

Revista
de la
Asociación
para la
Enseñanza
de la
Astronomía
(ApEA)

Ideas sobre
Geología Planetaria

XI Encuentros ApEA
A Coruña 2015

Deconstruyendo
el **Sol**

**Navegación
en órbita**

Proyecto **CESAR**

Tres museos para
vivir la ciencia en
A Coruña

**NÚMERO 31
VERANO 2015**

NADIR

Sumario

NADIR es una publicación de la Asociación para la Enseñanza de la Astronomía (ApEA)

Edición

Juan Ángel Vaquerizo
(Centro de Astrobiología, CSIC-INTA)
Antonio Arribas
Agustín Laviña
(IES Ágora, Alcobendas, Madrid)
Juan Carlos Rodríguez
(Aula de Astronomía, Fuenlabrada, Madrid)
Eva Dominique
(IES Alto Jarama, Torrelaguna, Madrid)

Colaboradores

Ricardo Moreno, Eduardo Zabala, Marcos Pérez, Benjamín Montesinos

Depósito legal: Z-2513-98

ISSN: 1575-7528

Correspondencia **NADIR**

Juan Ángel Vaquerizo
Centro de Astrobiología (CSIC-INTA)
Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial
Carretera de Ajalvir, km 4
28850 Torrejón de Ardoz (Madrid)
e-mail: revista_nadir@apea.es

Organización ApEA

Junta directiva ApEA

Presidente:	Antonio Arribas de Costa
Vicepresidente:	Esteban Esteban Peñalba
Secretario:	Agustín Laviña Orueta
Tesorero:	Rafael García de los Reyes
Vocal de publicaciones:	Ricardo Moreno Luquero
Vocal página web:	Eva Dominique Ibarra
Vocal editor Nadir:	Juan Ángel Vaquerizo Gallego
Vocal saliente X Encuentros:	Xavier Franch Peñas
Vocal XI Encuentros:	José María Lamas Barbero
Vocal:	Ascensión Pastor Rodríguez
Vocal:	Sebastián Cardenete García

Cuota Anual Socio: 35 €

Correspondencia ApEA

Antonio Arribas de Costa
C/ Marqués de Lozoya, 12
28007 Madrid
e-mail: presidente@apea.es

Delegado EAAE

Antonio R. Acedo del Olmo
Apartado 410
29400 Ronda (Málaga)

Imagen portada

Imagen del hemisferio norte de Mercurio obtenida por la nave *Messenger*. Los colores indican elevaciones, menores los púrpuras y mayores los blancos.

Créditos: NASA/JHUAPL/CIW-DTW/GSFC/MIT/Brown University. Imagen tratada por J. Dickson y J. Head.

EXPERIENCIAS DE AULA

4 Navegación en órbita: frenar para ir más rápido

Ricardo Moreno

6 Ideas sobre Geología Planetaria

Eduardo Zabala

MUSEOS. PLANE+ARIOS Y CENTROS DE CIENCIA

12 Tres Museos para vivir la ciencia en A Coruña

Marcos Pérez

APRENDIENDO SOBRE...

16 Deconstruyendo el Sol

Benjamín Montesinos (Centro de Astrobiología, CSIC-INTA)

PROYEC+OS EDUCATIVOS

23 CESAR: Educación científica e investigación astronómica

Juan Ángel Vaquerizo

ENCUEN+ROS

28 XI Encuentros ApEA A Coruña 2015

Antonio Arribas

Normas de edición para colaboradores

Las colaboraciones deberán ser remitidas a través del correo electrónico revista_nadir@apea.es. El archivo de texto puede ser Word o similar. Se aconseja usar el formato de fuente Times New Roman tamaño 12.

Las imágenes deben enviarse también por separado, como archivos gráficos y con la máxima resolución posible.

NADIR no se hace responsable de las opiniones expresadas en los artículos. Si no se indican, los créditos de las imágenes pertenecen a los autores de los artículos.

La distribución de **NADIR** es gratuita entre los miembros de ApEA y en intercambio con otras publicaciones de España y otros países.

Se autoriza la difusión de los contenidos de esta publicación previo permiso.

Editorial

Estimados compañeros,

Os presentamos el nuevo número de **NADIR**, que hace el número 31 y que coincide con la celebración de los Encuentros de A Coruña. Se trata de unos Encuentros muy especiales pues se cumple el vigésimo aniversario de los primeros, celebrados allá por 1995 (¡el siglo pasado!) en Cáceres.

La celebración de los Encuentros es signo de que la ApEA sigue siendo una asociación activa; del mismo modo que las publicaciones y la edición de la revista nadir son el resultado de las experiencias, actividades e inquietudes de sus socios.

Entre los contenidos del presente número queremos resaltar la interesantísima inmersión que, de la mano de nuestro compañero Eduardo Zabala, hacemos en una disciplina muy relacionada con la astronomía y la astrofísica: la geología planetaria.

También en la sección Experiencias de aula, Ricardo Moreno nos explica de manera muy didáctica el procedimiento que siguen los satélites cuando adquieren o modifican sus órbitas. Seguro que la sonda New Horizons ha seguido sus indicaciones para no faltar a su cita con Plutón & family.

También contamos en este número con la inestimable aportación de un gran científico y divulgador, que ya nos deleitó en la conferencia de clausura de los Encuentros de Cuenca: Benjamín Montesinos. Esta vez nos “deconstruye” el Sol con esa sabiduría suya que hace aprender y disfrutar a todos por igual, profanos y expertos.

El proyecto educativo que os presentamos, CESAR, está a punto de arrancar el curso próximo y permite el uso de una red de telescopios para realizar observaciones astronómicas remotas. Concretamente, cuenta con un radiotelescopio, dos telescopios ópticos y otros dos para observaciones solares. Al igual que otros proyectos similares, se trata de una herramienta didáctica que los profesores pueden explotar en el aula con una gran flexibilidad, de ahí su potencial.

En lo referente a las instalaciones para la enseñanza y divulgación de la astronomía, como no podía ser de otra manera desarrollándose los Encuentros en una ciudad tan comprometida con la divulgación de la ciencia como A Coruña, os presentamos los Museos Científicos Coruñeses (MC²), Casa de las Ciencias, Domus y Aquarium, de la mano de Marcos Pérez, Director Técnico de la Casa de las Ciencias. Una visita imprescindible.

Aprovechamos también para publicar la carta de presentación del presidente de la ApEA de los XI Encuentros que tendrán lugar en A Coruña, donde esperamos veros a todos.

Para terminar, como siempre, agradecer a los colaboradores sus trabajos y recordar que **NADIR** está abierta a vuestras aportaciones. No olvidéis que las actividades de los socios de la ApEA, por dispares que sean, son potencialmente interesantes para el resto y, por lo tanto, tienen perfecta cabida en esta revista.

Un cordial saludo,

Juan Ángel Vaquerizo

Vocal editor de **NADIR**

Navegación en órbita: frenar para ir más rápido

Ricardo Moreno Luquero - Colegio Retamar (Madrid)

Cuenta Dan Parry, en su libro “Objetivo La Luna” (Planeta, 2009, pág. 92), que el Gemini 4 fue la primera nave americana que intentó acercarse a otra, en 1965. Estaba en la misma órbita circular y un poco por detrás que una fase del cohete Titán ya usada. Como habría hecho cualquiera de nosotros, aceleró ligeramente para intentar alcanzarlo, pero ante su asombro observó que lo que conseguía era alejarse cada vez más de ella. La incipiente navegación espacial en órbita no era tan fácil. Veamos por qué.



Representación del encuentro en órbita de la misión Apolo-Soyuz (1975)

Para analizar lo que ocurre, partamos de cuatro ideas que son consecuencia de las leyes de Kepler, de la conservación de la energía y del momento angular:

1. Un satélite que esté en una órbita circular alrededor de la Tierra, tiene una velocidad que sólo depende del radio de la órbita (1): cuanto más alejado de la Tierra, más despacio va. Eso implica que cuanto mayor sea el radio, tiene una energía cinética menor, pero una energía potencial mayor. La suma de esas dos energías, la energía total, es mayor, por lo que para ir de una órbita baja a otra más alta, hay que consumir energía.

2. Si un satélite describe una órbita elíptica, su velocidad en cada punto varía, y también su altura. En todos sus puntos la energía total es constante, aunque la energía cinética y la energía potencial varíen de un punto a otro.

3. La segunda ley de Kepler dice que en una determinada órbita elíptica, las áreas barridas en tiempos iguales son iguales, lo que implica que un satélite en órbita elíptica, cuanto más cerca esté de la Tierra, más deprisa va.

4. La tercera ley de Kepler nos dice que un satélite tarda más tiempo en dar una vuelta (el periodo) cuanto más grande es el eje mayor de la elipse (2).

Veamos un ejemplo concreto. Supongamos un satélite que gire alrededor de la Tierra en una órbita circular de radio 11.400 km. Tendría que ir a una velocidad de 5,9 km/s, y su órbita sería una circunferencia de periodo $T = 3,4$ h. (Figura 1)

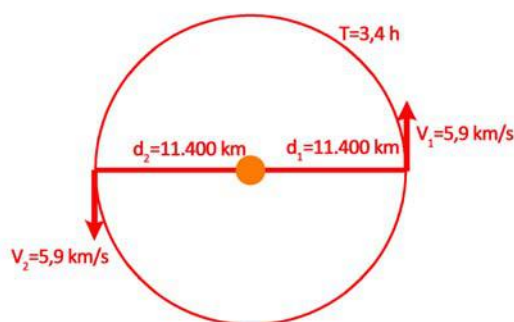


Figura 1: Órbita circular de un satélite (la Tierra no está a escala).

Ahora supongamos (Figura 2) que en el punto de la derecha, el satélite aumente su velocidad a 6,8 km/s: la órbita pasaría a ser una elipse. Según avance, el satélite irá tomando más altura sobre la Tierra y a la vez irá disminuyendo su velocidad, hasta llegar al extremo más alejado de la Tierra ($r_2 = 22.500 \text{ km}$) (3), donde tendrá una velocidad (4)

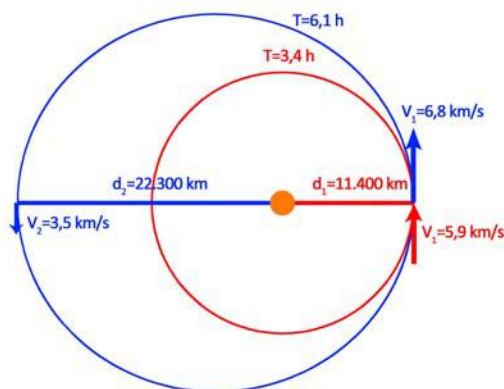


Figura 2: Al aumentar el satélite su velocidad, pasa a una órbita elíptica, y tarda más en dar una vuelta

de 3,5 km/s. En el regreso, la velocidad aumentará progresivamente hasta llegar al punto inicial, donde volverá a ser 6,8 km/s. Curiosamente, aunque inicialmente hayamos acelerado, como el eje mayor de la elipse ha aumentado, el tiempo que tardará en dar una vuelta completa (5) es mayor ($T=6,1$ h) que en el caso anterior.

Volvamos a la situación inicial de órbita circular, con una velocidad de 5,9 km/s, y frenemos hasta 5,1 km/s (Figura 3): el satélite caería en una órbita elíptica que le acercaría a la Tierra ($r_2=6.800$ km), y su velocidad iría aumentando hasta llegar en el extremo opuesto a 8,6 km/s. En la otra mitad de la órbita la velocidad iría disminuyendo hasta llegar de nuevo a los 5,1 km/s en el punto inicial. Como el semieje de la elipse es más pequeño, tarda menos en dar una vuelta completa en la órbita elíptica ($T=2,4$ h) que en la circular ($T=3,4$ h).

Pongámonos ahora en la situación del Gemini 4, cuando intentó acercarse al Titán II. Estaba en la misma órbita circular y un poco por detrás del cohete. Al dar un empujón hacia adelante para intentar alcanzarlo, su velocidad aumentó y pasó a una órbita elíptica de eje más grande, similar a la de la Figura 2, y por lo tanto pasaron dos cosas: por una parte empezó a aumentar su altura respecto a la Tierra, mientras que su objetivo (el cohete Titán) fue quedando más y más abajo. Con su mayor velocidad, le sobrepasó desde arriba, pero fue un consuelo efímero, ya que su velocidad empezó a

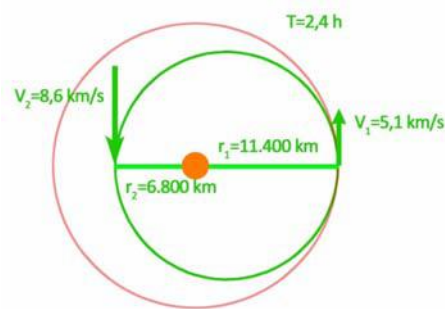


Figura 3: Al frenar, el satélite pasa de una órbita circular a otra elíptica, y tarda menos en dar una vuelta.

disminuir en la órbita elíptica, de nuevo se quedó atrás y además cada vez más alto. ¿Y qué habría pasado al completar una órbita entera, y volver a la posición inicial? Pues que como su periodo era mayor que la órbita circular del Titán, el Gemini 4 se habría encontrado en un punto todavía más atrás que al principio. Para alcanzar al cohete Titán que iba por delante, el Gemini 4 debería haber frenado un poco. Así su velocidad disminuiría y habría pasado a una órbita elíptica de eje más pequeño. En un principio vería que se iba quedando todavía más atrás y además por debajo del Titán, pero en su órbita elíptica, empezaría a aumentar su velocidad, y al terminar una vuelta, la habría dado en menos tiempo (su periodo era menor) que el cohete Titán, que estaba en órbita circular, y le habría podido alcanzar. Si no se quiere esperar una vuelta completa para conseguir el encuentro, se debe frenar primero, sobrepasar el objetivo por abajo en una órbita elíptica, luego acelerar para subir en otra órbita elíptica hasta tu objetivo, y por último ajustar la velocidad a la de la órbita circular. O acelerar, sobrepasarlo por arriba, frenar para bajar, y ajustar la velocidad a la órbita circular. En cualquier caso, algo más complejo que la sencilla maniobra que intentó Jim McDivitt, comandante de la Gemini 4.

$$(1) \quad v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

$$(2) \quad T = \sqrt{\frac{4\pi^2}{GM} a^3}$$

$$(3) \quad r_2 = \frac{-GM \pm \sqrt{G^2 M^2 + v_1^2 r_1^2 (v_1^2 - \frac{2GM}{r_1})}}{(v_1^2 - \frac{2GM}{r_1})}$$

$$(4) \quad v_1 \times r_1 = v_2 \times r_2$$

$$(5) \quad T = \sqrt{\frac{4\pi^2}{GM} a^3} \rightarrow a = \frac{r_1 + r_2}{2}$$

Ideas sobre Geología Planetaria

Eduardo Zabala - Mutriku BHI (Gipuzkoa)

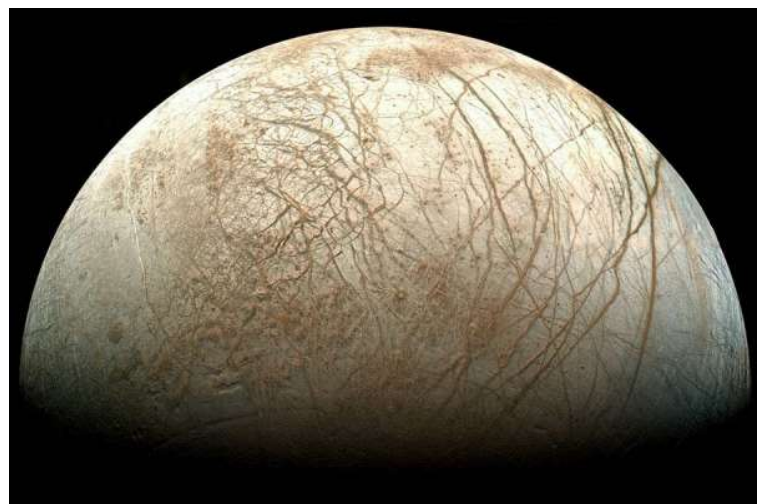
Definición

Se llama Geología Planetaria al estudio de los astros (exceptuando la Tierra) del sistema solar mediante la utilización de los principios, conceptos y técnicas de la Geología.

Esto es, utilizando los conocimientos obtenidos mediante la Geología se intentan explicar las formas observadas en los otros cuerpos del sistema solar (fundamentalmente planetas, satélites, asteroides y cometas) deduciendo los procesos que han llevado a su aparición, suponiendo que en esos astros han ocurrido y ocurren situaciones y procesos similares a los de la Tierra.

Un poco de historia

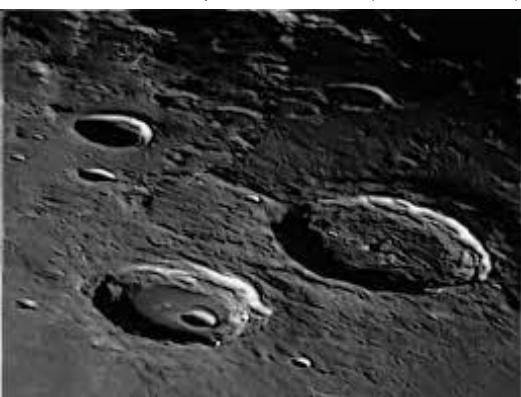
Desde el punto de vista legal, esta relativamente nueva disciplina científica dió sus primeros pasos ya en tiempos de la LGE (BOE del 6 de agosto de 1970) cuando los programas de las asignaturas de CCNN de 1º y 3º de BUP y Geología de COU contemplaban en sus programas temas dedicados al estudio del Universo (con sus apartados correspondientes al Sistema Solar). Del mismo modo, al estudiar en detalle los planetas también se podía trabajar en la asignatura EATP de 2º y 3º de BUP, versión Taller de Astronomía.



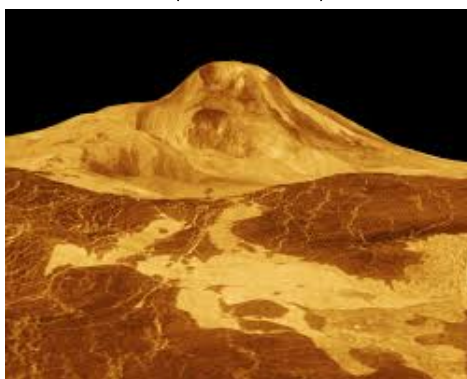
Fallas en Europa, satélite de Júpiter (Crédito: NASA)

Con la llegada de la nueva Ley Orgánica General del Sistema Educativo, conocida como LOGSE (BOE del 4 de octubre de 1990) ocurrieron grandes cambios, con una nueva denominación de las distintas etapas educativas y una reordenación de los cursos y sus asignaturas. La creación de la asignatura de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente (y la consiguiente marginación de la Geología) puso a cavilar a muchos geólogos y se estuvo a punto de proponer la Geología Planetaria como nueva asignatura optativa para el 2º curso de Bachillerato, cosa que finalmente no llegó a suceder.

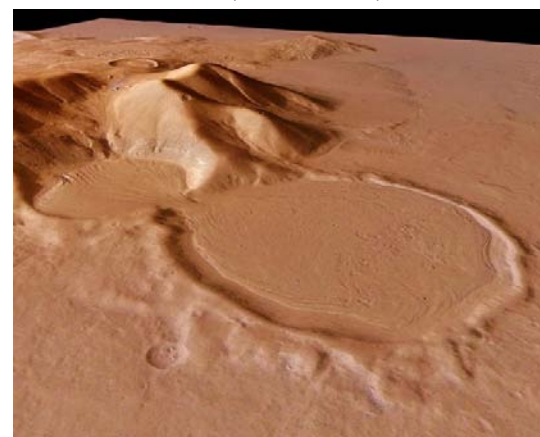
Cráteres de impacto en la Luna (Crédito: NASA)



Volcán en Venus (Crédito: NASA)



Sedimentos en Marte (Crédito: NASA)



Desde mediados de la década de los 80 el profesor de la Facultad de CC. Geológicas de la Universidad Complutense de Madrid Dr. Francisco Anguita impartió varios cursos de doctorado con el título de “Geología Planetaria: procesos y productos endógenos” y desde el curso 1995-96 fue nombrado profesor de la asignatura Planetología en la misma Facultad y Universidad. Con su intensa actividad el profesor Anguita formó a numerosos geólogos que intentaron dar a conocer esta materia entre los profesores de secundaria, principalmente (aunque no sólo) en las reuniones bianuales de la Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra (AEPECT). Las posteriores movidas políticas de finales del siglo XX y comienzos del XXI han producido unas cuantas leyes educativas más, que han eliminado el Taller de Astronomía del panorama general de los institutos, pero que no han influido especialmente en los programas de nuestras asignaturas científicas.

Actualmente, tanto en los cursos de ESO en la asignatura de Ciencias de la Naturaleza como en la de Biología-Geología, como en las de Biología y Geología y Ciencias para el Mundo Contemporáneo de 1º y en la de Geología de 2º de Bachillerato hay temas dedicados al Universo o al Sistema Solar en las que se pueden utilizar los materiales de la Geología Planetaria.

Desde un punto de vista práctico, esta nueva disciplina necesita imágenes lo más nítidas posible para poder interpretarlas correctamente y extraer conclusiones válidas. Podemos considerar que los dibujos realizados por Schiaparelli en 1877 y las fotografías tomadas desde el Observatorio Lowell hacia 1908 sobre los canales y los cambios en los casquetes polares observados en Marte y su interpretación relacionándolos con cambios estacionales, como un prematuro ensayo de Geología Planetaria muy adelantado por entonces a su tiempo.

Los comienzos reales de esta disciplina se pueden datar pocos años después del comienzo de la era espacial (que se inicia con el vuelo de Gagarin el 12

de abril de 1961) con las naves soviéticas Venera y las posteriores norteamericanas Pioneer, Mariner, Viking y Voyager.

El programa VENERA intentó enviar, desde 1961 a 1984, 16 naves a Venus, con varios lanzamientos fallidos. Las más significativas para nuestro interés fueron:

- Venera 7, fue la primera en aterrizar suavemente en Venus, en 1970.
- Venera 9, envió la primera foto en blanco y negro el 22 de octubre de 1975.
- Venera 13, envió la primera imagen en color el 1 de marzo de 1982.

El programa MARINER lanzó 10 naves desde el Jet Propulsion Laboratory entre 1962 y 1973 con la intención de explorar Venus, Marte y Mercurio.

- Mariner 4 llegó a Marte y envió las primeras imágenes el 14 de julio de 1965
- Mariner 9 llegó a Marte el 13 de noviembre de 1971 y envió fotos de Fobos y Deimos.
- Mariner 10, tras visitar Venus fue la primera nave en llegar a Mercurio.

El programa PIONEER tuvo dos etapas, la segunda de las cuales acabó enviando varias naves hacia los planetas exteriores.

- Pioneer 10, lanzada el 2 de marzo de 1972, sobrevoló Júpiter.
- Pioneer 11, lanzada el 5 de abril de 1973, sobrevoló Júpiter y Saturno.
- Pioneer Venus, lanzada el 20 de mayo de 1978, llegó al planeta el 9 de diciembre de ese mismo año.

El programa VIKING envió 2 misiones a Marte en 1975 (Viking 1 y Viking 2) con el objetivo de aterrizar en el planeta y estudiar su superficie, cosa que realizaron en julio y septiembre de 1976, respectivamente.

El programa VOYAGER envió dos misiones a los planetas exteriores. La Voyager 1 fue lanzada el 5 de septiembre de 1977 con la misión de visitar Júpiter y Saturno. La Voyager 2 fue lanzada el 20 de agosto de 1977 para visitar Júpiter y Saturno y posteriormente continuar hasta Urano y Neptuno. Ambas misiones fueron un éxito y enviaron numerosas imágenes, durante mucho tiempo las únicas de esos planetas que hemos podido disfrutar.

A partir de la década de los 90 los EEUU han enviado varias misiones a Marte, con robots móviles que nos han mostrado numerosos paisajes marcianos. Incluso en el año 2003 la ESA envió la sonda Mars Express al planeta rojo.

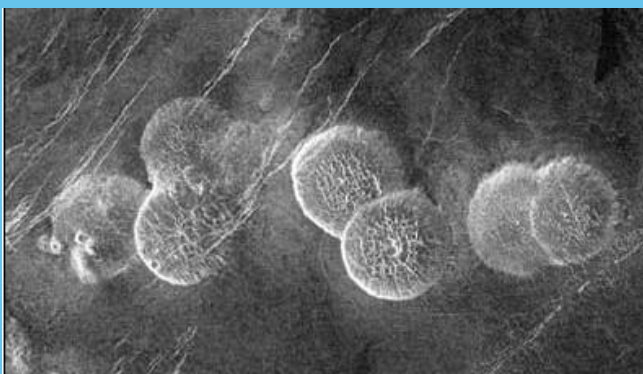
Propuestas didácticas

En principio, contemplamos dos posibilidades para trabajar la Geología Planetaria en las clases de secundaria.

Por una parte, identificación de estructuras geológicas (volcanes, domos, cráteres, fallas, acumulaciones sedimentarias, etc.) en imágenes enviadas por las sondas citadas en el apartado anterior. Y por otra, la utilización de esquemas obtenidos a partir de algunas de esas imágenes o de esquemas hechos para explicar la secuencia de procesos que las han producido.

Identificación

A continuación se añaden algunas imágenes a modo de muestra.



Crédito :NASA

Domos en la superficie de Venus. Son parte de

los Montes Maxwell. Se explican por erupciones que no llegaron a salir a la superficie provocando su abombamiento.



Crédito :NASA

Cárcavas y estratos en la ladera del Monte Sharp, imagen tomada por el rover Curiosity en Marte.



Crédito :NASA

Imagen tomada por el Mars Reconnaissance Orbiter el 25-05-2013. Canales de desagüe en Marte, la flecha indica uno nuevo (que no aparecía en una imagen anterior de la misma zona tomada el 5-11-2010).



Crédito :NASA

La cuenca de impacto Rembrandt descubierta por la nave espacial MESSENGER durante su segundo sobrevuelo de Mercurio en octubre de 2008.



Crédito :NASA

Imagen de Encelado -satélite de Saturno- tomada por la sonda Cassini, mostrando numerosos cráteres de impacto y fallas.

Recursos en Internet

Son infinitos los sitios de Internet con imágenes de los cuerpos del sistema solar, la única pega aunque no me parece muy importante puesto que solo vamos a buscar imágenes, es el idioma, el inglés, que es prácticamente la única lengua.

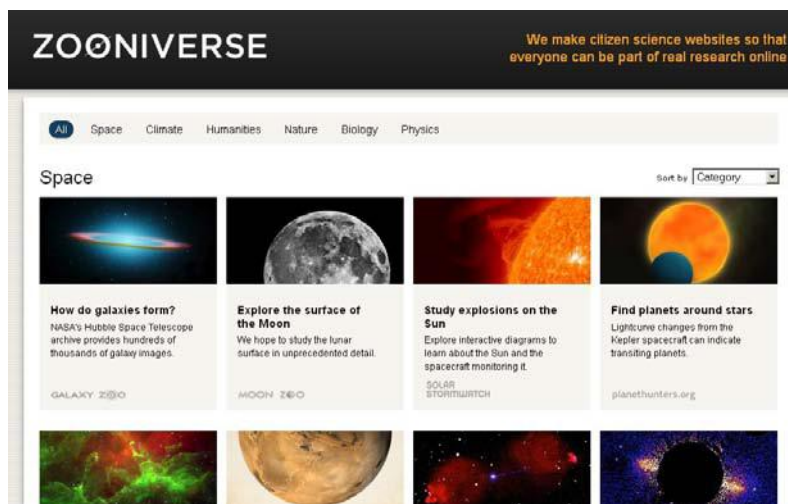
Una excepción es la página de la Agencia Europea del Espacio (ESA, www.esa.int), que tiene un apartado en español.

La página de la agencia espacial estadounidense (NASA, www.nasa.gov) tiene todo lo imaginable, y más.

Un sitio web clásico con mucha información e

imágenes es Nine Planets (www.nineplanets.org).

Dos sitios web particulares muy interesantes son Moon Zoo (www.moonzoo.org) dedicado a la Luna, y Planet Four (www.planetfour.org), dedicado a Marte. Ambos permiten la exploración de la Luna y Marte y forman parte de un proyecto colaborativo de ciencia ciudadana llamado Zooniverse. El proyecto Zooniverse (www.zooniverse.org) permite, tras registrarse gratuitamente, participar en una gran variedad de programas sobre el espacio (10), el clima (3), humanidades (3), naturaleza (10), biología (2) y física (1) y otros 2 de laboratorio sobre la vida extraterrestre y música popular.



En la parte inferior derecha de esta captura se ven las banderas de los países miembros de ESA, pulsando en la española se pasa al sitio en castellano.



En esta captura de la página de inicio de ESA, en la parte superior se ve el menú principal. En la pestaña de la izquierda se puede acceder a imágenes y en la parte derecha se puede acceder a magníficos materiales didácticos listos para utilizar en clase.

Otra opción para localizar imágenes útiles es escribir en google imágenes el nombre del astro que queremos investigar y la máquina nos ofrecerá un amplio muestrario.

Deducción

Podemos utilizar imágenes reales apropiadas o en algunos casos hacer un esquema, es decir, un dibujo simplificado de la foto para presentarlo a los alumnos.

Se necesitan imágenes en las que aparezcan dos ó más accidentes o sucesos para que los alumnos, aplicando el principio de superposición que establece que lo que está encima ha ocurrido después, los ordenen en el tiempo.



Crédito :NASA

En esta imagen observamos distintos cráteres, pero no podemos decir en qué orden se formaron.



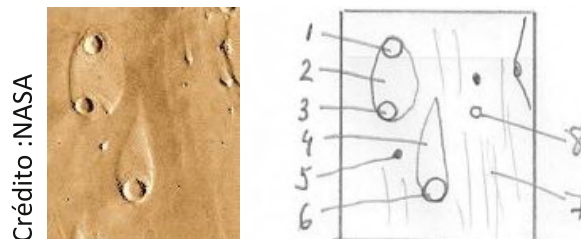
Crédito :NASA

En cambio en esta imagen, como un cráter está dentro de otro, o “encima de él” (en 2 casos), está claro que los pequeños se han formado posteriormente.

Por supuesto que no podemos decir nada sobre el orden en que se formaron estas dos parejas.

Para complicar un poco el problema, y hacerlo más interesante para los alumnos deberíamos buscar imágenes con más “sucesos”, que no son fáciles de encontrar. Por eso es una buena opción es dibujar nuestros propios esquemas.

Ejercicio 1



Crédito :NASA

En la imagen de la izquierda tenemos un cañón por el que ha circulado agua con gran poder erosivo y varios cráteres. A la derecha tenemos un esquema simplificado de la imagen original con los puntos que nos interesan numerados.

-Explicar la naturaleza de lo que indica cada número.

-¿Qué ocurrió antes, la formación de los cráteres 1, 3 y 6 o la circulación del agua?

-¿Y el cráter señalado con el número 8 también?

-¿En qué dirección (hacia arriba o hacia abajo en la imagen) discurría el agua?

Explicación: Un curso de agua con gran poder erosivo excavó el canal que ocupa la imagen. Como consecuencia de este trabajo erosivo se formaron las islas alrededor de los cráteres 1, 3 y 6, que debían de estar ya ahí. Sus formas nos indican que el agua discurría de abajo a arriba en la imagen. El agua tampoco pudo erosionar el punto marcado 5 (un resalte rocoso) al igual que el acantilado de la parte superior derecha. En cambio el cráter 8 debe ser posterior a la existencia de la corriente porque parece estar sobre el cauce al nivel actual.

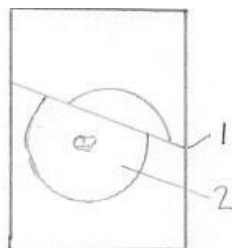
Ejercicio 2

En el esquema de la figura aparecen una falla (1) y un cráter de impacto (2).

-¿Qué suceso ocurrió antes, la formación del

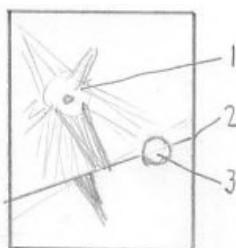
cráter o la falla?

-¿Por qué?



Explicación: Está claro que en este caso la falla es posterior al cráter porque ha desplazado una parte de él. Si el impacto hubiera ocurrido después de la formación de la falla el cráter, sin perder su forma circular, estaría sobre ella.

Ejercicio 3



En este esquema aparecen tres eventos, 1, 2 y 3.

-¿Cuáles son esos tres eventos?

-¿En qué orden sucedieron?

Explicación: Se observan dos cráteres de impacto, el número 1 con radios de eyección, una falla, 2 y otro cráter más pequeño, 3. Primero se formó el cráter 1, posteriormente la falla 2, que fracturó y arrastró parte de los materiales eyectados y, por último, un impacto formó el cráter 3, casualmente sobre la falla.

Dependiendo de la habilidad del dibujante estos esquemas se pueden complicar un poco más añadiendo a los cráteres de impacto los clásicos radios de eyección y algún volcán con sus correspondientes coladas o depósitos debidos a corrientes o derrumbes.

Bibliografía comentada

Siguiendo el esquema de este trabajo, se proponen materiales con los que completar o

ampliar la información dada.

Definición de Geología Planetaria

En wikipedia:

<http://es.wikipedia.org/wiki/Astrogeolog%C3%ADa>

Un blog:

<http://geoplanetaria.blogspot.com.es/>

Libros del profesor Anguita

Anguita, F. y Castilla, G., 2003: Crónicas del Sistema Solar. Editorial Equipo Sirius. ISBN 978-84-9549-539-6.

Anguita, F., 1988: Origen e Historia de la Tierra. Editorial Rueda. ISBN 978-84-7207-052-3.

Política educativa

Quien desee refrescar su memoria y mortificarse con la política educativa de las autoridades españolas puede consultar la página:

http://www.teinteresa.es/educa/siete-leyes-educativas-franco-wert-zapatero-aznar-ucd-psoe-pp_0_1007900025.html

Exploración espacial

Sitios web interesantes:

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

http://es.wikipedia.org/wiki/Exploraci%C3%B3n_espacial

y el sitio web de la NASA o en Google.

Vistas del Sistema Solar

Millar, R. y Hartmann, W.K., 1981: Viaje extraordinario, guía turística del sistema solar. Editorial Planeta. ISBN 978-84-3204-306-2.

Además de los sitios web que se citan en el texto, es interesante: <http://solarviews.com/>

Tres museos para vivir la ciencia en A Coruña

Marcos Pérez - Museos Científicos Coruñeses

La ciudad de A Coruña cuenta con una completa oferta de divulgación de la ciencia reunida en la institución Museos Científicos Coruñeses, a la que pertenecen tres centros de ciencia interactivos de titularidad municipal, la Casa de las Ciencias, la Domus y el Aquarium Finisterrae. Más allá de sus salas de exposiciones, acercan la ciencia a la ciudadanía mediante proyecciones, cursos, talleres y una amplia variedad de actividades. Son singulares sus Monografías de Comunicación Científica, publicaciones que dan respuesta a las inquietudes de la población sobre temas de actualidad (gripe aviar, vacas locas, células madre, cambio climático, accidentes nucleares...), los premios Prismas, un certamen que reconoce los mejores trabajos de divulgación en diferentes modalidades, o el Premio Luis Freire de Investigación Científica en la Escuela, dirigido a los estudiantes de secundaria y profesores de primaria, que busca fomentar el interés por la ciencia en esos ámbitos.

También se realizan numerosas actividades y talleres de carácter educativo, dirigidos tanto al público escolar como a los visitantes de fin de semana. En la Casa de las Ciencias, por ejemplo, los últimos sábados de mes se celebran unas sesiones especiales de planetario para conocer el cielo que se puede observar en esos días. En la Domus se organizan talleres de disección de corazón y ojo de cerdo, actividades sobre biotecnología, y otras relacionadas con la ciencia en la vida cotidiana. Y en el Aquarium destacan actividades como “Durmiendo con tiburones” (en la que los participantes realizan talleres sobre biología marina y pasan la noche en la sala Nautilus), los talleres en la Charca de las Caricias, o las “Aventuras en el Aquarium”, que incluyen experiencias como una

visita a la zona técnica o participar en la alimentación de las focas.



Aquarium Finisterrae

Enclavado en un espectacular ámbito natural, al lado del océano Atlántico, junto al histórico faro de la Torre de Hércules, el Aquarium es un centro de educación medioambiental dedicado a mostrar la diversidad de la vida en la costa gallega, al conocimiento del mar y al estudio de su dinámica y su aprovechamiento.



Vista exterior del Aquarium Finisterrae

Sala Nautilus

Su sala principal, la Maremagnum, presenta módulos interactivos que responden a las preguntas formuladas por escolares gallegos: ¿Por qué el agua del mar es salada? ¿Dónde se mete el agua cuando baja la marea? ¿Cuántos litros tiene el mar aproximadamente? ¿Cómo pueden respirar los peces en el agua y nosotros no? ¿Es verdad que el pez sapo utiliza una caña de pescar para capturar sus víctimas?

Esta sala presenta seis grandes acuarios que representan ecosistemas de la costa gallega (plataforma continental, banco de algas, batea, acantilado, vida costera), además de otros elementos singulares. Uno de ellos es un tanque cilíndrico de 10.000 litros de capacidad, que renueva su contenido periódicamente, y que actualmente está dedicado a la flora y fauna de los ríos gallegos, en especial a la reserva de la biosfera Mariña Coruñesa e Terras do Mandeo.

También se encuentra en la Maremagnum la “Charca de las Caricias”, donde se realizan talleres de biología marina frente a un acuario con animales vivos que los visitantes pueden tocar bajo la supervisión de un monitor, y la Oceanosfera, un proyector digital esférico para mostrar simulaciones de fenómenos marinos, atmosféricos y oceanográficos a escala global.

Pero uno de los espacios más emblemáticos del acuario coruñés es la sala Nautilus, que invita a mirar el mar como lo haría el capitán Nemo. Está sumergida en un gran tanque de 4,4 millones de litros de agua donde nadan tiburones, águilas marinas, meros, rodaballos y otros grandes peces.

En el exterior del Aquarium, existen además diversos espacios expositivos, donde las estrellas son catorce focas comunes del Atlántico Oriental que viven en una gran piscina abierta. En el momento de sus comidas diarias, a mediodía y a media tarde, los monitores del centro dan una charla divulgativa sobre estos mamíferos marinos al público que se acerque a verlas.



Domus

“Conócete a ti mismo” es el lema de este museo, en el que se propone un recorrido interactivo por el cuerpo humano, despertando la curiosidad al tiempo que el visitante se divierte, y provocando la reflexión mientras participa en sus actividades. Propone experiencias y juegos que permiten descubrirnos como individuos y como especie: lanzar un penalti y comprobar la velocidad a la que se impulsó el balón, ver cómo reaccionan nuestras pupilas ante un estímulo luminoso, ver imágenes de un parto real...



Vista exterior del Domus

Las salas de exposiciones permanentes que alojan todos estos módulos experimentaron importantes renovaciones con la apertura de nuevas secciones, una dedicada a la genética, otra a la evolución humana, realizada con la colaboración del equipo de investigadores de Atapuerca, y la más reciente dedicada a la mente y la inteligencia humanas. Con el título de “Juego de neuronas” y estrenada en marzo de 2013, tiene como elemento emblemático una colorida red neural elaborada con neuronas

creadas en su mayor parte por escolares gallegos. La exposición contiene además actividades que ponen en práctica las diferentes habilidades de las personas, y que permiten explorar la combinación única de inteligencias que caracteriza a cada individuo. Entre estas experiencias están la de intentar reproducir en un teclado una melodía, clasificar unas figuras de extraterrestres, intentar reproducir un dibujo siguiendo las instrucciones verbales que les da otra persona, o jugar con un aparato con pulsadores a diferentes alturas que el visitante debe pulsar lo más rápido posible cuando se encienden.

Domus cuenta también con un espacio novedoso, el Laboratorio Abierto, que recrea un laboratorio moderno, con varias mesas dotadas del equipamiento necesario para realizar actividades experimentales. Aquí los grupos escolares de Secundaria y Bachillerato realizan talleres relacionados con la biotecnología, y los de Primaria exploran la ciencia que encontramos en entornos cotidianos como la cocina o el cuarto de baño.



Domus genética

Casa de las Ciencias

El Palacete situado en el coruñés Parque de Santa Margarita contiene cuatro plantas de exposiciones interactivas, culminadas en una cúpula que alberga la sala de proyecciones del planetario.

En la Casa de las Ciencias es referencia la sala de experiencias de la primera planta, con módulos



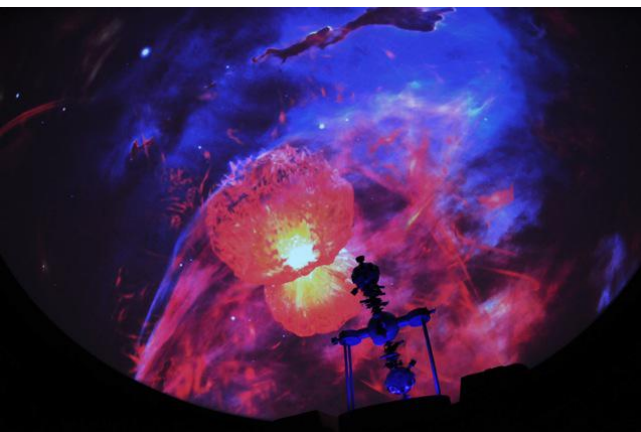
Vista exterior de la Casa de las Ciencias

cuyo diseño fue realizado por el decano de los centros de ciencia interactivos de todo el mundo, el Exploratorium de San Francisco. Aquí, como en otras secciones del museo, los visitantes encuentran que lo importante no son las respuestas, sino hacerse preguntas y explorar uno mismo.

En esa misma línea se diseñaron los contenidos de “Puro Swing”, una exposición sobre péndulos estrenada en diciembre de 2013. Una de sus piezas estrella es un sorprendente columpio doble en el que la energía se transfiere entre los dos ocupantes, permitiéndonos columpiarnos sin hacer el menor esfuerzo. Otras de sus experiencias interactivas permiten ver cómo la gravedad hace dibujos geométricos, comprender el secreto del botafumeiro o descubrir cómo funcionaban los relojes antes de que hubiera pilas.

Planetario

El elemento más emblemático de la Casa de las Ciencias es quizás su Planetario, en el que se enseña a mirar el cielo, a reconocer las estrellas, planetas, constelaciones y demás objetos visibles a simple vista, o internarse en aspectos concretos sobre el universo. El planetario fue modernizado en 2009 con un equipamiento de proyección digital que proporciona una mayor definición y la



Diferentes imágenes de las sesiones de Planetario

posibilidad de imágenes en movimiento en toda la cúpula.

Una herramienta para la enseñanza de la astronomía

El planetario de la Casa de las Ciencias, con sus proyecciones inmersivas de video a toda cúpula se ha convertido en uno de los mayores atractivos de este museo. Sin embargo, una parte esencial de la programación sigue girando alrededor de sesiones en directo en las que el planetarista presenta el cielo que podremos ver esas noches e introduce los movimientos de los cuerpos celestes, las constelaciones y sus leyendas o los cambios que observamos cuando viajamos a otras latitudes.

Entre los objetivos de estas sesiones cabe destacar la reivindicación del firmamento – mejor cuanto más oscuro – como un elemento fundamental en casi todas las tradiciones culturales; presentar un relato histórico de la evolución de nuestra visión del universo o fomentar

las habilidades de visión espacial que nos permiten pasar del modelo de Sistema Solar dibujado en un papel a la realidad dinámica de un cielo estrellado visto desde la Tierra.

En cualquier caso, el enfoque de estas sesiones es complementario de la escasa atención que el currículum dedica a la astronomía. En lugar de abundar en la explicación del modelo heliocéntrico del Sistema Solar, la descripción de los planetas o la estructura de la galaxia, se presentan las evidencias observacionales que dan soporte a esos modelos. Este enfoque desplaza el foco de atención desde las teorías hacia los hechos y la experimentación, promoviendo así una visión crítica de lo que aprendemos en la escuela. Y al mismo tiempo, también permite proyectar una imagen más realista de las incertidumbres y disyuntivas a las que se enfrentan los astrónomos, y en general todos los científicos, cuando deben interpretar sus observaciones.



<http://www.mc2coruna.org>

Deconstruyendo el Sol

¿Qué sabemos y qué no sabemos de nuestra estrella?

Benjamín Montesinos - Centro de Astrobiología (CAB, CSIC-INTA)

El Sistema Solar es “nuestra casa”: los ocho planetas y sus satélites, los planetas enanos, la población de asteroides entre Marte y Júpiter, los cuerpos menores más allá de la órbita de Neptuno, la nube de millones de cometas, el polvo que produce la luz zodiacal... y en su centro el Sol, nuestra estrella, cohesionando con la fuerza de la gravedad ese conjunto de millones de cuerpos y proporcionando la energía que mantiene la vida en la Tierra.

En este artículo vamos a hablar del Sol y describiremos de una forma sencilla e inteligible sus propiedades, formación y evolución.

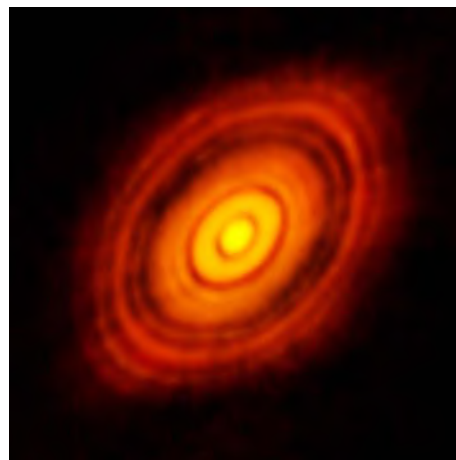
El origen del Sol

¿Cómo se formó el Sol? Pierre Simon Laplace elaboró alrededor de 1796 una teoría sobre el origen del Sistema Solar denominada hipótesis de la nebulosa primitiva, ya apuntada por Immanuel Kant en 1755, según la cual nuestro sistema planetario se formó a partir de una nube de gran tamaño que, animada por un movimiento de rotación muy lento, se fue condensando debido a la acción de la fuerza de la gravedad. La teoría de Laplace suponía que la rotación de la “condensación central”, el Sol, causó que se lanzaran al espacio anillos de materia que posteriormente se concentraron a su vez para formar los planetas, segregándose en porciones más pequeñas que dieron lugar a sus satélites. Aunque muchos de los detalles de esta teoría no son correctos, el marco general sí lo es, y constituyó el primer paso para comprender cómo se formó el Sistema Solar.

Sabemos que en torno a un gran número de estrellas jóvenes (con edades de unos pocos millones o decenas de millones de años) existen discos de gas y polvo. El Sol es una estrella madura, con unos 5000 millones de años de edad, de modo

que a la vista de las órbitas coplanarias de los planetas, es plausible pensar que nuestro Sistema Solar se originó a partir de una estructura similar a un disco como los que se ven en torno a estrellas más jóvenes.

La mayor parte del gas de ese disco protoplanetario va a parar a la protoestrella central, y al condensarse y hacerse más denso aumenta su temperatura hasta que en el núcleo es lo suficientemente alta para que se disparen las reacciones nucleares que son las que mantienen la estructura de las estrellas durante la mayor parte de su vida y las que proporcionan energía a su entorno.



El disco protoplanetario alrededor de la estrella HL Tauri. La observación realizada con el interferómetro ALMA (Atacama Large Millimeter and submillimeter Array) muestra huecos en el disco, muy probablemente causados por protoplanetas en formación que “excavan” el disco. Crédito: ALMA (ESO/NAOJ/NRAO).

Un aspecto curioso del Sol, que se refleja también en la Tierra y que nos habla de su historia, es su composición química: si pudiéramos tomar una muestra de 1000 átomos del gas que compone el Sol, veríamos que alrededor de 900 son de

hidrógeno, el elemento más abundante del Universo, 90 de helio y los 10 restantes representarían lo que los astrónomos denominamos “metales”: oxígeno, carbono, fósforo, nitrógeno, hierro, níquel, cromo... elementos químicos que también encontramos en la Tierra. La pregunta, nada inocente, es ¿de dónde provienen esos elementos químicos? Los estudios de evolución estelar y de síntesis de elementos nos dicen que no han sido creados por el Sol sino que ya estaban presentes en la nube de materia interestelar que dio origen a nuestra estrella. Todos esos elementos químicos fueron creados en los hornos nucleares de generaciones de estrellas anteriores a la nuestra. Las más masivas, al explotar en forma de supernova, enriquecieron el medio interestelar con el material que procesaron en su interior; ese gas y polvo interestelares, al colapsar, formaron el Sol, y obviamente, la Tierra. Es muy evocativo pensar que cada vez que bebemos un vaso de agua, el hidrógeno de sus moléculas se creó hace 13.700 millones de años, la edad del Universo, poco después del Big Bang y el oxígeno, dentro de una estrella hace más de 5000 millones de años... de hecho, lo mismo sucedió al fósforo de nuestros huesos o al carbono que compone nuestros tejidos.

El Sol como estrella ¿es grande o pequeño?, ¿caliente o frío?

El 99% de la masa del Sistema Solar está concentrada en el Sol. La masa del Sol es aproximadamente 2×10^{30} kg, 1000 veces la masa de Júpiter, el planeta gigante más masivo del Sistema Solar, y 333.333 veces la masa de la Tierra. El radio del Sol es aproximadamente 700.000 km: necesitaríamos 1.300.000 Tierras para llenar una esfera del tamaño del Sol.

A la vista de estos números, el Sol ¿es una estrella muy masiva o poco masiva comparada con otras? La respuesta es que es más bien poco masiva. Las estrellas más masivas que se conocen tienen alrededor de 120 veces la masa del Sol. Por el otro lado, las estrellas menos masivas sabemos

que tienen el 8% de la masa del Sol. Por debajo de ese límite un objeto no puede mantener de una forma estable reacciones nucleares y no se le denomina estrella sino enana marrón, ya que su temperatura es baja (menos de 2000°C) y por tanto su color es rojizo.

En cuanto al tamaño, el Sol es una estrella más bien pequeña. Existen estrellas en fases avanzadas de su vida que pueden tener hasta 1500 veces el radio del Sol, se denominan supergigantes y son también mucho más luminosas.

La temperatura superficial del Sol es de unos 6000°C , lo que supone que hay que considerarlo como una estrella fría. Ya hemos mencionado que las temperaturas de las estrellas más frías está en torno a los 2000°C ; las más calientes pueden tener 50.000°C en su superficie, y algunos objetos “exóticos” pueden ser aún más calientes.

La estructura del Sol

Lo que hemos denominado “superficie” del Sol no es ningún límite definido y sólido: el Sol es una inmensa bola de gas en un estado algo especial denominado plasma, y su superficie, que es el disco que se aprecia en las imágenes tomadas con telescopios en luz blanca, es la parte de la atmósfera en la cual los fotones, las “partículas de luz”, son capaces de escapar libremente del Sol. Ese disco se llama fotosfera, que es una palabra con etimología griega y que significa “esfera de luz”.

Por encima de la fotosfera se sitúan la cromosfera (también del griego “esfera de color”) y la corona. Una de las propiedades más sorprendentes de la atmósfera del Sol es que la temperatura aumenta cuando ascendemos desde la fotosfera a la corona. Esta última capa, aunque tiene densidades muy bajas –más bajas que las que pueda proporcionar una bomba de alto vacío– alcanza temperaturas de hasta $3.000.000^{\circ}\text{C}$. El calentamiento de la corona es uno de los problemas abiertos en física solar: se sabe que los campos magnéticos representan un papel muy

importante en la existencia de gas tan caliente, aunque los mecanismos precisos son difíciles de describir.

Yendo hacia el interior del Sol encontramos con que la temperatura siempre aumenta hacia el centro. En los primeros 200.000 kilómetros la estructura del Sol es muy turbulenta, la energía se transporta por convección en células convectivas, de la misma forma, cualitativamente, que en un recipiente con un líquido colocado en el fuego se establecen corrientes que transportan el líquido más caliente hacia la superficie, donde depositan el calor, y descienden cuando se enfrían.

En el núcleo del Sol la temperatura es de unos $15.700.000^{\circ}\text{C}$. Como hemos apuntado antes, el núcleo del Sol -y de las estrellas- es un inmenso horno donde las altas temperaturas favorecen las colisiones entre los núcleos atómicos (átomos desprovistos de sus electrones), manteniendo reacciones nucleares que además de generar nuevos elementos químicos -y por tanto cambiar poco a poco la composición del núcleo- también producen fotones de muy alta energía, que en un camino muy azaroso de absorciones y reemisiones, proporcionan la luz y el calor que nos mantienen vivos. La presión gaseosa del gas, causada por la alta temperatura de todo el interior del Sol está en una batalla constante contra la gravedad: el equilibrio de ambas mantiene la estructura del Sol estable.

La reacción química fundamental que sucede en el núcleo del Sol es que cuatro protones (cuatro núcleos de átomos de hidrógeno) interactúan para formar un núcleo de helio (formado por dos protones y dos neutrones), más energía. La cadena de reacciones es mucho más compleja y uno de los productos de esas reacciones son los neutrinos, partículas de masa muy pequeña que al contrario de los fotones, no interactúan prácticamente con la materia y atraviesan el Sol como si este no existiera. En cada momento trillones de neutrinos originados en las reacciones nucleares del Sol nos

atraviesan sin que notemos ningún efecto.

Si dispusiéramos de una minúscula balanza donde pudiéramos colocar en uno de los platillos cuatro protones y en el otro un núcleo de helio, veríamos que aquellos “pesan” más que este. La diferencia de masa se convierte en energía y la equivalencia la podemos calcular a través de la ecuación más famosa de la Física, $E=mc^2$, donde E representa la energía que equivale a una cantidad de masa m; c es la velocidad de la luz, un número muy grande, y más grande aún elevado al cuadrado, de modo que una pequeña cantidad de masa equivale a una energía considerable.

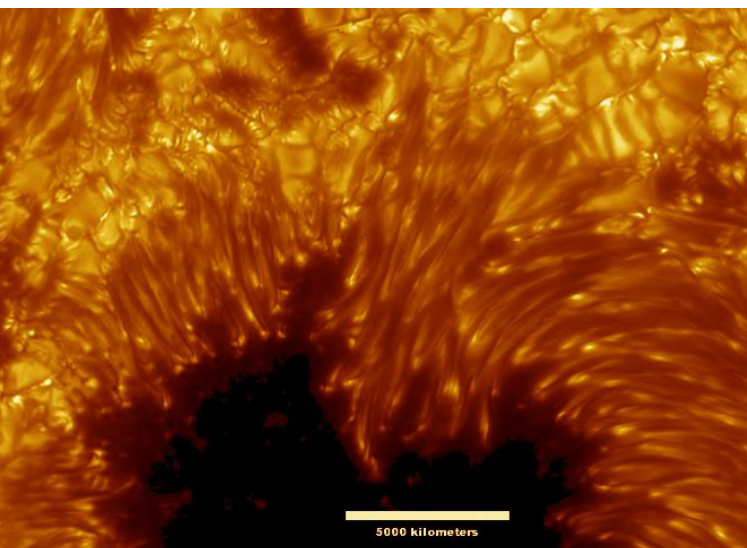
En el Sol hay 92 sextillones de reacciones nucleares por segundo (92×10^{36} , es decir un 92 seguido de 36 ceros), en cada una de ellas un 0.7% de la masa involucrada se convierte en energía. Visto de otra forma: 4.260.000 toneladas de materia se convierten en energía cada segundo, Esa energía podría proveer de electricidad a un hogar corriente durante 95×10^{14} años (9500 billones de años)... un tiempo mayor que la edad del Universo.

Desde que comenzaron las primeras reacciones nucleares el Sol está quemando hidrógeno de una manera estable, en una fase que los astrónomos denominamos secuencia principal, lo lleva haciendo 5000 millones de años, y continuará otros 5000 millones de años más hasta que el hidrógeno se agote. Hablaremos de las etapas posterior de su evolución más adelante.

El campo magnético solar

El Universo no sería lo que es si no existieran los campos magnéticos... de hecho tampoco nuestra vida no sería lo que es sin su existencia. Las manifestaciones más conocidas del magnetismo solar son las manchas solares, regiones oscuras que aparecen en la fotosfera, se mantienen unos pocos días o semanas y desaparecen. Comparadas con el tamaño del disco solar pueden parecer pequeñas, pero las manchas pueden alcanzar fácilmente dimensiones de unos pocos miles de kilómetros.

Algunas son más grandes que la Tierra. Las manchas tienen una estructura muy peculiar, se parecen mucho a una anémona, tienen una región central oscura, denominada umbra y de ahí se extienden radialmente hacia fuera unos filamentos brillantes y oscuros, que constituyen la penumbra. Las manchas aparecen oscuras frente a la fotosfera porque son más frías, la umbra tiene temperaturas del orden de 4500°C , pero si colocáramos una mancha en contraste con el cielo oscuro, sería más brillante que la Luna llena. Estas regiones trazan intensos campos magnéticos que surgen desde el interior del Sol.



Detalle de una mancha solar con la zona oscura, la umbra y los filamentos penumbrales. En la parte inferior una regla marca las dimensiones de la mancha. Alrededor se puede observar el clásico patrón de la granulación solar. Esta imagen se obtuvo con la Torre Solar sueca situada en el Observatorio del Roque de los Muchachos (La Palma). Crédito: Academia de Ciencias de Suecia.

En la fotosfera también se puede apreciar una granulación de menor tamaño que las manchas, con dimensiones típicas de unos pocos cientos de kilómetros, cuyo patrón es cambiante y que refleja las células convectivas que desde zonas más internas transportan calor hacia las capas exteriores. Entre esos gránulos también escapan pequeños filamentos del campo magnético solar.

El origen y comportamiento del campo magnético del Sol es otro de los fenómenos más complejos a los que se enfrentan los físicos solares. El campo magnético se origina a través de una interacción de tres mecanismos: la rotación (el Sol gira con un periodo de unos 26 días en torno a sí mismo), la rotación diferencial (el Sol no gira como un cuerpo rígido, sino que existen diferencias tanto en latitud como en profundidad) y las corrientes eléctricas del plasma en el último tercio de la estructura solar (gas ionizado en movimiento debido a la convección). Las corrientes eléctricas generan campos magnéticos y los movimientos de convección modifican su estructura, aunque el proceso es mucho más complejo de lo que parece, porque el propio campo magnético modifica el campo de velocidades del plasma con lo cual, si se quiere llegar a una solución coherente del problema se han de resolver en cada punto a la vez las ecuaciones que describen el campo magnético y el campo de velocidades.

A este mecanismo complejo que describe la generación del campo magnético solar y su variación con el tiempo se denomina acción dinamo, porque su funcionamiento tiene un paralelismo con las dinamos que todos conocemos: en éstas la variación de flujo magnético que atraviesa una bobina genera una corriente eléctrica, en el Sol son las corrientes eléctricas las que generan el campo magnético.

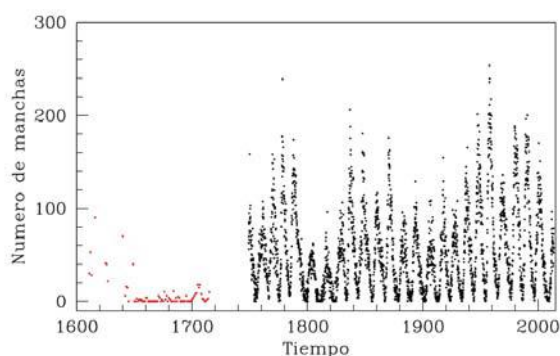
A pesar de que cada vez se dispone de ordenadores más rápidos, la formulación del problema magnetohidrodinámico es en sí muy intrincada puesto que se desconocen, entre otras cosas, muchos parámetros microscópicos del plasma solar, por ejemplo viscosidades, conductividades eléctrica y magnética... ¡una auténtica pesadilla para los físicos solares!

El ciclo de actividad

El ciclo de actividad solar fue descubierto en 1843 por el astrónomo alemán Samuel Heinrich Schwabe,

quien después de 17 años de observaciones de las manchas solares advirtió una variación periódica en el número de ellas que aparecieron sobre el disco solar. Rudolf Wolf, astrónomo suizo que en 1848 fijó unas reglas de conteo de manchas solares que aún siguen usándose, estudió los datos de Schwabe y recopiló otros anteriores, reconstruyendo el registro de número de manchas hasta 1745, y más tarde hasta la época de Galileo, a principios del siglo XVII.

Hasta hace poco se creía que habían existido 28 ciclos entre 1699 y 2008, proporcionando una media de 11,04 años para la distancia media en tiempo entre un un mínimo de manchas y el siguiente; a ese intervalo de tiempo lo llamaremos duración del ciclo. Sin embargo, investigaciones realizadas en 2010 probaron que el ciclo aparentemente más largo de todos los reconstruidos, entre 1784 y 1799, constó realmente de dos ciclos, de modo que la duración media de los ciclos es actualmente 11,66 años. Ha habido ciclos de 9 años y ciclos de 14 años. La amplitud de los ciclos, es decir el número máximo de manchas, también es variable. Parece existir una modulación de largo periodo cuando se representa en un diagrama el número de manchas frente al tiempo, pero la base de tiempos sobre la que se dispone de datos fiables es todavía demasiado corta como para afirmar nada más de manera rotunda.



Un diagrama que representa la variación del número de manchas con el tiempo desde el año 1600. Se aprecia claramente el mínimo de Maunder, y posteriormente la periodicidad del comportamiento cíclico del Sol.

Cuando a principios del siglo XX se dispuso de métodos e instrumentos para medir el campo magnético solar y su polaridad se comprobaron dos hechos fundamentales: primero, que la intensidad del campo magnético en las manchas es mayor que en la fotosfera circundante, y segundo que la polaridad de pares de manchas que están asociadas físicamente, es norte-sur en un hemisferio y sur-norte en el otro, cambiando a sur-norte, norte-sur en el siguiente ciclo.

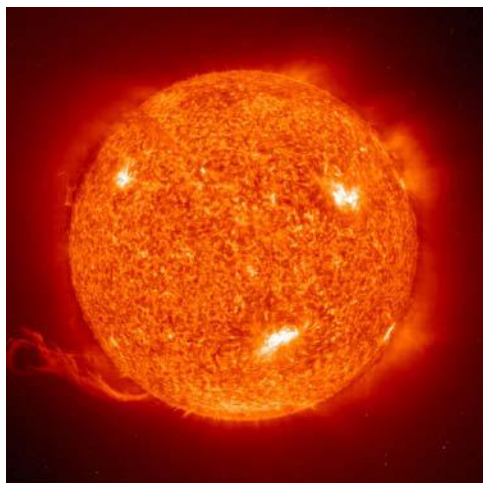
Las cosas son aún más complejas, porque han existido periodos de tiempo bastante largos donde el Sol ha dejado de mostrar un comportamiento cíclico. Desde aproximadamente 1645 hasta 1715 el número de manchas en la superficie del Sol fue muy pequeño. A ese largo periodo de inactividad se le conoce como mínimo de Maunder, en honor al astrónomo inglés Edward W. Maunder, que fue el primero que lo estudió.

El mínimo de Maunder coincidió con la parte media y más fría, de la llamada pequeña edad de hielo, que se extiende desde 1550 hasta 1850 en la cual Europa y Norteamérica sufrieron inviernos muy severos. En particular, el invierno de 1708-1709 fue especialmente crudo, con temperaturas tan bajas como -12°C en las cercanías de Londres. Este invierno parece haber sido el más frío en Europa en los últimos 500 años. Ahí tenemos una prueba de que el Sol influyó en el clima de la Tierra en una época donde no había productos contaminantes en la atmósfera, sin embargo no estamos seguros aún de cuál es el fenómeno directo que lo causó.

La corona solar

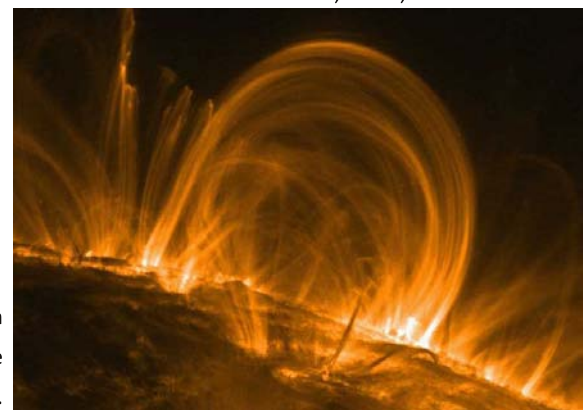
Las capas más externas de la atmósfera solar, la cromosfera y corona, son visibles a en luz blanca a simple vista durante las fases de totalidad de los eclipses de Sol. La Luna bloquea la luz del disco solar y nos permite ver estructuras, organizadas por el campo magnético, que no son visibles en condiciones normales. Como paréntesis, ni que decir tiene que no hay que mirar al Sol directamente nunca: la observación del Sol ha de

Crédito: EIT/SoHO, NASA, ESA.



El Sol visto por el instrumento EIT (Extreme ultraviolet Imaging Telescope) a bordo de SoHO. Esta imagen muestra el gas de la corona solar en el rango de temperaturas 60.000-80.000° C. La longitud de onda a la que está tomada la imagen es 304 Angstroms. Para hacernos una idea, la longitud de onda de la luz visible abarca el intervalo 3500 (violeta)-8000 (rojo) Angstroms aproximadamente.

Crédito: TRACE, NASA, Lockheed Martin.



Detalle de los bucles magnéticos de la corona solar. Se puede apreciar una organización de las líneas de campo, marcadas por gas muy caliente. Las zonas más claras en los pies de los lazos magnéticos indican la presencia de fenómenos de alta energía.

hacerse siempre con instrumentos adecuados y guiados por alguien experto.

La organización del campo magnético de la corona y la gran actividad que presenta, sobre todo en los periodos cercanos a los máximos de manchas, se observan cuando podemos acceder al rango de longitudes de onda más cortas (energías más grandes) del espectro electromagnético: la luz ultravioleta y los rayos X. Puesto que la atmósfera terrestre es opaca a radiaciones con longitudes de onda más corta que el violeta, las observaciones del Sol en altas energías se realizan desde globos estratosféricos y fundamentalmente desde satélites. Varios observatorios espaciales han sido y son cruciales en nuestro conocimiento del Sol: SoHO (Solar and Heliospheric Observatory), SDO (Solar Dynamics Observatory, lanzado en 2010), STEREO (Solar TERrestrial RELations Observatory), Hinode y TRACE (Transition Region and Coronal Explorer, que terminó su vida en 2010) son unos buenos ejemplos. En las páginas web que se dan al pie de esta página se puede encontrar material muy ilustrativo, imágenes, y sobre todo películas, que muestran el carácter dinámico de la corona solar.

Uno de los fenómenos más interesantes son las eyecciones de masa coronales, que son chorros de

materia más intensos que los que componen el viento solar y que están relacionados con fenómenos de reconexión y liberación de energía magnética en la atmósfera solar. Las partículas de estas eyecciones llegan a la Tierra en aproximadamente dos días (aunque algunas lo pueden hacer en tiempos más cortos) y uno de sus efectos más gratificantes es la producción de auroras (boreales y australes) que se producen en latitudes cercanas a las polares cuando interaccionan con las moléculas y átomos de nuestra atmósfera: la desexcitación radiativa después de la excitación colisional se hace en forma de luz de color verdoso la mayoría de las veces, rojizo o azul. En otras ocasiones los efectos de estas tormentas magnéticas pueden ser menos vistosos: en algunos casos han provocado apagones (al fin y al cabo son partículas cargadas, y pueden interaccionar con nuestras las centrales eléctricas y las líneas de alta tensión), averías en satélites e interferencias en las comunicaciones al perturbar la ionosfera de la atmósfera terrestre.

La evolución del Sol

¿Qué sucederá cuando en el núcleo del Sol se acabe el hidrógeno? Cuando eso suceda, el Sol poseerá un núcleo de helio inerte donde las

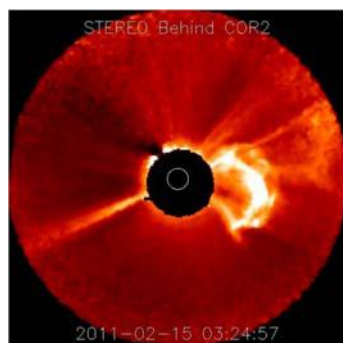
SoHO - sohowww.nascom.nasa.gov, lanzado en 1995 y todavía activo

SDO - sdo.gsfc.nasa.gov, lanzado en 2010

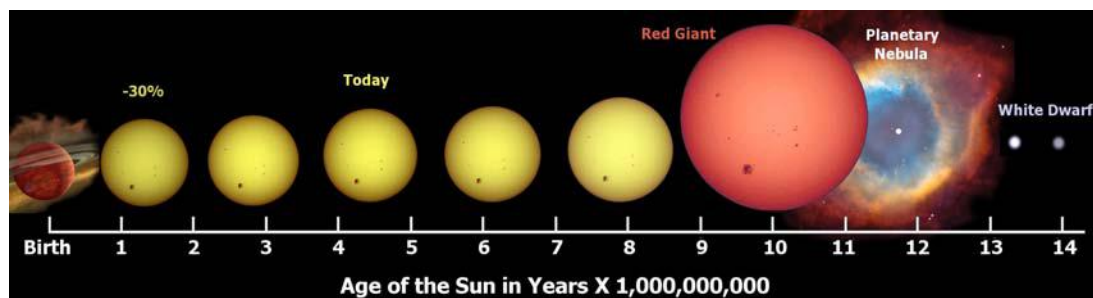
STEREO - stereo.gsfc.nasa.gov, lanzado en 2006

Hinode - hinode.msfc.nasa.gov, lanzado en 2006

TRACE - trace.lmsal.com, lanzado en 1998, terminó su vida útil en 2010



Observación de una eyección de materia coronal realizada por la misión STEREO. El círculo negro en la parte central bloquea la luz del disco solar y permite apreciar detalles de su entorno. Se puede apreciar el bucle de gas, modulado por el campo magnético, que es arrojado al espacio. Crédito: STEREO, NASA.



Un esquema de la evolución del Sol desde su nacimiento a partir de una nube de gas y polvo, hasta las fases de nebulosa planetaria y enana blanca. En la escala horizontal se indica la edad en miles de millones de años.

reacciones nucleares se habrán detenido. La gravedad comienza a ganar la batalla y vence la presión de la radiación que ejercía el núcleo, de modo que las capas más internas que rodean a éste se comienzan a calentar, el núcleo se comprime y se produce un reinicio de las reacciones nucleares en la capa de hidrógeno que lo rodea. Como efecto de este calentamiento, las capas más exteriores del Sol se expandirán y se enfriarán y el Sol comenzará una fase llamada gigante roja, es decir, aumentará su tamaño y disminuirá su temperatura con un efecto neto de un aumento de luminosidad en un factor alrededor de 1000. La compresión del núcleo hará que el plasma se “apelmace” de tal forma que deja de comportarse como un gas normal; el núcleo es ahora increíblemente denso y su tamaño es 1/3 del inicial. En un punto de esa compresión, cuando la temperatura del núcleo es de unos 100 millones de grados, se produce en un intervalo de tiempo muy corto el flash de helio, y se forma un núcleo de carbono y oxígeno que no vuelve a sufrir combustión nuclear. Las reacciones nucleares pasan a suceder en las capas de helio e hidrógeno que como una envoltura de cebolla rodean al núcleo inerte. La estrella se vuelve inestable y el estado final después de una serie de pulsos térmicos es que poco a poco va perdiendo las capas exteriores quedando al descubierto el núcleo desnudo: a ese núcleo se conoce con el nombre de enana blanca y la envoltura, que se dispersa en el espacio, recibe el impropio nombre de nebulosa planetaria; esta denominación procede de William Herschel, quien en el siglo XVIII identificó varios de estos objetos

que se asemejaban a la apariencia de los discos de los planetas gaseosos cuando se los observaba con los telescopios de la época. Ciertamente son nebulosas pero nada tienen que ver con planetas. Nuestro Sol perderá alrededor del 40% de su masa en este proceso.

Las enanas blancas son estrellas exóticas. Una enana blanca de 0,5 masas solares tiene un radio de 1,9 veces el de la Tierra. Las densidades típicas de las enanas blancas pueden ser del orden de 1000 kilogramos por centímetro cúbico, es decir, que si fuéramos capaces de coger una cucharada de material de una enana blanca y colocarla en el platillo de una balanza, en el otro platillo deberíamos colocar ... ¡un hipopótamo! para equilibrarla. Las enanas blancas no producen más reacciones nucleares y se apagan muy lentamente. Su superficie es tan pequeña que son ineficientes radiando su energía hasta convertirse en un cuerpo frío e inerte. Para ello deben transcurrir decenas de miles de millones de años. Puesto que el Universo “solo” tiene 13.700 millones de años, es aún demasiado joven para que incluso las enanas blancas más viejas se hayan enfriado completamente.

Hemos comentado que el gas expulsado al espacio está enriquecido con elementos químicos y moléculas... En algún momento al mezclarse con el hidrógeno del gas interestelar en nubes densas podrá colapsar y formar otra estrella como el Sol, y por qué no, planetas donde la vida sea posible. El ciclo de la vida estelar continúa...



Educación científica e investigación astronómica para estudiantes europeos

Juan Ángel Vaquerizo

El proyecto

El proyecto CESAR (*Cooperation through Education in Science and Astronomy Research*, cooperación a través de la educación científica y la investigación astronómica) es un proyecto de colaboración entre la Agencia Europea del Espacio (ESA), el Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) y la empresa pública Ingeniería de Sistemas para la Defensa de España (Isdefe). Su objetivo principal es educativo: proporcionar a los estudiantes de toda Europa experiencia práctica en investigación astronómica, en particular en los campos de las ciencias del espacio y la astrofísica. Pero también tiene un objetivo científico, permitiendo la realización de investigaciones científicas adaptadas a la calidad del cielo y a las prestaciones de la instrumentación disponible. Contará para ello con un radiotelescopio, dos telescopios ópticos y otros dos para observación solar.

Con objeto de atender a los objetivos propuestos, las infraestructuras que las instituciones participantes ponen a disposición del proyecto son:

Radioastronomía. El INTA pone a disposición del proyecto su antena VIL-1 situada en ESAC

(*European Space Astronomy Centre*, Centro Europeo de Astronomía Espacial) en Villanueva de la Cañada (Madrid) y perteneciente a la red ESTRACK, de 15m de diámetro y equipada para operar como radiotelescopio en banda S.

Astronomía óptica. Dos telescopios. El primero reflector de 50cm, proporcionado por el INTA y situado en la Estación de Seguimiento de Satélites de Espacio Profundo de la ESA en Cebreros (Ávila). Y el segundo, reflector de 30cm, proporcionado por Isdefe y situado en el Centro de Entrenamiento y Visitantes del Complejo de Comunicaciones con el Espacio Profundo de NASA en Robledo de Chavela (Madrid).

Astronomía solar: Cuatro telescopios, que proporciona Isdefe. Se trata de dos telescopios de 9cm para observación solar en H-alfa, en montura solidaria con dos telescopios reflectores de 10cm con filtro solar para observación simultánea en luz blanca.

Centro de Control Remoto. Situado en ESAC, coordina el control y las operaciones de todos los telescopios. Sirve de nodo de la red común de comunicaciones y será el centro de comunicaciones con usuarios.



Panel de webcams con todos los telescopios. Crédito: CESAR.



Centro de Control Remoto de CESAR en ESAC. Crédito: CESAR.



Radiotelescopio de CESAR. Crédito: CESAR.

La red astronómica

Radiotelescopio

Se trata de una antena de tipo Cassegrain de 15m de diámetro y con un receptor en banda S (correspondiente a una frecuencia comprendida entre 2 y 4 GHz). La anchura del haz a media potencia (HPBW) es de 36', un poco mayor que el tamaño angular de la Luna (30,5').

Aunque la antena dispone de un sistema de *autotrack* para el seguimiento de satélites, para realizar las observaciones de objetos celestes se usa el método de tránsitos, esto es, se mide el nivel de potencia total (integrado en la banda S) mientras la fuente se desplaza sobre la posición hacia la que apunta la antena. Para ello se utiliza un medidor de potencia (*Power Meter*) conectado a uno de los cuatro canales de bajada disponibles. Durante las pruebas de sensibilidad realizadas se alcanza una precisión de apuntado de $\pm 0,05^\circ$.

Telescopios ópticos

El Proyecto CESAR cuenta con dos telescopios ópticos. Ambos están emplazados en estaciones de seguimiento de satélites que están situadas en zonas escasamente habitadas. Estos lugares son muy adecuados para colocar telescopios remotos y robóticos ya que, por una parte, reúnen las condiciones de calidad de cielo necesarias para la observación astronómica, y, por otra, se trata de recintos acotados y dotados de medidas de seguridad y de atención humana, en caso de contingencia.

Telescopio de Cebreros

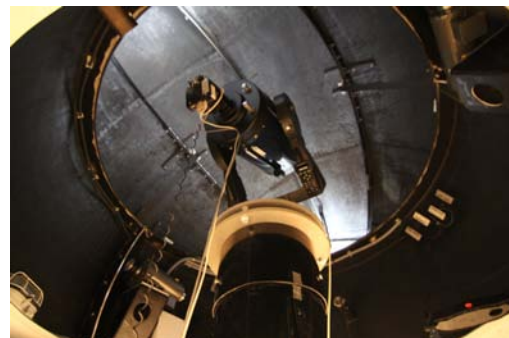
El telescopio está situado en la Estación de Seguimiento de Satélites de Espacio Profundo que la ESA tiene a unos 10km de la localidad de Cebreros (Ávila). Fabricado por Optical Mechanics, tiene una configuración Cassegrain clásica con una apertura de 50cm, focal F/10 y montura ecuatorial. El apuntado es mejor que 0,5" y el error en el seguimiento es menor de 0,3". El sistema también permite utilizar seguimientos no sidéreos. El telescopio se encuentra dentro de una cúpula hemisférica rotante automática que permite una ventana de observación de 0° a 90° .

Telescopio óptico de Cebreros. Crédito: CESAR.





Telescopio óptico de Robledo. Crédito: CESAR.



El telescopio está equipado con una cámara Finger Lakes dotada de un detector CCD refrigerado termoeléctricamente de 4008x2672 píxeles (9 μm de tamaño de píxel) que cubre un campo de 24'x16' con una proyección de 0,37" por píxel.

El detector está optimizado para tener una alta velocidad de lectura (12MHz–16 bit) y el obturador es capaz de obtener exposiciones de hasta 0,05s. Se dispone asimismo de una rueda de filtros para el telescopio con el juego de fotometría Johnson UBVRI, filtros nebulares ([OIII], HR, HS) y los filtros rojo, verde y azul para tricomía.

Telescopio de Robledo

El telescopio está situado en el Centro de Entrenamiento y Visitantes del Complejo Espacial de Comunicaciones con el Espacio Profundo de la NASA en Robledo de Chavela (Madrid). Se trata de un telescopio MEADE LX200 de 12" de apertura (30,48cm) con configuración Matsukov-Cassegrain, focal F/10 y montura ecuatorial. Se encuentra en una cúpula de tipo *clamshell* de apertura total.

El telescopio está equipado con una cámara SBIG ST-9XE dotada de un detector CCD refrigerado termoeléctricamente de 512x512 píxeles (20 μm

de tamaño de píxel). También se dispone de una rueda de filtros SBIG CFW-9.

Telescopios solares

El proyecto dispone de dos telescopios idénticos, uno de ellos situado en una cúpula en ESAC y el otro está preparado en un trípode portátil.

Cada telescopio dispone de una montura MEADE EXOS-2 GOTO que permite colocar en ella dos tubos ópticos:

- Un telescopio Coronado Solarmax II 90, que observa en H-alfa, con una apertura de 90mm, una distancia focal de 800mm y un ancho de banda $<0,7\text{\AA}$.
- Un telescopio refractor acromático Bresser AR-102, dotado de un filtro para luz visible (white-light), con una apertura de 102mm, una distancia focal de 1000mm y una relación focal F/9,8.

Los telescopios están equipados con cámaras Canon EOS 550D, dotadas de un sensor CCD de 22,3x14,9mm CMOS, y un tamaño de 5184x3456 píxeles.



Telescopio solar de ESAC. Crédito: CESAR.



Control

Existen tres modos de funcionamiento de los telescopios:

- Local, a través de la consola de control anexa, e interactivo. Es el modo utilizado para labores de mantenimiento "presenciales".
- Remoto, a través de un programa de acceso y control, también interactivo. Es el modo utilizado para labores de mantenimiento remotas y, en algunos casos, para la realización de observaciones remotas con usuarios.
- Robótico, a través de un programa de tareas por colas, secuencial, automático y no interactivo. Es el modo utilizado en las observaciones programadas de usuarios.

Operaciones

Las operaciones de CESAR están soportadas por una infraestructura de comunicaciones. Las operaciones remotas interactivas de ambos telescopios se llevan a cabo de una forma semejante: el control local de los equipos se lleva a cabo mediante una consola virtual desde el Centro de Control Remoto (CCR). La comunicación con los usuarios remotos se realiza mediante un servidor Web que actúa de *front-end*. Dicha comunicación cuenta con un canal de control/flujo de datos (movimientos de los telescopios y toma de datos de

la instrumentación) y con un canal de comunicación con el astrónomo de soporte en el CCR (mediante Skype u otro sistema de videoconferencia similar).

El enfoque educativo

Dada la naturaleza educativa del proyecto, CESAR está dirigido a estudiantes desde Educación Secundaria hasta universitarios. En la actualidad se trabaja en el diseño definitivo del programa educativo, para lo que se cuenta con la experiencia adquirida en el proyecto educativo PARTNeR de radioastronomía con estudiantes españoles. A grandes rasgos, las líneas maestras del proyecto contemplan:

- Observaciones astronómicas remotas dentro de programas científicos adaptados a las características de la instrumentación y los usuarios participantes (programas científicos principales u otros programas propuestos por usuarios, evaluados y aceptados por el comité científico).
- Gestión y explotación del archivo histórico de datos.
- Recursos didácticos para la implementación del proyecto en el aula a distintos niveles.
- Desarrollo de proyectos relacionados con el diseño y explotación de instrumentación astronómica.

Infraestructura de comunicaciones de CESAR. Crédito: CESAR.



Telescopio solar portátil en el Centro de Control de CESAR.

Crédito: CESAR.

Programas científicos

Radioastronomía

Los programas científicos planteados cuentan con la limitación de la sensibilidad del radiotelescopio en la banda de trabajo. Se estima que el equipo disponible permitiría la realización de los siguientes programas científicos:

Astronomía óptica

Los programas científicos planteados cuentan con la limitación de la calidad del cielo y de la apertura disponible, pero son variados y de gran interés, incluyendo:

- Búsqueda y seguimiento de exoplanetas.
- Búsqueda de supernovas en galaxias próximas y curvas de luz.
- Seguimiento fotométrico de núcleos activos galácticos (AGN, *Active Galactic Nuclei*) y cuásares.
- Seguimiento de estallidos de rayos gamma (GRB, *Gamma Ray Burst*).
- Fotometría multibanda estelar.
- Astrometría de cometas y asteroides en luz blanca. Fotometría de apertura en banda ancha de cometas.
- Confirmación de NEOs (*Near Earth Object*).

Otros programas

Además de los proyectos principales, una fracción del tiempo está disponible para otros proyectos de interés científico, que el comité científico se encarga de valorar.



Finalmente, la configuración de los telescopios permite cambiar el programa de observación para estudiar objetivos de oportunidad como novas, supernovas y estallidos de rayos gamma.

Conclusiones

CESAR representa un interesante y atractivo proyecto para los estudiantes por los siguientes motivos:

- Es una forma de despertar vocaciones científicas mediante el uso de potentes instrumentos científicos.
- Los estudiantes se ven envueltos en la realización de proyectos científicos reales, aumentando su motivación.
- Los estudiantes participantes experimentan de primera mano cómo actúan los astrónomos profesionales durante la realización de las observaciones remotas.
- Los estudiantes obtienen datos científicamente válidos, en un papel activo que les hace darse cuenta de que la ciencia es un proceso complejo y sujeto a continua revisión.
- La base de datos de CESAR, de acceso público a través de Internet, permitirá, por un lado, el acceso a los datos por parte de la comunidad científica y, por otra, aumentará la motivación de los estudiantes que han realizado las observaciones, al ver sus nombres y el de su centro educativo asociados a los datos.

<http://cesar-programme.cab.inta-csic.es>



XI Encuentros ApEA

A Coruña 2015

Antonio Arribas

Vuelve a llegar el momento para unos nuevos Encuentros de todos los que disfrutamos con la enseñanza y la divulgación de la Astronomía. Esta vez son ya los XI (11os), 20 años después de los ya lejanos (nada menos que en 1995, en septiembre) primeros de Cáceres organizados por el inolvidable Javier Marijuán en su instituto que había sido universidad laboral, apenas un año después de la creación de la Asociación para la Enseñanza de la Astronomía (ApEA).

Tras unos años de auténtica explosión y entusiasmo, la caída en el olvido de la optativa de Astronomía en casi todas las regiones y la erosión natural (el tiempo no perdona a nadie) ha reducido también el número de asistentes a estos Encuentros. En consecuencia, y por primera vez, hemos limitado las jornadas de trabajo a solo dos días esperando acomodarnos mejor así a la situación, evitando por ejemplo la celebración de talleres con muy poca asistencia. La estructura sigue siendo la consolidada a lo largo de estos tiempos: mañanas repartidas entre talleres y comunicaciones, con la imprescindible pausa del café como punto de encuentro, charla e intercambio de ideas. Y por las tardes algo de ocio y turismo y unas sesiones de planetario entre el trabajo y el puro disfrute. Nuestra asamblea general y las conferencias inicial y final completan el cuadro general de esta edición

Este año nos acoge por primera vez Galicia. Tras haber pasado por buena parte de la geografía española nos vamos ahora al extremo noroccidental de la península, a los confines brumosos del continente, tierra de raigambre celta, de costas magníficas labradas por temporales incansables, tierra de marisco, de xaudade y de preguntas como respuesta a otras preguntas. Y nos acoge con cariño y con dedicación. Queremos agradecer

el esfuerzo y la generosidad mostrados con nosotros tanto por la Fundación Barrié, donde tendrán lugar prácticamente todos los trabajos, como por la Casa de las Ciencias. Ambas instituciones han hecho posible la celebración de estos Encuentros. Y gracias, por supuesto, a todos los autores que presentáis talleres, comunicaciones o algo para el zoco. Vosotros sois los verdaderos protagonistas de cada edición, los que llenáis de contenido estos primeros días de julio.

Llega el momento de encontrarnos y disfrutar con lo que nos cuentan los compañeros, con sus últimos atrevidos disparates o con sus hallazgos, pequeños y grandes. Porque constantemente estamos vislumbrando alguna nueva posibilidad, investigándola, desarrollándola y ahora llega el momento de presentársela a los amigos y a los que se incorporan por primera vez a nuestro mercadillo, a los que damos desde aquí la más cordial bienvenida. Los Encuentros con un estímulo para terminar los trabajos y darles un poco de forma; impulso para seguir inventando cacharros, dibujos, prácticas o ejercicios; para volver a empezar con los cuentos de las estrellas. Y por supuesto la alegría del reencuentro.

Siempre que se organiza una reunión de estas características, aunque sea de moderado volumen, ocurren múltiples incidencias y surgen un buen número de pequeñas dificultades frente a las que los organizadores tenemos que actuar tomando decisiones, que no siempre habrán sido acertadas: han podido aparecer informaciones confusas, se ha podido dar algún malentendido, algunas respuestas han tardado demasiado, de repente se pedía algo urgentemente, alguien se ha podido sentir molesto. Errare humanum est. Confiamos en vuestra comprensión y en que todo salga lo mejor posible.

Comité organizador: José María Lamas, Agustín Laviña, Juan Carlos Rodríguez, Eva Dominique, Juan Ángel Vaquerizo, Ricardo Moreno y Antonio Arribas.



Ayuntamiento de A Coruña
Concello da Coruña



educa
Barrié

Fundación Barrié