp>

Google Desktop

<http://desktop.google.com/>





O PAPEL DOS COMPUTADORES NAS DEMOSTRACIÓNS MATEMÁTICAS

A ferramenta básica e clásica dos matemáticos é un anaco de papel e un lapis. Na maioría dos casos eses dous instrumentos son suficientes para elaborar unha demostración matemática. Mais algúns teoremas resistense a ser probados desta elegante maneira e precisan do uso de computadores, como no caso do «teorema das catro cores» que, logo de 150 anos de incerteza, acaba de ser demostrado definitivamente por un técnico de Microsoft. Definitivamente?

En matemáticas a frase «parece que» non serve para nada: enunciados e afirmacións deben ser demostrados mediante argumentacións de afinada precisión que eliminen toda dúbida posíbel. Nunha demostración matemática utilízanse unha serie de pasos que, baseados en axiomas e regras lóxicas aceptados universalmente –por exemplo: se A é certo, e A implica B , entón B tamén é certo–, progresan pouco a pouco cara a unha conclusión final.

Sempre hai solución

Un dos grandes descubrimentos do pensamento humano é que calquera disputa sobre a validez dunha demostración matemática sempre pode resolverse. Sempre, aínda que fagan falla 150 ou 500 anos. É cuestión de dedicarlle o tempo preciso para que florezan as ideas e os camiños correctos. Este feito de que todas as disputas poidan, en principio, ser resoltas é algo que fai únicas as matemáticas; pola contra, economistas, biólogos, astrónomos, filósofos e físicos poden pasar anos discutindo sobre diversas teorías sen chegar a ter a certeza da existencia dunha demostración definitiva.

Hai teoremas que se demostran facilmente –como o Teorema de Pitágoras– e outros que se fan moi famosos entre matemáticos e

aficionados pola dificultade para encontrar unha proba que os ratifique ou rexeite definitivamente. Por exemplo o chamado «último teorema de Fermat», enunciado no século XVII polo matemático francés Pierre de Fermat e demostrado en 1993 logo de moitos intentos frustrados. Fermat deixou escrito na marxe dun libro o enunciado do teorema, de aparencia sinxela, afirmando ademais que el tiña unha demostración marabillosa, mais demasiado longa para escribila no bordo do libro (*...cuius rei demonstrationem mirabilem sane detexi. Hanc marginis exigitas non caperet*). Cansada de tanto esperar, a universidade alemá de Gotinga ofreceu 100 000 marcos para quen fose capaz de resolver o misterio antes de 2007. A demostración definitiva chegou en 1993 da man de Andrew Wiles, un matemático de Princeton que dedicou toda a súa vida ao problema. O artigo de Wiles ocupa unhas 100 páxinas.

Cando non abonda coa elegancia

As demostracións matemáticas acostuman ter unha fermosura intrínseca; unha boa demostración é simple e elegante –matematicamente elegante–, certa, sen reviravoltas, transparente e sólida. Tamén pode haber demostracións pouco agraciadas, non por transgredir as regras matemáticas, senón por ter un esqueleto demasiado crecho, basto e escuro, con complicacións innecesarias e excesivos bucles. Mais tamén hai algúns teoremas que non poden ser demostrados coa elegancia que a todos os matemáticos lles gustaría e que requiren argumentacións e operacións extremadamente laboriosas. Algunhas poden ocupar artigos de 100 páxinas, mais outras nin sequera iso. O «teorema das catro cores» resultou ser deste último tipo –dos «indemostrábeis á man»–, de tal xeito que foi o primeiro teorema importante demostrado grazas á axuda dos computadores. Mais, poden os computadores substituír o papel e o lapis dos matemáticos? Esta é unha das principais controversias nas matemáticas de hoxe en día. Vexamos esta colorida historia.

A cor das matemáticas

O teorema das catro cores di que calquera mapa pode ser coloreado utilizando tan só catro cores sen que existan dúas rexións contiguas –que compartan un mesmo bordo– coa mesma cor. Foi proposto en 1852 por Francis Guthrie e exposto á London Mathematical Society en 1878 polo matemático Arthur Cayley. En 1879 a revista *Nature* publicou un traballo de Alfred Bray Kempe coa suposta demostración, polo que foi moi loado. Mais logo de 11 anos de reinado, Percy John Heawood probou que a demostración era incorrecta: o teorema volvía estar sen resolver.

Unha persoa pode pasar toda a vida pintando mapas deste xeito e darse conta de que realmente o teorema é probabelmente certo, mais para estar absolutamente seguro de que se cumpre en todos os casos posibles é precisa a demostración matemática. Tras moitos anos de intentos, o teorema das catro cores foi resolto en 1976 por dous matemáticos da universidade de Illinois, Kenneth Appel e Wolfgang Haken, mais non todos quedaron contentos: para chegar á conclusión definitiva utilizaron un complicado método no que a maior parte dos cálculos foron feitos por computadores. Entón xurdiu a dúbida: podemos confiar nos programas informáticos e nos procesadores dos ordenadores na elaboración dunha demostración matemática? Algúns matemáticos non aceptaron esta proba porque, debido ao enorme número de cálculos que precisa, non pode ser verificada á man; ademais, carece de elegancia matemática. «Unha boa demostración matemática é como un poema, e isto é un directorio telefónico!» dixeron algúns.

Matemáquinas

Temos entón un problema coas demostracións que precisan dunha cantidade enorme de cálculos; até é posíbel que non exista maneira de demostrar o teorema das catro cores con lapis e papel, levaría moito máis tempo que o que dura unha vida humana. Debemos confiar o traballo aos computadores? Estas máquinas teñen a vantaxe de que poden realizar cálculos longos e tediosos sen protestar. Ademais, son perfectas para realizar algoritmos: un proceso de computación no que, a partir dun valor de entrada e seguindo uns pasos perfectamente definidos, se produce un valor de saída. Un algoritmo é, por exemplo,

o proceso que realizamos para resolver á man unha división: cada un dos pasos está definido sen ambigüidade e conduce sempre a un resultado específico (por certo, a palabra «algoritmo» vén de «al-Khowârizm», nome do matemático persa Abu Ja'far Mohammed ibn Mûsa al-Khowârizm, que no século IX escribiu un importante libro titulado *Kitab al jabr w'al-muqabala*. A palabra «álxebra» procede das palabras «al jabr» que aparecen nese título).

Até hai pouco non estaba clara a posibilidade de verificar afirmacións matemáticas utilizando a gran potencia e escasa poesía dos computadores, mais a recente demostración «definitiva» do teorema das catro cores polo técnico de Microsoft Georges Gonthier –cun apelido curiosamente moi parecido ao da persoa que propuxo o problema, Francis Guthrie– pode rematar con esta polémica. Gonthier acaba de demostrar o teorema –o traballo aínda non está publicado en ningunha revista científica– utilizando un «asistente matemático», unha tecnoloxía para ordenadores desenvolvida nos últimos 30 anos que permite verificar que as operacións feitas por unha destas máquinas seguen de maneira rigorosa as regras da lóxica. Gonthier utilizou un asistente chamado Coq desenvolvido por Inria –o instituto francés para investigación en ciencia computacional.

Segundo Gonthier, non hai razón para crer que os humanos son máis precisos que os computadores para facer demostracións matemáticas. Polo de agora non hai unha proba ao teorema das catro cores que poida ser feita á man por un humano, ao mellor nunca chega ese momento. O teorema considérase probado.

Ligazóns

Four colors theorem

http://perso.orange.fr/jean-paul.davalan/liens/liens_4colors.html

Proof and beauty. The Economist

http://www.economist.com/science/PrinterFriendly.cfm?Story_ID=3809661

Last doubts removed about the proof of the Four Color Theorem

http://www.maa.org/devlin/devlin_01_05.html

The Coq proof assistant

<http://coq.inria.fr/>

Último teorema de Fermat

http://enciclopedia.us.es/index.php/%C3%9Altimo_teorema_de_Fermat

Pierre de Fermat

<http://centros5.pntic.mec.es/ies.salvador.dali1/primeroa/fermat/portada.htm>



COMO FUNCIONA O AR ACONDICIONADO? CREANDO FRÍO CON SUBSTANCIAS REFRIXERANTES

Ar acondicionado, climatizador, refrixerador. Nos meses que estamos sometidos á calor do verán moitas casas e coches utilizan sistemas capaces de arrefriar o ar e de diminuír a capacidade de sufrimento dos seus habitantes. No inverno facemos o contrario e buscamos maneiras para quentar o ambiente, como queimar combustíbel ou acender aparatos eléctricos. A calor é relativamente fácil de conseguir mais, como se crea o frío?

Arrefriar algo consiste en reducir a enerxía cinética das partículas que o forman mais, como todos sabemos, a enerxía non se pode eliminar –nin crear– así sen máis. Nos sistemas de refrixeración que hai en neveiras, habitacións e coches esta redución de enerxía conséguese extraendo calor, ou mellor, movendo calor dun lado para outro. Trátase de aparatos que arrefrían por un lado e quentan polo outro, o importante é pór a parte que arrefría mirando para o lado correcto.

As máscaras da materia

O desenvolvemento dos sistemas de refrixeración foi posíbel grazas a que coñecemos algunhas propiedades físicas fundamentais da materia. Nas condicións físicas en que transcorre a vida na Terra hai 3 estados básicos da materia: sólido, líquido e gas, e a transición dun estado a outro implica perdas ou ganancias de calor. O paso de líquido a gas chámase evaporación e –isto interésanos especialmente– neste proceso absórbesse calor. A transición contraria, de gas a líquido, chámase condensación e é un cambio que emite calor. Estas transformacións de estado están tamén influídas pola presión, de tal xeito que controlando temperatura e a presión é posíbel domesticar os estados da materia e cambiar dun a outro a vontade.

Antes de seguir falando dos aparatos de refrixeración, un comentario á marxe. Ademais dos tres estados comúns da materia, hai polo menos outros dous que son menos familiares na nosa vida cotiá, aínda que moi abundantes no Universo. Un deles é o plasma, estado parecido ao gasoso mais formado en condicións de moita máis enerxía, nas que os átomos se rompen e orixinan ións –partículas cargadas electricamente. No Universo hai enormes cantidades de plasma por todas as partes: é a materia das estrelas e tamén se encontra en capas altas da atmosfera terrestre, como na ionosfera ou na magnetosfera. Nas nosas casas podemos encontralo, en menor cantidade, dentro das lámpadas fluorescentes. Outro estado da materia, de momento pouco coñecido e moi estudado, é o condensado Bose-Einstein, detectado pola primeira vez en 1995 (os investigadores que o conseguiron gañaron o Premio Nobel de Física no ano 2001). Este estado conséguese a moi baixa enerxía, a temperaturas próximas ao cero absoluto (-273 grados Celsius).

Unha substancia ideal difícil de encontrar

Seguindo co funcionamento dos aparatos que «crean» frío, o obxectivo é carretar calor para outra parte mais, como se fai iso? En primeiro lugar é preciso encontrar unha substancia que pase facilmente de líquido a gas e viceversa. A principios do século pasado a compañía DuPont sintetizou unha familia de clorofluorocarbóns (CFCs) que chamou colectivamente co nome comercial de Freon. Estes gases teñen propiedades que os fan idóneos para ser utilizados como refrixerantes, solventes e propelentes de aerosois: posúen temperaturas de ebulición moi baixas –son gases a temperatura ambiente– e ademais son incolores, inodoros, non corrosivos, non inflamábeis, inertes quimicamente e non tóxicos. Máis tarde, ao descubrirse que os CFCs en realidade si son «tóxicos» para o planeta porque destrúen a capa de ozono, intensificouse a busca de compostos similares e non daniños para o ecosistema. Na actualidade o Freon xa non se utiliza –as distintas variantes desta familia de substancias están prohibidas– e os novos aparatos de refrixeración levan un hidrofluorocarbón (HFC) chamado R-134 que non estraga a atmosfera –porque non leva cloro, o compoñente que reacciona co ozono.

Exercicio de transformismo

Nun aparato de ar acondicionado o obxectivo é facer circular substancia refrigerante (Freon, R-134 etc.) por un circuíto pechado de tubos, de tal xeito que esta absorba calor ao pasar de líquido a gas e que a bote de novo para fóra ao pasar de gas a líquido. Se todo funciona ben e non hai fugas, o refrigerante pode durar moitos anos, xa que nunca sae da instalación de tubos, dando voltas unha e outra vez. O funcionamento é o seguinte: o refrigerante almacénase a alta presión en forma líquida e, cando é preciso, libérase por unha válvula a unha zona con moita menos presión. Esta parte do circuíto é a que arrefría e chámase «evaporador»: ao diminuír a presión a substancia tende a pasar de líquido a gas, evaporándose, proceso en que absorbe calor. Os tubos ou resistencias desta parte do circuíto póñense en contacto co que se quere arrefriar, por exemplo o ar impulsado polos ventiladores do teu coche. O seguinte paso da ruta consiste en volver o refrigerante a estado líquido, traballo en que colabora un compresor, que aumenta a presión e facilita a condensación, proceso que ten lugar na rexión do circuíto chamada «condensador» e na que se emite calor ao exterior (un exemplo é o radiador que hai na parte de atrás das neveiras. E falando de neveiras, tamén é doado escoitar o compresor traballando, sobre todo polas noites). Xa temos de novo o refrigerante en estado líquido, listo para evaporarse e roubar calor ao ar infernal que nos baña algúns días de verán.

Este sistema ten outra propiedade moi útil que permite regular a humidade ambiental –por iso se fala de «ar acondicionado»–: o ar, ademais de arrefriarse, deshumidifícase xa que o arrefriamento provoca a condensación do vapor de auga. Na rexión do «evaporador» fórmanse gotas de auga a partir do ar que está sendo arrefriado, que son recollidas e eliminadas (esta auga é, por exemplo, a que pinga do teu coche pola parte de abaixo ao utilizar o climatizador).

Xa sabes, se pasas frío: comprímete, condénsate e evapórate; non hai como converterse en refrigerante.

Ligazóns

Refrixeración por compresión

http://es.wikipedia.org/wiki/Refrigeraci%C3%B3n_por_compresi%C3%B3n

Ar acondicionado

<http://www.answers.com/topic/air-conditioning?cat=technology>

Freon

http://heritage.dupont.com/touchpoints/tp_1930-3/depth.shtml

Estados da materia

http://www.visionlearning.com/library/module_viewer.php?mid=120&l=s&c3

OS PROBLEMAS DE VIVIR SENDO UN ANALFABETO DOS NÚMEROS

Hai moita xente que merca lotería na administración «La bruixa d'or» porque pensa que ten máis posibilidades de que lle toque, ou que cre nos soños proféticos, ou que considera pouco seguro voar en avión, ou que se fixa nas estatísticas dos xogos de azar. Son exemplos dun analfabetismo moi común, o matemático; unha doenza que practicamente todos sufrimos en maior ou menor grao, arrastrados por intuicións e todo tipo de tendencias viscerais. O problema é que esta modalidade de analfabetismo ás veces ten consecuencias desastrosas, algo que pode solucionarse prestándolle un pouco máis de atención á natureza das cousas.

Ao final dos anos 80 do século pasado John Allen Paulos, profesor universitario de matemáticas, asustado polo que vía e escoitaba ao seu redor, decidiu escribir un libro que titulou *O home anumérico* (*El hombre anumérico*, Tusquets Ed.), no que acuñou o termo «analfabetismo matemático». O señor Paulos quería contribuír a aclarar a bruma mental que escurece e distorsiona todos os días moitos actos e decisións que, en principio, poden parecernos totalmente lóxicos; como di el, «dar a importancia debida á natureza accidental do mundo é un sinal de madurez e equilibrio». Esencialmente o problema consiste en atribuír coincidencias, períodos de sorte (boa ou mala) e crenzas variadas a fenómenos descoñecidos e supersticións de todo tipo, cando en realidade todos estes fenómenos poden explicarse facilmente, na maioría dos casos, cuns mínimos coñecementos de matemáticas ou estatística. Pero nada mellor que poñer uns poucos exemplos deste despiste globalizado para saber de que estou a falar.

A estafa da administración tocada pola sorte

Desde o ano 1994 existe un fenómeno moi curioso relacionado cunha administración de loterías dunha localidade catalá que se chama Sort (que quere dicir sorte), unha especie de epidemia de estupidez. Resulta que ese ano a administración «La bruixa d'or» vendeu o gordo de Nadal (algunha ten que vendelo, claro) e desde aquela converteuse na administración que máis lotería vende de España, repartindo premios sen parar, cun constante peregrinar de xente en busca deses boletos tocados, sen dúbida, pola sorte. Consecuencia: a administración ten máis probabilidades de repartir algún número premiado xa que vende moitos; pero iso non quere dicir que as persoas que mercan un décimo teñan máis probabilidades de que lles toque un premio polo feito de facer a compra nesa administración. A probabilidade segue sendo exactamente a mesma para cada número, independentemente de quen o venda.

Para facer un símil, podemos imaxinar un concurso en que hai que elixir unha vaca entre 5000, co obxectivo de descubrir a única vaca de todas que dá leite azul. As persoas que participan escollen un ruminante de entre os 5000 e, claro, cada concursante ten exactamente a mesma probabilidade de escoller ao azar o animal que dá ese curioso tipo de leite. Pois ben, agora chega o momento de descubrir a vaca en cuestión e para iso hai que muxilas todas (móxense todas, aínda que apareza axiña a «vaca azul», para certificar que non hai estafa), para o que contamos coa axuda de 3 persoas, as «mans inocentes»: unha delas é experta en muxir e vai a toda velocidade, pero as outras dúas son bastante inexpertas e tardan máis, de tal xeito que ao final a experta moxe 4000 vacas e cada unha das outras dúas moxe 500 vacas. Que persoa das tres ten máis posibilidades de desenmascarar a vaca do leite azul? Pois a experta, simplemente porque muxiu máis. Modifica isto en algo a probabilidade que ten cada concursante de acertar? Non. Pois iso. No caso real, «La bruixa d'or» é unha especie de experta muxidora... de cartos e cerebros.

Bólas con memoria

Segundo coa estupidez da lotería, hai outra interesante crenza que está incluso fomentada por Loterías y Apuestas del Estado: neste tipo de xogos en que se elixen uns números ao azar (lotería

tradicional, primitiva, bonoloto etc.), a historia do sorteo –os concursos anteriores– non ten absolutamente ningunha influencia. Coñecer calquera tipo de estatística que reflicta os números que máis saíron, os que máis tempo levan sen saír, etc. é absolutamente inútil. As bólas non teñen memoria. Con todo, Loterías y Apuestas del Estado aproveítase do analfabetismo numérico de moitos incautos e anima os visitantes da súa web a que utilicen as estatísticas para tirar os cartos: «aprovécheas para hacer su jugada», «téngalo en cuenta al hacer su apuesta».

Na bonoloto, por exemplo, hai uns 14 000 000 de combinacións; esa é a probabilidade que tes de acertar: unha entre todos eses millóns. E punto.

A foto que endexamais se repetía

E falando de probabilidades, hai momentos en que unha situación parece que é unha gran casualidade porque pensamos que hai poucas probabilidades de que ocorra, cando, se facemos as contas, vemos que non é así. E ao revés, hai casos en que unha situación parece que ten só unha mancha de combinacións, cando as contas revelan que é xusto todo o contrario. Un exemplo disto último pode ser o seguinte: no cumio do G-8 (no que se reúnen 8 gobernantes de países moi importantes), no momento de prepararse para a foto de grupo... de cantas maneiras poden aliñarse os 8 protagonistas? Podemos ir á hemeroteca a buscar fotos dos encontros e mirar se cambian moito de sitio ou tratar de facer unha estimación así a ollo. É probábel que quedemos curtos: o número de maneiras en que 8 persoas poden combinarse diante dunha cámara é 40 320!

Que casualidade tan normal!

O caso contrario, que pensemos que hai moi poucas probabilidades dunha cousa –cando é ao revés–, pode conducir facilmente a supersticións e crenzas místicas moi variadas. De feito, os manipuladores que viven «adiviñando» cousas, facendo horóscopos ou parvadas similares aproveitan esta tendencia que temos a tirar polo baixo cando se fala de probabilidades. Unha maneira fácil de enganar a xente é facéndolle crer que unha coincidencia normal é en realidade algo excepcional. Hai un exemplo moi bo que lin en máis dunha ocasión: cantas persoas precisaríamos xuntar, ao azar, para que

exista polo menos unha probabilidade dun 50% de que dúas delas cumpran anos o mesmo día? Podemos pensar: «xa que hai 365 días nun ano, para ter o 100% de seguridade precisaríamos 365 persoas + 1, entón para ter unha probabilidade do 50%, ... unhas 180 persoas». Pois non, facendo as contas, só se precisan 23 persoas! (algo así como as que leva un bus urbano medio cheo; isto quere dicir que, de media, cada dous buses que pasan por diante de nós un deles leva dentro dúas persoas que cumpren anos o mesmo día. Dúas persoas que, claro, se se dan conta do feito comentarán impresionadas a «enorme» casualidade).

Erros deste tipo ocorren todos os días, moitas veces estimulados polos medios de comunicación. No blog Malaprensa cóntasenos que no Nadal de 2006-07 varios medios de comunicación destacaron que o número 7, no que rematou o «gordo» da lotería, era un número «raro», xa que só saíu 19 veces ao longo dos 192 sorteos que houbo. Como di Josu, o do blog: «Si que é raro, si, que unha das 10 terminacións posíbeis saíse unha de cada dez veces».

CAL É O INVENTO MÁIS IMPORTANTE DOS ÚLTIMOS 2000 ANOS?

En que pensarían algúns dos mellores científicos e filósofos da actualidade se se lles preguntase polo mellor invento dos seres humanos? Isto foi precisamente o que fixo hai uns anos John Brockman, probabelmente o editor máis influente no campo da divulgación da ciencia. O señor Brockman seleccionou algo máis dun cento de ilustres pensadores e espetoulles: «Cal é o invento máis importante dos últimos 2000 anos? Por que?»

Entre os entrevistados estaban científicos e intelectuais como Marvin Minsky (intelixencia artificial), Daniel Dennett (filosofía da ciencia), Freeman Dyson (matemáticas, astronomía, física), Richard Dawkins (bioloxía evolutiva), Jaron Lanier (ciencia computacional, realidade virtual), Terrence Sejnowski (neurobioloxía computacional), John Horgan (periodismo científico), John Allen Paulos (matemáticas), Lee Smolin (física teórica, astrofísica), Maria Lepowski (antropoloxía) ou John Maddox (editor da revista *Nature*). Que responderon? O resultado foi tan irresistible que Brockman non dubidou en publicar un libro sobre a enquisa (*Greatest inventions of the past 2,000 years*, editorial Simon & Schuster). O que segue é unha escolma das respostas.

Nada que mereza a pena

É curioso que moitos dos entrevistados se queixaron de que a pregunta fixese referencia unicamente aos últimos 2000 anos, pois argumentaban que os grandes inventos da humanidade aconteceron antes desa data de corte: a roda, a domesticación de animais e plantas, a linguaxe, os números... Incluso algún chegou a contestar que, en esencia, non existiu ningún invento relevante nos últimos dous milenios, entendendo como «inventos» non só calquera tipo de

artefacto físico, senón tamén ideas, conceptos ou desenvolvementos teóricos (a idea de progreso, a democracia, o cálculo etc.). Mais esta é unha visión un pouco extrema; na maioría dos casos houbo respostas concretas e contundentes.

Os gañadores

Hai varios inventos que se mencionan repetidas veces e probabelmente o máis citado sexa a imprenta, inventada polo xoieiro e artesán alemán Johannes Gutenberg en 1445. Antes da existencia deste sinxelo aparato os libros, a persistencia e comunicación da sabedoría, estaban só ao alcance dunha elite; mais todo cambiou coa posibilidade de facer libros baratos e en gran número. A información e a sabedoría condensada nos libros puido espallarse con máis facilidade, a xente tivo acceso á cultura e isto conduciu ao florecemento da democracia e ao avance definitivo do coñecemento histórico e científico. Un invento tan esencial é precisamente algo que ten a tendencia de transformarse en algo invisíbel xa que termina abarcando tantos aspectos da nosa vida e facéndose tan cotiá que tendemos a perder a idea da súa importancia.

O outro gran protagonista dos últimos dous milenios foi, segundo os intelectuais consultados, a pílula contraceptiva. Como di o fisiólogo Colin Blakemore, «a pílula fertilizou a liberación sexual dos sesenta e estimulou o feminismo e a consecuente erosión da estrutura familiar convencional da sociedade occidental –talvez a modificación máis significativa no comportamento humano desde a invención do chamanismo». Ademais, «posibelmente a principal secuela da pílula é a idea cada vez máis estendida de que os nosos corpos son serventes das nosas mentes». A pílula é tamén protagonista do control da poboación mundial, algo que resulta fundamental para impedir o colapso da civilización humana, non só na época actual, senón nos vindeiros 2000 anos.

Ademais destes dous inventos de carácter material, hai outro concepto ou serie de conceptos ligados uns cos outros que tiveron un gran consenso entre os entrevistados. Trátase das ideas e teorías que dan forma a esas preguntas tan fundamentais como «quen somos?» ou «que é o Universo?». Concretando un pouco máis, os «inventos» deste tipo máis importantes foron: 1) o escepticismo filosófico, a

idea de dar por bo só aquilo que ten unha explicación racional, que conduciu ao método científico; 2) a teoría da evolución por selección natural, que deu unha explicación coherente á nosa existencia na Terra, e 3) a idea copernicana do Cosmos, iso de que a Terra non é o centro do Universo, nin moito menos, senón que é un insignificante planeta máis; concepto que se complementa coa baixada de categoría do Sol, que tampouco ten nada de especial: todas as estrelas son soles. No desenvolvemento destes conceptos axudaron principalmente dous aparatos: o telescopio e o espectroscopio. Este último permitiu coñecer a composición dos astros a distancia, a partir do estudo da radiación que emiten (do seu espectro), sen ter que ir até onda eles. Isto é un feito que, comprensibelmente, a calquera ser humano lle parecería imposible hai algúns anos: como comenta o biólogo Richard Dawkins, en 1835 Auguste Comte, o filósofo francés e fundador da socioloxía, dixo sobre as estrelas: «Nunca seremos capaces de estudar, por ningún método, a súa composición química ou a súa estrutura mineralóxica..., o noso coñecemento positivo sobre as estrelas está necesariamente limitado aos seus fenómenos xeométricos e mecánicos». Estes filósofos...

E para finalizar co grupo de cabeza, un dos inventos (ou familia de inventos) máis recentes e tamén dos máis influentes, sobre todo para os vindeiros anos: o bit, o computador e internet. Para moitos dos científicos son realmente o principal invento dos últimos milenios e segundo eles a súa potencia aínda non comezou a manifestarse plenamente. Aínda que estas tecnoloxías poden entenderse como unha versión mellorada da imprenta de Gutenberg, teñen propiedades –como a capacidade para dar lugar a unha «intelixencia global distribuída»– que con toda seguridade darán forma á sociedade humana do futuro.

Espellos, pilas, herba..., todo é fundamental

Aínda que algunhas das contestacións a esta enquisa, como acabo de comentar, foron compartidas por moitos dos participantes, tamén houbo ideas moi dispares. Aquí vai unha ensalada delas: para algúns o invento máis importante foi a anestesia, por todo o que supón no avance da medicina e da cirurxía (proba a pensar nun mundo sen anestesia... uff!); outros (como o filósofo Daniel Dennett) cren

que o primeiro posto debería de ser para a pila eléctrica, porque esa enerxía portátil permite construír aparatos sen ataduras físicas e, coma o transistor ou o teléfono móbil, «están demostrando ser a arma máis importante contra o totalitarismo xamais inventada». Tamén houbo opinións a favor do espello como invento principal, xa que permitiu o desenvolvemento da idea actual de autoconsciencia e mostrounos como nos ven os demais, algo que tivo e ten todo tipo de consecuencias, incluso nas maneiras de comer, vestirse e comportarse.

Pero a resposta máis orixinal foi probabelmente a do físico Freeman Dyson. Para el o invento máis importante dos últimos dous mil anos foi... o feo, a herba seca. A súa explicación é ben clara: «no mundo clásico de Grecia e Roma e en épocas anteriores, non había feo. A civilización só podía existir en climas temperados onde os cabalos podían sobrevivir durante o inverno, pacendo. Sen herba durante o inverno non podías ter cabalos, e sen cabalos non podía existir a civilización urbana. Nalgún momento durante as chamadas épocas escuras algún xenio descoñecido inventou a herba seca... e a civilización puido moverse cara ao norte máis alá dos Alpes».

«Deste xeito, a herba seca propiciou o nacemento de Viena, París, Londres e Berlín, e máis tarde Moscova e Nova York».

Ligazóns

A enquisa en cuestión

<http://www.edge.org/documents/Invention.html>

O PROCESO DE ACEPTACIÓN DOS DESCUBRIMENTOS CIENTÍFICOS

O progreso científico consiste, en moitos casos, en descubrir e reparar os erros dos investigadores precedentes; poucas teorías son definitivas, a maioría van mudando ou desaparecendo co tempo. Gran parte do camiño faise demostrando os camiños falsos, a imposibilidade dalgunhas teorías, xa que o contrario, a afirmación definitiva de que unha hipótese é verdadeira, é practicamente imposíbel. Estamos a vivir na actualidade un interesante debate que serve como exemplo dos mecanismos de validación e aceptación dos descubrimentos pola comunidade científica: resulta que dous investigadores canadenses consideran que os datos utilizados para demostrar que o quentamento global do planeta é algo sen precedentes na historia son... incorrectos, consecuencia de varios erros nunha análise matemática. Mais non todos os científicos están de acordo. Como soluciona a ciencia esta disparidade de pareceres?

En 1998 un artigo publicado na revista *Nature* polo estadounidense Michael Mann e dous colaboradores chegaba á conclusión de que «as temperaturas anuais medias do hemisferio norte durante tres dos pasados oito anos son maiores que en calquera outra época desde, polo menos, 1400 d.C.». Ao ano seguinte os mesmos autores ampliaron o estudo até o 1000 d.C. e chegaron ao mesmo resultado. O efecto da publicación deste traballo foi enorme na prensa e en todos os colectivos e axencias gobernamentais implicadas no estudo ou na toma de decisións sobre o quentamento global, até o punto de que se considera un dos traballos científicos máis influentes dos últimos 10 anos. Agora algúns científicos cren que eses resultados non son de todo exactos e que este tipo de abaneo climático non é unha novidade para o planeta.

Outro quentamento global?

Os investigadores están de acordo en que a temperatura media do planeta está aumentando e que ese incremento se debe en boa parte ao efecto dos gases invernadoiro (fundamentalmente dióxido de carbono) emitidos polas industrias, coches e outros trastes do mundo occidental. A maioría está de acordo en que este aumento é prexudicial para a vida na Terra –polo menos a vida da especie humana. O que agora se pon en dúbida é que as temperaturas extremas dos últimos tempos sexan algo novo na historia do planeta: de feito as análises alternativas ás de Mann indican que na Idade Media se alcanzaron temperaturas medias incluso máis altas que as actuais (nese caso os gases invernadoiro, de levar eles a culpa, podían proceder de incendios, erupcións volcánicas etc.).

Desde o punto de vista da ciencia isto non é ningún problema, é máis, é extremadamente común. Un dos piares básicos do eficaz método científico é que as hipóteses deben ser verificábeis, non se debe afirmar nada que non poida ser posto a proba; se alguén fai un experimento ten que poder ser replicado e, en consecuencia, corroborado ou refutado. E isto foi o que fixeron, dentro da práctica científica máis deportiva e elegante, os canadenses Stephen McIntyre e Ross McKittrick: trataron de replicar a análise de Mann, utilizando os mesmos datos, mais chegaron á conclusión de que a situación actual tivo un precedente entre os anos 1000 e 1400 d.C., algo que, debido a unha serie de erros, se lle escapou ao outro grupo. De confirmarse finalmente como certa, esta nova sería, tal e como a cualifica a publicación *Technology Review*, unha «sorpresa devastadora»; habería que reformular o concepto de quentamento global e o seu significado na evolución do planeta. Igual que sucedera no ano 1998 co estudo de Mann, o traballo actual está científicamente aceptado, mais... que quere dicir isto? Cal é o proceso que seguen os estudos científicos para ser aceptados ou rexeitados?

Autores contra avaliadores, unha loita entre científicos

Un traballo é aceptado pola comunidade científica no momento en que se publica nunha revista especializada na que o seu consello editorial utiliza como criterio un severo filtro chamado «revisión por pares». Consiste en que, por cada estudo científico enviado

a unha revista, a editorial elixe un mínimo de dous científicos de prestixio para que realicen a súa avaliación crítica; son os chamados avaliadores, revisores ou *referees*, especializados no campo do traballo que se quere publicar e sen relación cos autores deste. Estes especialistas, que permanecen en todo tempo no anonimato, examinan con profundidade os argumentos, métodos e datos en cuestión e aconsellan os editores sobre a pertinencia ou non da publicación dos novos resultados.

Poucos traballos se publican no primeiro intento. Normalmente, no mellor dos casos, os avaliadores disparan unha serie de críticas e suxestións que obrigan os autores a realizar modificacións e novas análises dos datos; outras veces, pola contra, as críticas son devastadoras e os editores non teñen máis remedio que rexeitar a publicación na súa revista. Un mesmo traballo científico pode pasar polo filtro de tres ou catro revistas antes de conseguir ser publicado. Ese divagar polo mar das editoriais, recibindo críticas por todas as partes, leva a unha mellora substancial da calidade da investigación; o diálogo que se establece entre autores e avaliadores é un proceso enriquecedor, que vai pulindo e sacando brillo aos datos que se queren comunicar ao resto de científicos. A última palabra téñena sempre os editores, que tamén son expertos nun determinado campo da ciencia. A tirapuxa entre autores, avaliadores e editores pódese prolongar durante meses ou incluso anos, de tal xeito que cada vez que os medios de comunicación anuncian algún descubrimento científico están informando de algo que leva bastante tempo rematado. Hai ducias de revistas científicas especializadas que se publican semanal, quincenal, mensual ou anualmente. O proceso que acabo de describir está en continua ebulición e agora mesmo miles de avaliadores se afanan en criticar os traballos doutros colegas que agardan impacientes o resultado.

Este complicado proceso ten unha clara dose de subxectividade pois, aínda que se trate de ciencia pura e dura, a decisión do seu salto á bibliografía depende de avaliadores e editores que tamén cometen erros. Pero non pasa nada, o método da ciencia funciona bastante ben, polo menos a longo prazo, e permite que o tempo e os colegas se encarguen de endereitar posíbeis zoupadas.

O caso do quentamento que sempre existiu?

Stephen McIntyre e Ross McKittrick tiveron que loitar durante moito tempo para conseguir publicar os seus controvertidos resultados xa que se trataba de botar por terra a concepción de quentamento global do planeta asimilada até ese momento pola sociedade. Enviaron o traballo a unha revista de moito impacto, *Nature*, a mesma en que se publicou o artigo de Mann. Mais os editores de *Nature* decidiron non publicar eses resultados, logo dun longo intercambio de críticas e modificacións entre os avaliadores anónimos e os autores. Esta correspondencia é privada e raramente se dá a coñecer, mais desta vez McIntyre e McKittrick consideraron interesante facer públicas as cartas que recibiron de editores e avaliadores, xunto coas súas réplicas. (Finalmente a revista *Nature* decidiu publicar unha nota –*corrigendum*– na que expoñen algúns dos erros encontrados polo grupo canadense). Todo iso pódese ler nunha interesante páxina web (indicada abaixo), exercicio que recomendo para os que non esteades familiarizados co proceso de validación dos descubrimentos científicos. O feito de que a comunidade de investigadores acepte a publicación dun traballo quere dicir que se considera correcto cos datos dispoñíbeis, mais non implica que os resultados sexan verdadeiros e inamovíbeis. Son correctos mentres non se diga o contrario.

McIntyre e McKittrick dixeron o contrario e non conseguiron publicar o seu traballo en *Nature*, mais si o fixeron en *Energy & Environment*, que podedes atopar na rede, acompañado da seguinte nota editorial: «Este traballo ten o poder de cambiar radicalmente o debate sobre a influencia humana no quentamento global. Debido á súa importancia potencial, situámolo nun lugar á parte do resto do número de *Energy and Environment* (volume 14, número 16) no que aparece e permitimos o acceso libre a el, de maneira que todos os interesados na materia poidan lelo e avalialo por si mesmos».

Nota: desde 1988 un grupo de expertos reúnese de maneira regular para debater e elaborar distintos tipos de informes e documentos sobre a situación do cambio climático. Estes informes son unha excelente fonte de información para todos os interesados nos mecanismos, causas e consecuencias do cambio climático:

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). O IPCC foi galardoado co premio Nobel da Paz do ano 2007. Tamén pode atoparse información de primeira man sobre o cambio climático na web do Global Carbon Project (ver máis abaixo).

Ligazóns

Nova en Technology Review

http://www.technologyreview.com/articles/04/10/wo_muller101504.asp?p=1

Páxina de McIntyre e McKittrick na que publican a correspondencia entre eles e *Nature*

<http://www.uoguelph.ca/~rmckitri/research/fallupdate04/update.fall04.html>

Web do grupo intergobernamental de expertos sobre cambio climático (IPCC)

<http://www.ipcc.ch/>

Web do Global Carbon Project

<http://www.globalcarbonproject.org>

SERES NON HUMANOS

A HISTORIA DAS FORMIGAS QUE CONSTRÚEN TRAMPAS PARA FACER EMBOSCADAS ÁS SÚAS PRESAS

A organización social das formigas sempre foi motivo de asombro e admiración para os estudosos da natureza; e segue séndoo porque, a pesar do formidábel progreso das ciencias biolóxicas, seguimos sen ter unha explicación clara dos mecanismos que rexen a complexa estrutura desas comunidades. Agora, un grupo de investigadores franceses acaba de descubrir un novo comportamento de grupo, complexo, impresionante e, tamén, terrorífico: unha especie de formigas da Amazonia constrúe unhas elaboradas trampas para preparar emboscadas e cazar outros insectos moito maiores e máis rápidos. Unha auténtica mesa de torturas deseñada por un misterioso cerebro colectivo.

O sistema nervioso dunha formiga calquera é unha estrutura diminuta e moi limitada. Unha formiga soa é un animal cunha intelixencia mínima, que pode regular uns cantos comportamentos mecánicos, almacenar información na memoria e incluso asociar experiencias; mais pouco máis. «O cerebro das formigas non é capaz de relacionar a causa co seu efecto» dicía o especialista en formigas Wilhelm Goetsch. Mais a cousa cambia ao estudar o «comportamento» dunha colonia formada por varios miles –ou millóns– destes animais: organízanse en complexas sociedades formadas por unha raíña, machos reprodutores, soldados –que son femias– e obreiras –tamén femias. En conxunto funcionan como unha orquestra de afinados instrumentos, orquestra que é capaz de construír formigueiros cun deseño específico que permite acumular a calor solar ou ter celeiros e tamén despensas para gardar doces, ou coidar plantacións de fungos. Un montón de *artistadas* feitas por eses seres diminutos e disciplinados aos que lles gusta andar en fila.

Manual para atrapar un animal mil veces maior ca ti

A partir de agora os libros incluírán unha habilidade nova no currículo das formigas, en concreto no da pequena especie *Allomerus decemarticulatus*: os individuos desta especie son capaces de organizarse para construír unha superficie chea de furadiños (ver fotos nas ligazóns indicadas ao final) baixo a que esperan agochados a chegada dun saboroso insecto –que pode chegar a ser até 2000 veces maior en tamaño que cada unha delas. Cando unha presa se pousa enriba da trampa –un saltón, unha bolboreta– as minúsculas formigas, cun proceder digno das mellores cámaras de tortura medievais, agarran as extremidades e antenas e tiran delas até que conseguen inmovilizar o refén. A continuación outro grupo de compañeiras sae da escuridade, abalázanse sobre a presa e traban nela até conseguir paralizala. Finalmente, a involuntaria fonte de proteínas é cortada en anacos e levada ao interior do pequeno formigueiro.

Un equipo da universidade de Tolosa (Francia) dirixido polo profesor Jérôme Orivel descubriu este comportamento entre os anos 2001-2003, tempo en que estudaron en profundidade o proceso de construción da trampa e da posterior caza de presas.

Unha planta e un fungo cómplices

Toda esta secuencia de perversidade fórmica acontece enriba dunhas plantas chamadas *Hirtella physophora*, onde habitan en pequenas comunidades estes simpáticos e pequenos animais –a súa cabeza mide menos dun milímetro de diámetro. Constrúen os seus niños nuns engrosamentos da base das follas que se chaman domacios (estes engrosamentos son modificacións que teñen algunhas plantas coa misión específica de dar acubillo a outros organismos, neste caso formigas, mais noutras plantas os domacios poden estar ocupados por carrachas ou incluso bacterias –domacio vén do latín *domatium*, que significa «casa pequena»).

As ramas da *Hirtella* están cubertas por uns peliños –chamados tricomas– que son utilizados para construír a trampa. As formigas cortan primeiro os pelos da rexión da rama onde van montar o negocio, co obxectivo de limpar a superficie e facer un carreiro polo que poidan moverse con facilidade. Cos tricomas cortados fan unha bóveda por riba do carreiro, utilizando os que non cortaron como

columnas. Durante a construción desta armazón teñen coidado de ir deixando furados perfectamente distribuídos pola superficie, para ter acceso ao exterior e poder agarrar a presa. Inicialmente usan como cola para fixar as pezas un líquido que botan pola boca, mais non contentas con este acabado, as formigas utilizan a colaboración doutro organismo para rematar a construción: cultivan un fungo que logo botan como cemento para reforzar toda a estrutura. Impresionante!

A perversidade da intelixencia común

Unha vez que a trampa está finalizada, as disciplinadas obreiras *Allomerus* esperan a chegada dunha incauta presa escondidas debaixo, coas mandíbulas abertas asomando polos furados. Logo vén o proceso de estiramento, parálise e morte da vítima, que pode ser moitísimo maior que as formigas sen que iso supoña, grazas a este sistema, unha complicación importante para elas. Para iso teñen a mesa de tortura.

Esta é a primeira vez que se observa en formigas a construción dunha trampa como medio de caza. Unha estratexia que ademais require da asociación destes insectos cunha planta e mais un fungo. Un sofisticado método de caza levado á práctica por un misterioso superorganismo formado por centos de cerebros de *Allomerus* interaccionando entre eles mediante mecanismos que os biólogos aínda están moi lonxe de descubrir. O das formigas é un exemplo claro no que o funcionamento do «todo» é moito máis complexo que o das unidades individuais; algo así como se as formigas fosen as neuronas que, traballando xuntas, dan lugar a unha consciencia única e superior a cada un dos individuos.

Xa vedes, unhas «simples» formigas.

Ligazóns

Fotografías da trampa construída polas *Allomerus decemarticulatus*
<http://www.udc.es/euf/neurocom/trampa.html>

A COEVOLUCIÓN DE MORCEGOS E BOLBORETAS NOCTURNAS, UNHA HISTORIA SEN FIN

A imponente complexidade e diversidade dos seres vivos é consecuencia dos mecanismos evolutivos. Plantas e animais modifican formas e funcións debido en gran parte á presión do medio en que viven, incluídos nese medio os seres vivos cos que comparten «habitación» biolóxica –nicho biolóxico. Hai moitos casos en que a evolución dunha especie depende e inflúe nos cambios doutra especie: a isto chámase coevolución. Un exemplo de coevolución que leva sendo estudado con profundidade desde hai 40 anos, e que aínda chama a atención dos investigadores, é a que protagonizan morcegos e bolboretas nocturnas.

Nun artigo anterior describín a íntima relación que existe entre os figos e unhas pequenas avespas (ver o primeiro volume de *Os dados do reloxeiro*, que pode atoparse de balde en internet). A relación de insectos e plantas é probabelmente o mellor exemplo de coevolución que podemos observar na natureza: é unha relación mercantil, as plantas ofrecen fundamentalmente alimento, os insectos ofrecen polinización, os dous saen gañando, mais tamén se crea unha relación de mutua dependencia que pode chegar ao paroxismo. Moitas estruturas das plantas e, por suposto, as flores están aí para chamar a atención dos insectos. Por outra banda, os insectos teñen arquitecturas e comportamentos adaptados á recollida, transporte e diseminación dos grans de pole.

Unha sonora batalla silenciosa

Mais, como todos sabemos, a coevolución non é sempre unha relación amigábel, nin moito menos. Abundan tamén os exemplos en que a relación é de amor-odio ou, mellor, de fame-odio (en realidade o difícil é encontrar unha situación en que isto non exista en maior ou menor grao). Hai animais –ou plantas– que desenvolven mecanismos

para aumentar a eficacia na caza das presas e isto leva a que as presas desenvolvan mecanismos máis refinados para escapar do cazador (ou viceversa). Isto é o que lles pasa aos morcegos e a un dos seus alimentos preferidos, as bolboretas nocturnas –gordiñas, saborosas, aveludadas coma un melocotón. Levan millóns de anos xogando ao gato e o rato, uns aprendendo a cazar mellor, outras procurando maneiras máis eficaces para fuxir.

A tecnoloxía de caza dos morcegos consiste en combinar alta velocidade de voo –comparada coa do insecto– cun sistema de detección tipo sonar. Xa expliquei con anterioridade que a ecolocalización –o sonar biolóxico– permite a percepción do medio a través da análise dos ecos recibidos tras a emisión de ultrasóns. Pola contra, as bolboretas desenvolveron mecanismos de evasión aproveitando unha gran capacidade de manobrabilidade. Algo así como un avión a reacción tratando de cazar un helicóptero.

O sinxelo é eficaz

A adaptación máis importante que teñen as bolboretas é un par de «ouvidos» ou órganos timpánicos, situados no tórax, xusto debaixo do segundo par de ás. Son uns ouvidos moi sinxelos, cada un ten unicamente dúas células sensoriais, mais poden facer algo que nós non podemos: detectar os ultrasóns emitidos polo sonar dos morcegos. Teñen un rango de funcionamento que coincide co deses sons, sinais que en xeral oscilan entre 20 000 e 120 000 ciclos por segundo (ou 20 – 120 kHz). Combinando os órganos timpánicos cos silencios producidos polo bater das ás, as bolboretas poden localizar con bastante precisión a posición dun morcego aproximándose, moito antes de que o cazador «vexa» a presa –as bolboretas poden percibir atacantes até uns 40-60 metros de distancia, mais estes teñen que aproximarse até uns 3-5 metros para ver os insectos. Unha vez detectado o inimigo e para evitar ser cazadas, as bolboretas nocturnas poñen en marcha varios tipos de «patróns fixos de acción» que teñen almacenados no seu relativamente sinxelo sistema nervioso. Estes plans de fuga actívanse cando os órganos timpánicos dan a alarma e consisten en: 1) se o morcego está lonxe: dar a volta e voar en sentido contrario; 2) se o morcego está preto: xiros, manobras de picado ou de voo cara a arriba etc., dependendo de se o atacante vén por arriba,

abaixo ou ao mesmo nivel. As bolboretas teñen a vantaxe de que poden cambiar de dirección moito máis rápido, a pesar da menor velocidade; teñen máis manobrabilidade.

Contra-defensa

Nesta batalla tecnolóxica o refinamento é continuo e hai bolboretas que tamén poden emitir ultrasóns –normalmente refregando partes duras das ás contra as patas, aínda que tamén teñen outros métodos– que son detectados polos morcegos. Para que serven? Hai varias teorías; a máis aceptada considera que son sinais de advertencia que indican aos morcegos sobre o mal sabor do insecto, algo similar ás coloracións de moitos animais. Igual que ocorre coas cores, estes sons poden ser emitidos por bolboretas tramposas que non teñen mal sabor, mais que aprenderon a maneira de enganar os seus cazadores. Hai tamén outra teoría segundo a cal os ultrasóns producidos polos insectos crean distorsións no sonar dos morcegos que impedirían o seu funcionamento normal.

Outro truco usado por algunhas bolboretas nocturnas consiste en facerse invisíbeis ao sonar –como algúns modernos avións de guerra–; habilidade que conseguen grazas a unha superficie aveludada que impide que as ondas sonoras sexan reflectidas.

Contra-contra-defensa

Os morcegos tampouco deixan de aumentar o número de habilidades para non perder esta partida milenaria. Algúns producen sons de moi pouca intensidade que non son detectados polos órganos timpánicos das bolboretas mais que aínda lles permiten ecolocalizar. Outros son capaces de emitir pulsos de ultrasóns que detectan bolboretas a pesar de ter unha superficie peluda «anti-sonar». Incluso hai morcegos que desconectan por completo o sistema de sonar no momento da caza e seguen as presas polo ruído que elas mesmas producen.

A loita pola supervivencia continúa todas as noites e é de tal envergadura que algúns científicos propoñen que as bolboretas diúrnas existen grazas aos morcegos: o feito de voar durante o día sería outra estratexia máis que as bolboretas primitivas encontraron para evitar os nocturnos e voraces inimigos.

Hai un experimento moi sinxelo para observar a resposta das bolboretas nocturnas aos ultrasóns: proba a sacudir un chaveiro preto dun grupo desas bolboretas que dan voltas ao redor das lámpadas... a ver como se comportan.

(Este artigo é un *remake* do meu primeiro artigo de divulgación científica, escrito xunto con Luis Sampedro –biólogo, científico e navegante– e publicado na revista universitaria *A gota de Millikan* hai uns 12 anos: Sampedro, L. e X. Mariño, «O mecanismo de fuxida nas bolboretas nocturnas», *A Gota de Millikan*, 10: 15-19).



VÉXOME REFLECTIDO, LOGO EXISTO: EXPERIMENTOS CON ESPELLOS NA PROCURA DA IDENTIDADE INDIVIDUAL

Un dos maiores misterios que aínda lle queda por resolver á ciencia é o da autoconsciencia, esa sensación de «eu» que emana da actividade do cerebro. Á parte de nós, hai moi poucos animais que posúen a capacidade de recoñecerse como entes individuais, ou polo menos iso é o que pensan os científicos, porque neste caso a pregunta difícil é: como se sabe se un animal ten consciencia da súa propia existencia?

Polo de agora o club de animais que manexan o concepto de «eu» e que por tanto posúen autoconsciencia ten un carácter exclusivo, xa que está formado unicamente por un grupo de primates –os simios: chimpancés, bonobos, gorilas e orangutáns–, polos elefantes e polos golfinhos –en concreto o arroaz. A cousa pode ser aínda máis limitada porque, incluso neste fato de animais, os investigadores non poden afirmar con rotundidade que todos os membros teñen consciencia de «eu»; é, nunca mellor dito, unha cousa individual.

Unha pregunta difícil

A investigación de calquera aspecto relacionado coa consciencia dos animais é difícil e delicada. A un ser humano poden facérselle preguntas e probas diversas para comprobar que, de feito, ten consciencia da súa individualidade, mais que se lle pregunta a un chimpancé? E a unha bolboreta? Como se lle fai a pregunta? Non podemos conversar cos animais, así que hai que idear algunha maneira de penetrar nas súas mentes... se é que as teñen.

A tecnoloxía máis avanzada de momento non serve de moito cando se trata de estudar a existencia de autoconsciencia. Podemos utilizar máquinas para coñecer a actividade eléctrica dos cerebros, mais as imaxes que resultan dan pouca información sobre o estado

mental. Con todo, a mellor ferramenta que teñen os psicólogos é a observación do comportamento. Co estudo das actividades e xestos dos animais podemos sacar información útil sobre a capacidade cognitiva, mais hai que ser coidadosos e non deixarse enganar por esa manía tan antropocéntrica que temos as persoas de «humanizar» os animais. Hai, por exemplo, animais tan intelixentes e complexos como os cans, que non son capaces de superar as probas deseñadas polos investigadores para detectar se teñen consciencia da súa individualidade.

O test da marca, un experimento definitivo?

Se vives cun gato seguro que observaches que, ao pasar diante dun espello, ignora o seu reflexo: ao mellor pode parar a xogar con «iso», mais reconécese a si mesmo na imaxe? Para decidir se un animal ten ou non a percepción de «eu» os psicólogos buscan indicios nos chamados «marcadores de mente». Un destes marcadores é a existencia de empatía, a capacidade de pórse no lugar dos demais, de compartir os seus sentimentos (por exemplo consolar –pasar unha man por riba do ombro– a outro individuo vítima dunha agresión). Os científicos teñen observado comportamentos que poden indicar empatía nos animais do club antes citado. Hai outro marcador que é menos subxectivo e probablemente máis eficaz, trátase do «test da marca» ou «test do espello». A primeira evidencia sería de que hai animais con formas rudimentarias de autoconsciencia xurdiu en 1970 coa aplicación deste test aos chimpancés, experimento que foi ideado polo psicólogo norteamericano Gordon Gallup. Neste traballo clásico púxose durante uns días un espello ao alcance dun grupo de chimpancés. Nos primeiros días trataron a imaxe reflectida como se fora a doutro individuo, mais ao pouco tempo comprenderon que o que estaban a ver era o seu propio corpo e utilizaron o espello para fisgar e explorarse a si mesmos. A continuación anestesiouse aos animais e pintóuselles cun rotulador unha marca na cara. Que fixeron os chimpancés ao espertar e contemplarse de novo no espello? Levaron a man á marca... na súa cara, non no espello. Por tanto reconecían que o que estaban observando reflectido era a súa imaxe. Esta foi a primeira demostración clara da existencia de autorecoñecemento nun animal distinto aos humanos. E, certamente, non é unha habilidade moi común: hai primates como o macaco que

poden pasar 12 anos diante dun espello sen pasar o test. Nestes casos os monos interpretan a imaxe do espello coma a doutro mono, coma a dun estraño que por algunha razón ten o costume de repetir os xestos que un fai. O resto de animais que non forman parte no club –incluíndo cans e gatos– non superan a proba nin de lonxe.

O «ligoteo» dos capuchinos

Entre os estudosos da consciencia animal hai dous grupos con teorías ben distintas: un grupo cre que fallar o test do espello é unha clara indicación de que non se ten a percepción de «eu»; o outro grupo opina que a consciencia é unha propiedade que xorde de maneira gradual no reino animal e que por tanto poden existir animais que non pasen ese test mais que teñan un certo grao de autoconsciencia. Defender a teoría do primeiro grupo é case como dicir que unha sardiña e un can teñen mentes similares. Hai datos recentes que suxiren que as cousas non son así: no ano 2005 publicouse un traballo na revista *PNAS* (*Proceedings of the National Alcantemy of Sciences*) que apoia a segunda teoría. Trátase dun estudo nun grupo de primates que non supera o test da marca, os monos capuchinos, chamados así por unha mata de pelo que teñen na cabeza. Segundo os autores do traballo, estes monos non se recoñecen diante do espello, mais tampouco reaccionan como se estiveran vendo un estraño: a súa conduta é unha cousa intermedia, con xestos entre amigábeis e de curiosidade que inclúen meneos e bicos, de tal xeito que até parece que tratan de ligar coa súa imaxe. Este traballo reforza a idea de que o test da marca pode ser enganoso, unha simplificación excesiva, e que por tanto os psicólogos deben ser cautos ao falar sobre as capacidades cognitivas dos animais.

Non é fácil internarse en consciencias alleas e menos cando falta a comunicación a través da linguaxe. Tampouco é doado definir a consciencia. Entre as bacterias e os primates temos unha gama enorme de posibilidades; son a maioría dos animais simples robots? Teñen consciencia as sardiñas?

Ligazóns

Artigo en *Science News*

<http://www.sciencenews.org/articles/20050723/fob6.asp>

A IMPORTANCIA DOS MICROORGANISMOS NA VIDA DO PLANETA TERRA

Os seres humanos tendemos a considerarnos importantes dentro do que é a vida no planeta Terra, incluso hai relixións que aseguran que a especie humana é o que lle dá sentido a este planeta. Estas crenzas son en certo modo comprensíbeis e até pode ser unha tendencia natural que cada especie –cando menos as que posúen consciencia da súa propia existencia– se considere a si mesma a parte máis esencial da biosfera. Mais somos realmente importantes? Desde un punto de vista obxectivo, hai algún organismo que destaque por riba dos demais na historia da vida na Terra? Si, mais non somos nós.

Todos os organismos participan na dinámica dos ecosistemas da biosfera (a biosfera é a parte da codia terrestre na que se aloxa a vida, e inclúe océanos, continentes e atmosfera) e cada especie, por pequena que sexa, ten o seu papel. Mais tamén é importante ter en conta que o funcionamento destas redes naturais é moi dinámico, de xeito que as extincións, migracións, invasións etc. son fenómenos naturais que permiten precisamente a evolución dos sistemas vivos. É como se todas as especies foramos importantes e prescindíbeis á vez, todo e nada. No entanto, observando a evolución da vida na Terra hai un grupo de organismos que é, en certo modo e desde distintos puntos de vista, dominante.

Non somos nada

Como comentaba máis arriba é fácil pensar que os seres humanos somos o organismo dominante, polo menos na historia máis recente do planeta: temos unha característica interesante, que é ser posuídores do sistema nervioso máis complexo que se coñece –o que permite o afloramento de propiedades extraordinarias como a autoconsciencia ou o desenvolvemento dunha cultura–; e

tamén temos unha gran capacidade de modificación do medio, por exemplo a través da emisión de gases con efecto invernadoiro, que mudan os ciclos dalgunhas substancias (como o carbono) e inducen modificacións nas temperaturas medias. Mais, con todo, hai un grupo de organismos que ten un peso específico moito, moitísimo maior: as bacterias. Por varias razóns, vexamos algunhas.

As bacterias son organismos formados por só unha célula, que ademais é moi pequena, algo así como unha micra (a milésima parte dun milímetro). Estas células poden dividirse moi rápido e orixinar cantidades enormes de individuos en pouco tempo. Ao falar de bacterias automaticamente as xulgamos desde unha óptica antropocéntrica –normal– e pensamos en enfermidades (cólera, tuberculose, pneumonía, meninxite etc.), mais non noutras cousas como queixo, iogur, antibióticos ou vacinas, na produción das cales participan estes pequenos seres. Incluso se atendemos unicamente ao corpo humano, podemos levar sorpresas: no noso corpo hai 10 veces máis bacterias que células humanas! Temos bacterias convivindo acotío con nós na pel, na boca ou no tracto dixestivo; somos un saco de bichos. Se nos tivesen que definir polo número de células, aproximadamente 1 parte de nós sería propiamente humana e unhas 10 partes serían células bacterianas. Somos seres humanos ou colonias de bacterias?

Breve historia da vida en 5 palabras: bacterias e todo o demais

Postos a describir a vida desde un punto de vista histórico, as bacterias –xunto con outros microorganismos como arqueas e protozoos– foron practicamente a única forma de vida neste planeta durante a maior parte do tempo. Redondeando, hai vida –e bacterias– na Terra desde hai 4000 millóns de anos. Só recentemente, hai uns 600 millóns de anos, apareceron o resto de formas (plantas, animais etc.), na chamada explosión do Cámbrico. Con este nobre avoengo non é de estrañar que se considere que existen moitas máis especies de microorganismos que de calquera outro tipo de vida e que existan ademais en todos os ambientes imaxinábeis do planeta. Pola contra, os seres humanos, como quen di, acabamos de chegar (a nosa especie ten uns 150-200 mil anos de antigüidade).

A cantidade importa

Se nos fixamos na cantidade a cousa é incluso máis rechamante: os microorganismos constitúen aproximadamente a metade de toda a biomasa planetaria. Isto quere dicir que nun lado da balanza estarían bacterias, arqueas e protozoos, e no outro... todo o demais: fieitos, piñeiros, carballos, baleas, troitas, golfinhos, elefantes, repolos, escaravellos, moscas, robalizas, cebras, flamencos, saltóns, toxos e xestas. A cousa pode comprenderse se nos fixamos nalgúns datos: nun mililitro de auga –oito, dez gotas– hai aproximadamente 1 millón de bacterias e nun gramo de terra –moito menos dun puñado– hai uns 40 millóns. Se se trata de terra fértil agrícola a cousa pode subir até os 1000 millóns. Case nada.

Cos datos dos dous parágrafos de arriba na man é fácil entender que as bacterias teñen unha importancia clave no funcionamento actual dos ecosistemas e que son esenciais para a vida de plantas e animais. Un exemplo planetario: os elementos que forman a materia orgánica (como o carbono, o osíxeno ou o nitróxeno) están a moverse continuamente, nun ciclo que inclúe atmosfera-plantas-animais-solo-atmosfera e volta a empezar. Este ciclo non funciona sen as bacterias: son importantes tanto para captar compostos da atmosfera como para devolvelos a ela. Ademais forman parte do ciclo desde os mesmos comezos da formación da atmosfera actual, xa que foron precisamente as cianobacterias (un tipo de bacterias) as que hai 3000 millóns de anos comezaron a emitir grandes cantidades de osíxeno, modificando radicalmente a composición gasosa do planeta. E até hoxe.

Un feiticeiro moderno

Para rematar esta visita aos seres diminutos, un experimento moi revelador:

Os científicos, como seres humanos que son, tamén tenden ao antropocentrismo, e isto reflíctese en moitos aspectos da súa actividade. Afortunadamente hai algúns que teñen ideas que poden virar esta tendencia, como Craig Venter, un pioneiro no desciframento do xenoma humano que está empeñado en revelar o valor científico e ecolóxico dos microorganismos. Actualmente coñécese o código xenético duns 3 millóns de proteínas existentes na natureza, moitas

delas compartidas entre organismos moi distintos (entre as que se encontran practicamente todas as proteínas dos mamíferos, incluídas as humanas), ... ou coñecía-se, porque resulta que o Dr. Venter acaba de facer un estudo xenético de microorganismos mariños cun resultado sorprendente: dobrou, así dun golpe, o catálogo de proteínas. Grazas ao seu proxecto, unha expedición en barco arredor do planeta ao estilo das antigas aventuras (chamado GOS: Global Ocean Sampling Expedition) conseguiu descifrar unha cantidade inmensa de material xenético, utilizando precisamente bacterias e outros microorganismos mariños, tradicionalmente esquecidos polos investigadores humanos. Agora mesmo o número de proteínas coñecidas é duns 6 millóns.

Esta expedición serve, entre outras cousas, para que nos decatemos de que existe unha riqueza inmensa de microorganismos –a maioría deles aínda por descubrir–, algo que non é de estrañar se temos en conta o tempo que levan na Terra, evolucionando, variando, adaptándose aos cambios do contorno.

Son, en definitiva, os reis da selva.

Ligazóns

Bacterias

<http://gl.wikipedia.org/wiki/Bacteria>

Todo sobre a expedición do Dr. Venter

<http://collections.plos.org/plosbiology/gos-2007.php>

Presentación do Dr. Venter explicando a expedición

<http://plos.cnpg.com/lsc/webinar/venter/20070306/index.html>



A maioría dos átomos do teu corpo creáronse no corazón das supernovas, as explosións coas que rematan a súa vida moitas estrelas. De aí vimos todos: somos, literalmente, po de estrelas.

Comprender o mundo que nos rodea é un excelente elixir mental contra a credulidade e o fanatismo. A ciencia moderna é, ademais, unha ferramenta sólida, útil, gratificante e divertida: achéganos ideas e teorías sorprendentes sobre a natureza do Cosmos que orixinou a vida no planeta Terra. Este libro é unha invitación para gozar deste espectáculo cotián da man de Xurxo Mariño, coas ilustracións humorísticas de Santy Gutiérrez e as infografías de Manuela Mariño.



CONSELLO
DA CULTURA
GALEGA

SECCIÓN DE CIENCIA, TÉCNICA E SOCIEDADE



XUNTA DE GALICIA
CONSELLERÍA DE INNOVACIÓN
E INDUSTRIA
Dirección Xeral de Investigación,
Desenvolvemento e Innovación



Innovación, Ciencia e Tecnoloxía