Revista de Ciencias

UVa

Cometa Lovejoy, enero 2015

Fotografía de J. Carbajo, Grupo Universitario de Astronomía, UVa

Facultad de Ciencias

Universidad de Valladolid

UVa

FacultaddeCiencias

Universidad de Valladolid

Número 5. Enero, 2015

Revista de Ciencias

Índice de artículos

	Página
Editorial	3
Capas electrónicas en nanopartículas por José María Pizarro	4
En el principio era Yahvé: la única ecuación disponible por José Antonio Menéndez	11
Observación sistemática del Sol en luz blanca por Sergio Retuerto y Daniel Revilla	19
De antigua iglesia a aula de astronomía: San Pedro cultural, un edificio a cielo abierto por Oscar Diez y Carlos del Olmo	30
Encuentro con pensadores: a propósito de Protágoras por Fernando Muñoz-Box	38
Cosmonoticias por Juan Carbajo	40
Contraportada	44

http://www.cie.uva.es/revista_ciencias

ISSN: 2255-5943

Número 5. Enero, 2015

Editorial

La fotografía de portada del número 5 de la Revista de Ciencias, en la que aparece el cometa Lovejoy, ha sido tomada este mismo mes de enero de 2015 en que sale este número para estrenar el nuevo año; un año que será muy pródigo en acontecimientos astronómicos. Concretamente el análisis de las efemérides de este cometa, así como otras noticias relacionadas están desarrolladas en el apartado de *Cosmonoticias*.

Por lo que respecta a contenidos científicos académicos, el artículo *Capas electrónicas en nanopartículas* es una excelente breve exposición que procede de la presentación de un TFG en el Grado en Física y cuyo contenido ha sido adaptado, por el autor, para hacerlo más asequible al foro más general de lectores de la revista; se cumple así el objetivo de hacer de esta revista una vía de presentación de las actividades de investigación de las áreas de conocimiento de nuestra Facultad: una magnífica oportunidad para que los alumnos de Ciencias se introduzcan en el mundo de la nanociencia.

El ámbito de la estadística se encuentra presente en el artículo *En el principio era Yahvé: la única ecuación disponible* donde se presentan de forma amena algunas matizaciones y reflexiones relativas al correcto tratamiento de los datos.

Por otra parte, el artículo *Observación sistemática del Sol en luz blanca*, contribución de algunos alumnos del Grado en Física presenta de forma didáctica algunas técnicas de observación solar y unos resultados en que se apoyan para determinar la velocidad de rotación del sol.

En este número estrenamos una sección que hemos titulado: *Encuentro con pensadores* que hemos iniciado con Protágoras. Esperamos seguir desarrollando este apartado con otros científicos para resaltar aspectos biográficos o anécdotas de su vida profesional que sean menos conocidas.

Finalmente destacar el artículo *De antigua iglesia a aula de astronomía: San Pedro cultural, un edificio a cielo abierto*. Se trata de un proyecto impresionante que ha sido ya culminado en una pequeña localidad palentina con una actividad cultural muy relevante. En este proyecto se ha transformado una antigua iglesia renacentista del siglo XVI, con vestigios anteriores del siglo XII, que se encontraba en la práctica ruina, en una reconstrucción que mantiene sus arcos y elementos arquitectónicos originales combinados con elementos de didáctica de la astronomía. En el artículo se explican algunos de estos recursos pero las fotografías ya muestran la magnitud del resultado. La visita *in situ* será aún más sorprendente

Abel Calle
Editor de la Revista de Ciencias
Universidad de Valladolid

Envía tus contribuciones a:

Editor de la Revista de Ciencias
Dpto. de Física Aplicada
Facultad de Ciencias. Paseo de Belén, 7, 47011-Valladolid
email: abel.calle@fa1.uva.es

Revista de Ciencias, 5, 3, enero 2015
ISSN: 2255-5943

Capas electrónicas en nanopartículas

José María Pizarro
Dpto. de Física Teórica, Atómica y Óptica. Universidad de Valladolid

La aparición de una estructura de capas en las nanopartículas metálicas es uno de los trabajos pioneros en el área investigadora de la Nanociencia y se debe al trabajo experimental de los científicos W. Knight y colaboradores. Como iniciación en el área, es una buena idea hacer un pequeño resumen de este tema y entender uno de los conceptos más básicos de las nanopartículas y qué es la estructura de capas y la presencia de los números mágicos de átomos.

Introducción

Desde la década de los años 80, la Nanociencia ha sido una rama de la Ciencia en auge, con numerosas aplicaciones en diversas industrias, como la automovilística, farmacéutica o militar, por nombrar unas pocas. Fue gracias al trabajo pionero de *Knight et al.* en 1984 (con la fabricación de nanopartículas metálicas y la evidencia de una estructura de niveles discretos en las mismas) y *Kroto et al.* en 1985 (en la fabricación y en el estudio del fullereno C_{60}) por el cual la Nanociencia empezó a tomar importancia en el ámbito investigador y, más tarde, en el ámbito industrial.

Así pues, merece la pena hacer una revisión del experimento que realizaron en 1984 W. Knight y colaboradores sobre las nanopartículas de metales alcalinos [1]. Para ello, veremos si las teorías de sistemas multielectrónicos nos permiten explicar los resultados del experimento y, gracias a los cálculos computacionales, comentaremos si aparece o no esta estructura de capas.

No conviene perder de vista que este artículo es una revisión muy breve de un tema mucho más amplio y que se va a centrar sobre todo en los cálculos de la simulación y en ver si se reproducen o no los resultados experimentales. Para más información sobre la fabricación experimental de nanopartículas y la base teórica de los cálculos se pueden buscar las referencias bibliográficas que cito [2][3].

Revista de Ciencias, 5, 4-10, enero 2015
ISSN: 2255-5943

Experimento de Knight *et al.,* (1984)

Antes de comenzar a explicar el experimento de *Knight et al.* conviene decir qué es una nanopartícula. Una nanopartícula es una agrupación de átomos, de tamaño nanométrico (1 nm=10-9 m), en el intervalo entre las moléculas y los sólidos macroscópicos, por lo que el rango de a qué llamamos una nanopartícula va desde una agrupación de 2 ó 3 átomos hasta decenas de miles de ellos. A la pregunta ¿qué diferencia una nanopartícula de un sólido macroscópico?, tenemos que responder diciendo que se diferencian siempre y cuando los átomos de la superficie del sistema en cuestión jueguen (nanopartícula) o no (sólido macroscópico) un papel importante en las distintas propiedades del mismo.

Por ejemplo, veremos en este caso que las nanopartículas no presentan las características bandas de energía (niveles continuos de energía) de los sólidos, si no que tienen una estructura de capas (niveles discretos de energía) similar a los átomos aislados o núcleos. Así pues, también podremos definir las nanopartículas como un sistema microscópico en el que el paso al sistema macroscópico se puede observar (entre otras propiedades a elegir) cuando las capas de energía pasan a ser bandas de energía.

Una vez definido lo que es una nanopartícula y lo que la diferencia de otros sistemas atómicos, vamos a ver en qué consiste el experimento que realizaron *Knight et al.* en 1984 sobre nanopartículas de metales alcalinos no mayores de unos cientos de átomos. Un esquema sencillo del mismo se puede ver en la Fig. 1. En este experimento, *Knight et al.* fabricaron las nanopartículas metálicas mediante el proceso

conocido como "expansión supersónica en una tobera" y que consiste en lo siguiente: se vaporiza una pieza de un metal alcalino (en este caso, sodio). El vapor del alcalino se empuja con un gas noble (que ejerce el papel de baño termostático) a una alta presión y se hace pasar por una tobera, en la cual el vapor sufre una expansión supersónica (es decir, los átomos alcalinos del vapor empiezan a colisionar en una zona pequeña y se van agrupando en nanopartículas de distintos tamaños). Estas nanopartículas, al colisionar, se calientan y tienden a evaporar átomos. Una vez que termina la expansión supersónica domina la evaporación hasta que se van enfriando las nanopartículas, creándose de tamaños entre 2 y 100 átomos mediante un proceso estadístico.

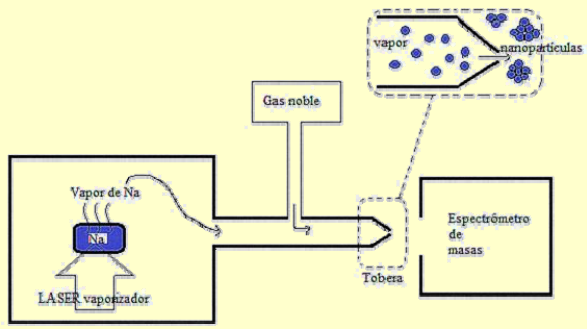


Fig. 1. Experimento realizado por Knight et al. en 1984. Gracias al espectrómetro de masas se puede medir la abundancia de las nanopartículas con distinto número de átomos en las mismas y realizar el espectro de abundancias.

Se descubrió que las nanopartículas con menor tasa de evaporación (que corresponde a una energía de enlace entre los átomos mayor) son las más abundantes. Dichas nanopartículas seguían un patrón, con máximos en abundancia para unos números determinados de átomos (llamados números "mágicos") en la nanopartícula (N=8, 20, 40,…). También se descubrió que la abundancia relativa para cada número de átomos en la nanopartícula dependía de la presión del gas noble (a más presión, las nanopartículas con mayor N se hacen más abundantes). Todo esto puede verse en la Fig. 2.

Estas nanopartículas mágicas, las cuales son las más abundantes, son también las más estables, por lo que presentan el potencial de ionización IP (que es la energía mínima para arrancar un electrón de la nanopartícula) más alto, tal y como se ve en la Fig. 3 para las nanopartículas de Potasio. Los picos en el espectro de abundancias y en el potencial de ionización para los números mágicos nos hacen pensar en que existe una estructura de niveles discretos de energía en estas nanopartículas, correspondiéndose estos números mágicos a capas completas de electrones en las mismas, de forma similar a como sucede en átomos.

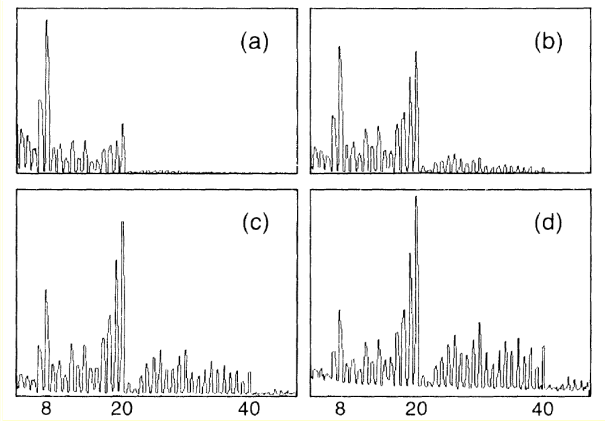


Fig. 2. Espectros de abundancia de abundancias de nanopartículas de Sodio a distintas presiones del gas noble Argón. Tomado de la referencia [1].

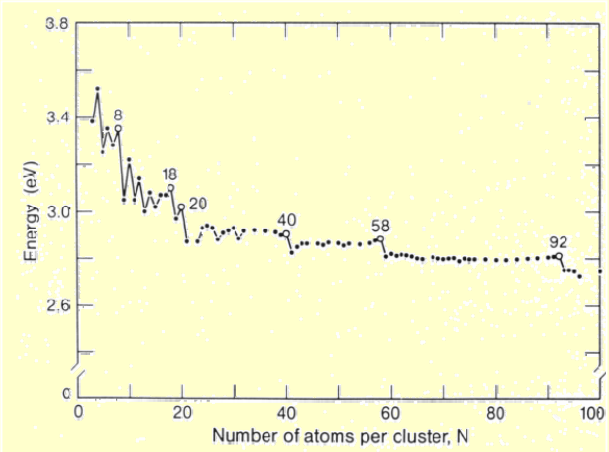


Fig. 3. Potenciales de ionización experimentales para las nanopartículas de Potasio. Tomado de la referencia [2].

Una vez entendido el experimento, vamos a ver si somos capaces de predecir esta estructura mediante unos cálculos computacionales basados en la Teoría del Funcional de la Densidad (DFT) para el tratamiento de los electrones (es decir, el potencial electrónico) y el modelo Jellium esférico para tratar la estructura iónica de estas nanopartículas (es decir, el potencial iónico y la forma de las nanopartículas).

Cuando hablamos de "estructura iónica" nos estamos refiriendo a la estructura que tienen estas nanopartículas, similar a lo que ocurre en sólidos

cuando hablamos de estructuras cúbicas simples, *bcc*, *fcc*, etc.

Una breve descripción de la Teoría del Funcional de la Densidad

Como ya hemos comentado, la base del tratamiento de la parte electrónica de nuestro sistema está fundamentada en la DFT [4]. Esta teoría, parecida a la teoría de Hartree-Fock (HF), nos permite calcular todas las propiedades del sistema sin más que calculando la densidad electrónica en el estado fundamental del mismo (a diferencia de lo que ocurre en HF, la cual se basa en el cálculo de la función de onda total electrónica).

La DFT nos permite conocer los niveles de energía de las nanopartículas (el tratamiento del potencial iónico se hará en el siguiente apartado con el modelo Jellium, como ya hemos indicado) y precisa de dos teoremas de existencia, llamados teoremas de Hohenberg-Kohn. Estos dos teoremas nos aseguran que la energía total del estado fundamental del sistema E_0 se obtiene minimizando un cierto funcional de la densidad electrónica para el propio valor de la densidad electrónica fundamental ρ_0:

$$E_0 = \min\left\{E\left[\rho(\vec{r})\right]\right\}_{\rho_0}$$
$$\rightarrow \left.\frac{\delta E\left[\rho(\vec{r})\right]}{\delta\left[\rho(\vec{r})\right]}\right|_{\rho_0(\vec{r})} = 0$$

Donde E[ρ(r)] es ese funcional de la densidad electrónica. La forma de este funcional se conoce de forma aproximada y se calcula a partir del potencial iónico (como hemos dicho, tratado en el modelo Jellium), el potencial de Hartree (contiene la interacción electrón-electrón) y la energía de intercambio-correlación (contiene la degeneración de intercambio debida al principio de Pauli y un término llamado energía de correlación), todos ellos dependientes de la densidad electrónica.

De forma usual, en la DFT se suele utilizar un modelo de partículas independientes (como en el modelo de Hartree) para definir la densidad electrónica a partir de unas funciones de onda que describen los orbitales de los electrones en el sistema. Así tenemos la densidad como:

$$\rho(\vec{r}) = \sum_{i=1}^{N}\left|u_i(\vec{r})\right|^2$$

donde las u_i son estas funciones orbitales electrónicas y N es el número de electrones de nuestro sistema.

Podremos entonces escribir el funcional a minimizar como:

$$E\left[\rho(\vec{r})\right] = -\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{N}\int\left|\nabla^2 u_i(\vec{r})\right|^2 d^3\vec{r} + \int V_{ion}(\vec{r})\rho(\vec{r})d^3\vec{r} +$$
$$\frac{1}{2}\int\frac{\rho(\vec{r})\rho(\vec{r}\,')}{\left|\vec{r}-\vec{r}\,'\right|}d^3\vec{r}d^3\vec{r}\,' + E_{XC}\left[\rho(\vec{r})\right]$$

donde el primer término del lado derecho de la igualdad es la energía cinética del modelo de partículas no interaccionantes (de ahí que salga un término de energía de correlación en E_{XC} que haga referencia a la parte interaccionante de la energía cinética que no consideramos en este término) y los otros tres términos hacen referencia a los potenciales y energías ya indicados anteriormente.

Pero, ¿cómo se calcula la densidad electrónica del estado fundamental y, a partir de ahí, la energía total y los niveles de energía que buscamos? Pues bien, dependiendo de cómo planteemos el término de intercambio-correlación de manera que se ajuste de forma correcta a nuestro problema concreto y como planteemos las funciones orbitales iniciales podremos resolverlo gracias a unas ecuaciones llamadas las ecuaciones de Kohn-Sham (KS) de la DFT, las cuales se resuelven de forma autoconsistente y que son:

$$\left[-\frac{1}{2}\nabla^2 + V_{ext} + V_H + V_{XC}\right]u_i = \varepsilon_i u_i$$

Donde ε_i son los autovalores que nos dan los valores de energía de los estados electrónicos. Es decir, estos autovalores son los niveles discretos que buscamos.

Y ¿cómo se resuelven las ecuaciones de KS de forma autoconsistente? Pues se hace planteando una densidad electrónica inicial y calculando los diversos potenciales que hemos comentado. Una vez que tenemos estos potenciales y con las ecuaciones de KS, podemos calcular una nueva densidad electrónica a partir de las nuevas funciones orbitales u_i calculadas. Comparando la inicial y la nueva densidad, vemos si difieren mucho o poco y, dependiendo de nuestro criterio (usualmente de una diferencia entre densidades de $\Delta\rho=10^{-6}$ a.u.), habremos calculado nuestra densidad electrónica del estado fundamental o tendremos que repetir el mismo procedimiento pero esta vez con la nueva densidad electrónica. Así vamos calculando densidades de forma iterativa hasta que cumplamos el criterio de convergencia escogido (de forma usual, para unas pocas decenas de átomos en la nanopartícula, se precisan 200 ó 300 iteraciones).

Una vez calculada la densidad electrónica del estado fundamental, obtenemos los autovalores y podemos

calcular la energía total. Sin embargo, queda un problema más aún abierto (aparte del de plantear el potencial iónico): ¿cuál es la forma del término de intercambio-correlación? Dependiendo del problema, vamos a plantear de una forma u otra este término. En concreto, en el estudio de metales se suele aplicar la Aproximación de la Densidad Local (LDA), la cual nos permite tratar la densidad electrónica constante de manera local y así poder considerar que los electrones están confinados en un potencial central que localmente es constante. Esta es la idea utilizada en el modelo del gas de electrones de Thomas-Fermi, cuya explicación más detallada puede verse en la referencia [5].

Gracias a esta aproximación, se puede plantear el término de intercambio-correlación y el término de energía cinética. Otras formas de plantear el término E_{XC} nos llevan a resolver otros problemas presentes en la Física y Química Computacional y en la Fig. 4 puede verse un esquema de los diversos planteamientos que existen de este término.

Fig. 4. Sopa de letras de la DFT. Cada sigla corresponde a una forma de plantear el término de intercambio-correlación y el tamaño nos dice cuántas veces se utilizan los modelos mostrados (a mayor tamaño, más se utiliza el modelo correspondiente).

El modelo Jellium esférico para nanopartículas de unas pocas decenas de átomos

Así pues, gracias a la DFT, hemos sido capaces de plantear el problema a partir de una densidad electrónica y unos potenciales que dependen de la misma. Sin embargo, aún queda por fijar el potencial iónico V_{ion} . Como ya indiqué, llegados a este punto aplicamos lo que se conoce como modelo Jellium (o "gelatina") [6] y, en concreto, utilizaremos la forma más sencilla del mismo ya que supondremos que las nanopartículas tienen una simetría esférica.
Por tanto, vamos a considerar una nanopartícula de radio R. La base del modelo Jellium esférico es sustituir el core (es decir, núcleo y electrones internos) de los átomos que forman la nanopartícula por una densidad de carga positiva y uniformemente distribuida en una esfera de radio R (ignorando la estructura interna de los átomos) y suponer que los electrones de valencia permanecen deslocalizados por el volumen esférico de la nanopartícula. Tendremos la densidad iónica como:

$$n_+(\vec{r}) \equiv n_+(r) = n_0\Theta(r-R)$$
$$\rightarrow n_+(r) = \begin{cases} n_0 = cte & si\, r \le R \\ 0 & si\, r > R \end{cases}$$

donde Θ(r-R) es la función escalón.

En resumen, se supone la nanopartícula como si de una densidad de carga positiva se tratase (amén de los electrones de valencia), en donde esta densidad es un promedio de las cargas de los cores. Así pues, estamos olvidándonos de la estructura iónica por completo y aún así los cálculos saldrán cualitativamente correctos. Cierto, pero esto se sustenta con que al expandirse supersónicamente y antes de empezar a enfriarse las nanopartículas están muy calientes, por lo que los átomos de las mismas están en constante movimiento dentro de ellas, sin estar quietos en una posición fija y, por tanto, sin formar una estructura bien definida. Por tanto, la validez de este modelo Jellium esférico queda probada en el caso del experimento de *Knight et al.*

Prosiguiendo con nuestro desarrollo, gracias a esta simetría tendremos que el potencial efectivo (la suma de los tres potenciales ya vistos) al que están sometidos los electrones de valencia tiene simetría esférica, el cual puede verse en la Fig. 5. Por tanto, como se sabe de Mecánica Cuántica, los electrones inmersos en un potencial con simetría esférica vienen determinados por una serie de números cuánticos: el número cuántico radial (no confundir con el número cuántico total presente en átomos) n_r y el número cuántico orbital l.

Vemos que las capas electrónicas se forman siguiendo la notación usual de $n_r l$ donde n_r=1, 2, … y l= 0 (s), 1 (p), 2 (d), … Ahora bien, no existe esa degeneración accidental presente en átomos aislados ya que el potencial en este caso no es coulombiano (no hay por qué definir el número cuántico total), el potencial es más bien un caso intermedio entre un pozo de potencial cuadrado y un oscilador armónico [6], similar a lo que ocurre en Física Nuclear, lo que se puede ver en la Fig. 6.

Como analogía adicional, igual que en Física Nuclear, también existe lo que se conoce como modelo Jellium "deformado", el cual nos daría las formas deformadas prolate (alargada) y oblate (aplanada)

para las nanopartículas y que nos permite mejorar nuestros cálculos para nanopartículas con electrones fuera de capas completas.

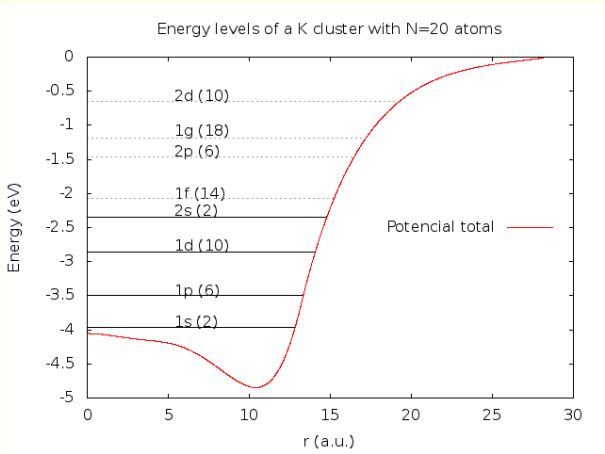


Fig. 5. Potencial efectivo (llamado "Potencial total") de una nanopartícula neutra de Potasio de 20 átomos. Los niveles dibujados con línea continua están ocupados de electrones de acuerdo a la degeneración (número entre paréntesis) de los niveles de 2(2l+1) y los niveles discontinuos son niveles vacíos de electrones. Representación hecha gracias a los cálculos computacionales.

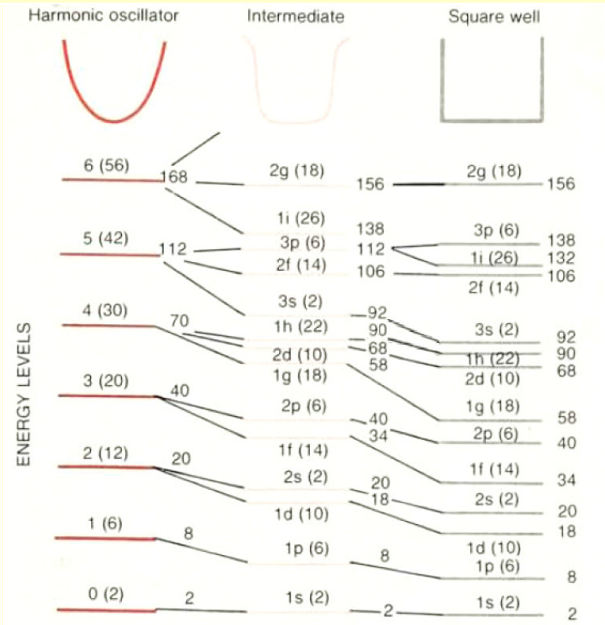


Fig. 6. Comparación entre los potenciales de oscilador armónico y de pozo cuadrado, donde el caso intermedio corresponde al potencial efectivo que se utiliza en este cálculo, como puede verse en la Fig. 4. Tomado de la referencia [7].

Como broche final, el modelo Jellium esférico nos permite caracterizar los diversos alcalinos mediante un único parámetro conocido como el radio de Wigner-Seitz electrónico r_s, el cual se define como el radio de una esfera que corresponde a dividir el volumen total de la nanopartícula entre el número de electrones del mismo, lo que lleva a: $R=r_sN^{1/3}$

En el caso de metales monovalentes, este radio electrónico coincide con el radio de Wigner-Seitz de Física del Estado Sólido, lo que simplifica mucho el problema.

Metal	R_s[a.u.]
Li	3.27
Na	3.99
K	4.86
Rb	5.32
Cs	5.70

Tabla 1. Valores del valor del radio de Wigner-Seitz electrónico (que coincide con el usual de Sólidos) en unidades atómicas para los distintos alcalinos. Tomado del libro de la referencia [8].

Con todo esto, podemos aplicar el programa de simulación y ver si reproduce o no esta estructura de capas electrónicas que, después de tantas aproximaciones, buscamos. Para ello, calcularemos el potencial de ionización en función del número de átomos (o electrones, ya que coinciden para metales monovalentes y en el caso de una nanopartícula neutra) en la nanopartícula y veremos si salen esos máximos asociados a las capas completas de electrones.

$$IP(N) = E_0(N^+) - E_0(N)$$

Donde IP(N) es el potencial de ionización de una nanopartícula con N átomos, $E_0(N^+)$ es la energía total del estado fundamental de la nanopartícula con N átomos y (N-1) electrones de valencia y $E_0(N)$ es la energía total del estado fundamental de la nanopartícula neutra.

Tomando el Potasio como ejemplo, podemos ver las dos figuras (Fig.7 y Fig. 8) que nos dan la certidumbre de que existe una estructura de capas electrónicas en las nanopartículas de metales alcalinos. Este cálculo puede repetirse para cualquiera de los alcalinos citados en la Tabla 1.

Como vemos, están presentes estos picos buscados, aunque los valores obtenidos exceden el valor experimental esperado. Esto se debe a dos pequeños fallos que tiene el modelo Jellium esférico (en concreto, el problema está en la simetría considerada, lo que se mejoraría con el modelo Jellium deformado) y la LDA. El fallo en la LDA está en que hemos olvidado por completo el spin de los electrones, por lo que existirá un problema de cálculo de la densidad electrónica. Este fallo será

mayor si la nanopartícula tiene un número impar de electrones (en nuestros cálculos, el electrón que queda "desapareado" contribuye a la energía como si estuviese la mitad con spin up y la otra mitad con spin down). Para resolver este problema, se puede plantear la densidad electrónica como función de las variables de spin, con lo que entramos en la LSDA (LDA con spin).

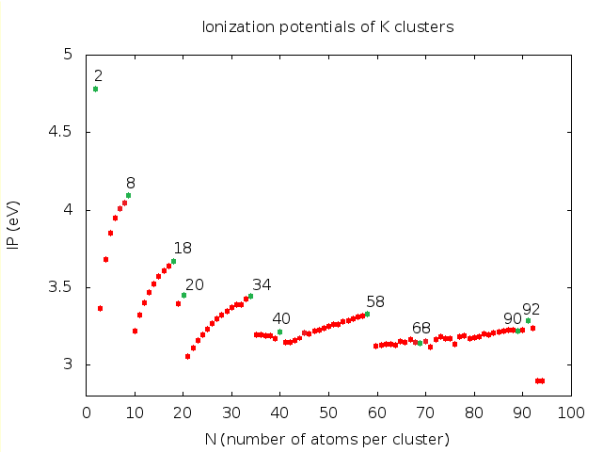


Fig. 7. Valores del potencial de ionización para las nanopartículas de potasio. Se puede comparar con el valor experimental de la Fig. 3 y ver que excede el valor esperado. Representación hecha gracias a los cálculos computacionales.

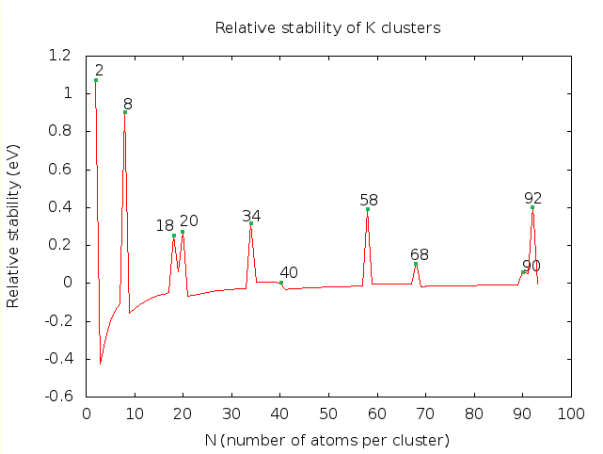


Fig. 8. Valores de la estabilidad relativa para las nanopartículas de potasio. En esta figura pueden verse mejor la aparición de los números mágicos y su relación con la estabilidad de la nanopartícula en concreto. Representación hecha gracias a los cálculos computacionales.

Para resaltar mejor la importancia de los números mágicos y su significado, se puede representar lo que se conoce como estabilidad relativa $\Delta_2(N)$ en función del número de átomos. Esta magnitud nos dice como de estable es una nanopartícula con respecto al promedio de las que tiene un átomo menos y un átomo más.

$$\Delta_2(N) = E_0(N+1) + E_0(N-1) - 2E_0(N)$$

Los picos en esta magnitud nos darán las nanopartículas más estables y, por tanto, deberán coincidir con los picos observados en los potenciales de ionización.

A pesar de que en ambas figuras aparecen todos los números mágicos marcados, hay ciertos picos que casi no aparecen en la Fig. 7, aunque teóricamente deberían hacerlo (como son N=68, 69). La no aparición de estos picos tiene su justificación en que el gap entre los niveles 2d y 1h, así como el gap entre 1h y 3s, es pequeño. Así pues, solo podremos apreciar bien los picos en donde el gap entre niveles es lo suficientemente grande.

Resumen y conclusiones

Como ya indiqué al principio del artículo, buscábamos una estructura de niveles discretos en estas nanopartículas y la hemos encontrado gracias a la DFT y al modelo Jellium esférico, al menos de forma cualitativa. Es bastante remarcable como, a pesar de su sencillez, el modelo Jellium nos permite explicar este fenómeno y como su rango de aplicabilidad se extiende hasta nanopartículas más complejas que los alcalinos (que tienen la sencilla propiedad de que son monovalentes), incluso pudiéndose aplicar al caso de heteroclusters (que son nanopartículas compuestas de 2 o más metales) [9][10].

También, este estudio es aplicable al caso de algunos metales de transición [11][12] como la plata, el oro y el cobre (que tantas aplicaciones dan en la Nanociencia, empezando por aplicaciones para combatir las infecciones y acabando en tratamientos contra el cáncer).

Por último, el éxito de estos cálculos hubiese sido imposible si no hubiésemos aplicado los cálculos computacionales, por lo que conviene reconocer el mérito de esta forma de investigación.

Agradecimientos

Antes de nombrar las diferentes referencias bibliográficas me gustaría agradecer a Julio Alfonso Alonso la posibilidad de empezar mi carrera en la

Nanociencia con su ayuda en mi Trabajo Fin de Grado y con sus comentarios sobre este artículo. También me gustaría agradecer a María José López su ayuda con el programa utilizado, así como a Ricardo Díez Muiño por pasarnos el programa inicial. Por último, también agradezco a Abel Calle la idea y la oportunidad de escribir este artículo en la Revista de Ciencias.

Referencias

Aparte de las referencias que a continuación cito, este trabajo se ha realizado en base al Trabajo Fin de Grado presentado por mí en 2014 en Valladolid, por lo que puede consultarse en la base de datos de la Facultad de Ciencias dicho Trabajo.

[1] W.D. Knight & K. Clemenger, W.A. de Heer, W.A. Saunders & M.Y. Chou, M.L. Cohen, *Electronic Shell Structure and Abundances of Sodium Clusters, Phys. Rev. Lett.*, 52, 2141 (1984).

[2] J.A. Alonso, *Structure and Properties of Atomic Nanoclusters*, Imperial College Press (2005).

[3] M.P. Íñiguez & J.A. Alonso, *Propiedades de los microagregados atómicos*, Investigación y Ciencia, 167, 78 (1990).

[4] W. Kohn, *Nobel Lecture Electronic Structure of Matter-Wave Functions and Density Functionals*, *Rev. Mod. Phys.* 71, 1253 (1999).

[5] S. Lundqvist & N. H. March, *Theory of the Inhomogeneous Electron Gas*, Springer Science+Business Media, LLC (1983).

[6] M. Brack, *The physics of simple metal clusters: self-consistent jellium model and semiclassical approaches*, *Rev. Mod. Phys.*, 65, 677 (1993).

[7] M.L. Cohen & W. D. Knight, *The Physics of Metal Clusters, Physics today* 43, 42 (1990).

[8] N. W. Ashcroft & N.D. Mermin, *Solid State Physics,* Harcourt College Publishers (1976).

[9] C. Baladrón, J.A. Alonso & M.P. Íñiguez, *Stability and magic numbers of small K_xMg clusters, J. Phys. F: Met. Phys.* 17 197-200 (1987).

[10] C. Baladrón & J.A. Alonso, *Stability and magic numbers of hetero-atomic clusters of simple metals, Physica B* 154, 73-81 (1988).

[11] I. Katakuse, Y. Ichihara, Y. Fujita, T. Matsuo, T. Sakurai & H. Matsuda, *Mass distributions of negative cluster ions of Copper, Silver and Gold , Int. J. Mass Spectrom. and Ion Processes*, 74, 33-41 (1986).

[12] L.C. Balbás, A. Rubio & J.A. Alonso & G. Borstel, *Theorethical study of the stability of Ag_N^{2+}, Ag_N^{+}, Ag_N, Ag_N^{-} and Na_N^{-} clusters as a function of size using the density functional formalism, Chemical Physics* 120, 239-24 (1988).

[13] Kroto, H., Heath, J., O'Brien, S., Curl, R. and Smalley, R. (1985). *C60: Buckminsterfullerene*. *Nature*, 318(6042), pp.162-163.

En el principio era Yahvé: la única ecuación disponible

José Antonio Menéndez
Departamento de Estadística. Universidad de Valladolid

En el principio era Yahvé: la única ecuación disponible. Aún hoy, muchos así lo creen. Panteístas, politeístas, monoteístas,… Toda cosmología busca una explicación, pero la explicación del universo es complicada porque, entre otras cosas, nuestra capacidad de percepción de la realidad es muy limitada.

Realidad y Representación

Algunas de nuestras limitaciones personales son bien conocidas (las hay que nos negamos a reconocer), aunque muchas de ellas están aún mal explicadas; así la existencia del punto ciego y algunas otras "anomalías" de nuestro sistema visual y otras más complejas de nuestro sistema neurológico, como, por ejemplo, nos describe el premio nobel Francis Crick en su libro de sugerente título "La búsqueda científica del alma" (1994), que dedica principalmente a la consciencia y a la necesidad de internarse en su estudio desde una perspectiva científica, asunto en el que parece ser que se están produciendo avances notables. Nuestro sistema neurológico responde al punto ciego con una especie de interpolación visual maravillosa, casi cosa de magia, pero que puede ser sorteada con experimentos al alcance de cualquiera, de modo que la "anomalía" queda de manifiesto.

Los neurocientíficos disponen de buenos ejemplos de situaciones en las que se presentan "anomalías" muy diversas, no solo visuales, cuya explicación sostenida por diferentes teorías aún no está fuera de duda (ver el simpático test de atención de Chabris y Simons y las explicaciones al respecto).

Un ejemplo de "anomalía" interesante viene de la observación del elegante dibujo del profesor de ciencias de la visión del MIT, Edward Adelson, en el cual representa un suelo de losetas en damero sobre el que una columna circular proyecta su sombra. La "anomalía" consiste en que nuestra percepción dista mucho de lo que la realidad nos presenta: las losetas etiquetadas A y B tienen ¡idéntica luminancia! correspondiendo en la escala RGB al mismo gris (120, 120, 120), cosa que es fácil comprobar con un fotómetro o con un editor de imagen superponiendo una barra gris sobre ambas losetas.

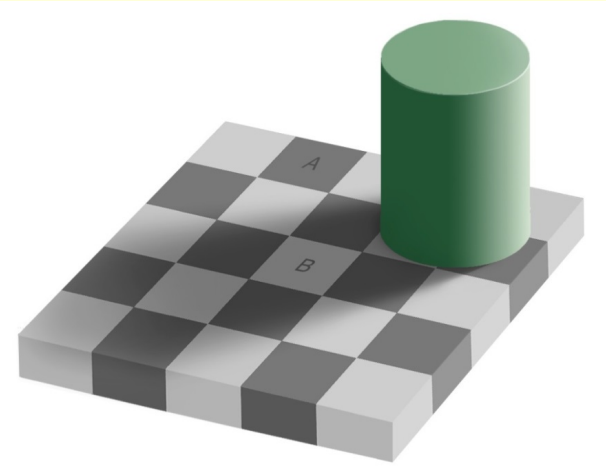


Fig.1. Las losetas A y B tienen idéntica luminancia (Créditos: Edward Adelson)

Quizá lo más indicado sería preguntarse ¿por qué mi cerebro hace esto?, ¿está mi cerebro haciendo lo correcto?, ¿todos respondemos de igual modo? Algunas teorías evolucionistas tratan de responder a preguntas como estas, pero se desconoce cuál es la verdadera respuesta. Aparcadas esas preguntas, lo que todos constatamos como cierto (si bien el que lo seamos todos no lo convierte en verdadero) es

Revista de Ciencias, 5, 11-18, enero 2015
ISSN: 2255-5943

nuestra limitada capacidad de percepción de la realidad, de una realidad que se nos muestra casi siempre como algo extraordinariamente complejo.

Del conocimiento de la realidad dependía, depende, la supervivencia y la mejora de las condiciones de vida de los hombres. Quizá ya en los albores de Atapuerca nuestros antepasados más remotos eran conscientes de tal necesidad, y fueron descubriendo ciertas regularidades en la naturaleza que explotaron en su beneficio, manejando ya en ese afán, aún sin saberlo, elementos básicos para el conocimiento científico como la descripción, la explicación o la predicción, llegando al punto de inventar el lenguaje común que todos manejamos, abstracto, incompleto, simplificador, pero que permitió comunicar ideas, y crear y compartir modelos para explicar y predecir fenómenos naturales, convirtiendo así desde el primer momento al lenguaje en una herramienta de la máxima utilidad para el desarrollo, aunque en tantas ocasiones ha sido y es utilizado en beneficio de unos y perjuicio de otros.

Algunos fueron un poco más allá y descubrieron que la construcción de ciertos objetos abstractos permitía establecer leyes irrefutables y explicar fenómenos de la naturaleza que antes sólo estaba reservado a los misterios de algún ser supremo sobrenatural. Aparecen los filósofos, los sabios, los primeros científicos con etiqueta. A la vez, cobran auge los poetas convertidos en priores de las artes y, a su lado, lenta pero inexorablemente, un nuevo lenguaje pasa a ser considerado universal de la Ciencia: es el lenguaje de las matemáticas. La potencia del nuevo lenguaje era tal que sus administradores, erigidos en nuevos pontífices, creyeron tener al alcance de su mano la creación del mapa definitivo del universo. La naturaleza se dejaba entender a los ojos de los hombres en facetas antes impensables, gracias al lenguaje de las matemáticas que habían creado (descubierto, dirían algunos).

Pero un tal Gödel, con sus *teoremas de incompletitud*, frustró en 1931 la aparición de una nueva deidad, la gran ecuación. La posibilidad de un modelo universal, la gran ecuación, quizá es solo una debilidad del ser humano. Tantas y tantas veces tendemos a confundir la representación con lo representado, como hacía ver René Magritte en *La trahison des images*, 1928–29.

Y confundimos así el mapa con el territorio, pretendiendo que la sencillez de nuestros modelos sea capaz de explicar en su totalidad la enorme complejidad de la naturaleza. Pero necesitamos mapas, esto es, modelos, soluciones sencillas, inteligibles, para problemas complejos; no parece que exista esa gran ecuación, y los problemas de los hombres son demasiado complicados e importantes para dejarlos en manos de seguidores y profetas de una u otra cosmogonía. A propósito de lo anterior puede ser de interés el breve texto, no por conocido menos bello, que Borges publicó en El Hacedor (1960) con el título "Del rigor en la ciencia":

…En aquel Imperio, el Arte de la Cartografía logró tal Perfección que el mapa de una sola Provincia ocupaba toda una Ciudad, y el mapa del Imperio, toda una Provincia. Con el tiempo, esos Mapas Desmesurados no satisficieron y los Colegios de Cartógrafos levantaron un Mapa del Imperio, que tenía el tamaño del Imperio y coincidía puntualmente con él. Menos Adictas al Estudio de la Cartografía, las Generaciones Siguientes entendieron que ese dilatado Mapa era Inútil y no sin Impiedad lo entregaron a las Inclemencias del Sol y de los Inviernos. En los desiertos del Oeste perduran despedazadas Ruinas del Mapa, habitadas por Animales y por Mendigos; en todo el País no hay otra reliquia de las Disciplinas Geográficas.

Suárez Miranda: Viajes de Varones prudentes, libro cuarto, cap. XIV, Lérida, 1658.

Fig.2. René Magritte. *La trahison des images* (1928–29)

Los fenómenos naturales por describir eran, y siguen siendo, numerosos y complejos, de modo que se empieza a compartimentar la ciencia, aparecen las ciencias formales y las no formales, y más tarde surgen las blandas (que aún de ciencia tienen poco), motivado solo por la dedicación de unos y otros a la resolución de problemas en ámbitos bien diversos, aunque interconectados. Y se desgajan así la Biología, y la Física, y la Química, y la Geología, y a su vez estas en otras más nuevas áreas de conocimiento, que junto al desarrollo de la tecnología no hacen sino incrementar las posibilidades de progreso. Las matemáticas siguen

en el centro de los aspectos formales, pero las soluciones a nuestros problemas en y con la naturaleza vienen de la mano de los estudiosos de uno y otro campo.

Estadística y azar

De pequeños solíamos jugar con la cinta métrica de hule y con aquel metro de madera plegable, los que ya somos mayores, o más tarde con el flexómetro metálico los jóvenes, y medíamos cuanto se ponía a nuestro alcance.

Fig.3. La medida de los fenómenos y el manejo de los datos no sólo es una necesidad sino una actividad lúdica.

El avance científico y tecnológico ha dado lugar al desarrollo de una capacidad inusitada para medir todo tipo de fenómenos. Y a base de medir y medir de todo, en un afán, como de pequeños, de aprehender lo que nos rodea a partir de su medida, asistimos a la generación de datos en un volumen que no alcanzamos a comprender, caracterizando quizá de esta forma la tercera gran revolución de la humanidad, la "globalización" o "mundialización", en la que andamos. Pero los datos ("medidas" de toda índole) no son la realidad, no son tan siquiera una burda y simple representación de la misma, aunque constituyan per se otra realidad también compleja. En su desorden y complejidad, los datos no aportan nada. Es preciso extraer de ellos la información que implícitamente contienen y convertirla en el conocimiento que necesitamos.

La Estadística nace con la recogida sistemática de datos para la explicación y predicción de muy diversos fenómenos, para entender la incertidumbre, a partir de un hecho tan básico como es que cualquier conjunto de "medidas" observadas presenta variabilidad. Y es de la explicación de esta variabilidad de donde surge buena parte del conocimiento, al poder establecer tendencias, hacer comparaciones, predicciones,…

La necesidad de separar los efectos de distintos factores sobre la variabilidad observada en los datos lleva a la construcción de modelos estadísticos que tienen en cuenta el azar en sus múltiples manifestaciones. ¿Qué es el azar? Podemos decir que el azar es un ente abstracto, un modelo, que nos permite explicar la variabilidad.

El estudio del azar tiene su origen en algo tan fútil como los juegos de dados y cartas, allá por el siglo XVII, en la Francia de Pascal y Fermat. De aquellos tiempos es el problema del caballero de Meré, jugador y quizá aficionado a las matemáticas. Se sorprendía el avezado jugador de que ganando (en media) en sus apuestas cuando apostaba que al tirar cuatro veces un dado saldría al menos una vez el 6, no ganara también cuando apostaba a que en 24 tiradas de dos dados saliera al menos una vez un seis doble. Y parece ser que su argumento era que si él ganaba, habiendo 6 resultados posibles en el lanzamiento de un dado, cuando este se lanza 4 veces, entonces, puesto que hay 6*6=36 resultados posibles cada vez que se tiran dos dados, debería ganar también cuando los dos dados sean lanzados un número proporcional de veces, esto es 6*4=24 tiradas de ambos dados. Aunque posiblemente la realidad de sus pérdidas le hizo ver la falsedad de su argumento, no acertaba el caballero a demostrar que en el segundo caso para ganar debería tirar los dos dados al menos 25 veces $\{1-(35/36)^{24} = 0.4914$, pero $1-(35/36)^{25} = 0.5055\}$.

A partir del estudio de los juegos de azar distintos autores introducen las probabilidades para la explicación del azar asociado a numerosos fenómenos, hasta llegar a una formulación axiomática, establecida por Kolmogorov en 1933, en la que se basa la teoría de la probabilidad moderna.

Algunas de las reglas del azar pueden observarse, y quizá algunas resulten chocantes, en algo tan sencillo como la partida que nuestra amiga Ana juega con su amigo Manuel, en la que tiran 100 veces consecutivas una moneda correcta, ganando Ana un euro cada vez que sale cara y perdiendo un euro, que gana Manuel, cuando sale cruz. A medida que transcurre la partida Ana va marcando en un gráfico sus ganancias acumuladas, las cuales van describiendo la trayectoria quebrada de la Figura 4, siendo su ganancia final de 15 euros.

El juego es equilibrado, Ana tiene las mismas posibilidades que Manuel de ganar o perder, y esto puede llevarnos a pensar que las ganancias acumuladas de Ana se mantendrían en 0, cuando vemos que lo que ha ocurrido en esta partida, ¡aleatoria!, es que Ana ha ido ganando siempre. Por otro lado, la trayectoria de las ganancias acumuladas de Ana en la partida jugada tiene la misma

probabilidad de ocurrir que la trayectoria señalada de ganancia máxima, o que cualquier otra trayectoria posible ($1/2^{100}$). Pero esto está muy lejos de indicarnos que Ana tenga fácil ganar los 100 euros, porque una gran parte de las trayectorias (aproximadamente el 95%) acaban entre -20 y 20, y solo una de las 2^{100} posibles termina en 100. Podemos decir que la probabilidad de que Ana tenga una "ganancia" de entre -20 y 20 euros es aproximadamente de 0.95, mientras que la probabilidad de que en una partida gane más de 50 euros es de tan solo 0.000000287.

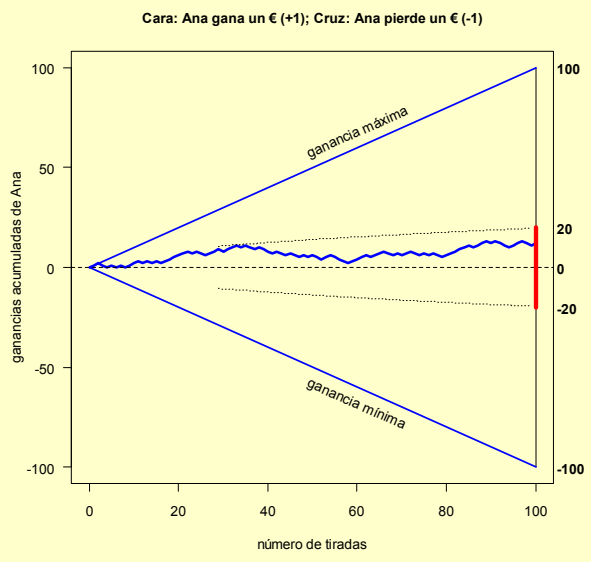


Fig.4. Resultados en una partida de cien tiradas al azar de una moneda. Ver explicación en el texto

Y si continuaran jugando ¿seguiría ganando Ana? A más de uno le resultará quizá sorprendente, pero si Ana y Manuel pudieran jugar indefinidamente (aunque no creo que estuvieran dispuestos a perder su tiempo en ello) acabarían encontrando que en algún momento de esa partida infinita saldría cara un millón, qué digo un millón, cien mil millones o el número que se os ocurra, de veces seguidas, y en las que por tanto Ana ganaría 1000000 €, sin que esto signifique que Ana fuera ganando la partida, claro.

Diferentes generalizaciones de la partida anterior de Ana con Manuel, pueden dar pie al estudio de la teoría de la probabilidad, la base en la que se ha podido cimentar el desarrollo de la estadística, materia esta con la que es posible hacer inferencias que permiten explicar y/o predecir numerosos fenómenos naturales de toda índole, basándonos en la observación de datos, siempre sometidos a variabilidad, al "azar".

Ciencias, Letras e Imposturas

Es ya un tópico decir que el impulso de la ciencia y la tecnología es lo que ha permitido el progreso de la humanidad, pero sin las humanidades, las letras y las artes, la vida de los hombres estaría radicalmente menguada. La belleza que encierra la descripción de patrones de comportamiento de fenómenos naturales cuando puede realizarse mediante modelos "elegantes", sencillos y fácilmente comprensibles, tiene elementos comunes con el asombro, la inquietud o la emoción que llegan a producirnos algunas obras de arte, aún sin entender el significado de tal cosa.

Así que parece ridículo plantear una dicotomía tan estricta como suele hacerse entre ciencias y humanidades. Pero aún podemos ir más allá en la apreciación. Una parte no desdeñable del quehacer científico tiene que ser su divulgación, y no solo entre los instruidos o iniciados en la materia de que se trate. Y para ello nada mejor que la utilización de herramientas comprensibles por todos, de modo que todos podamos llegar a comprender con mayor facilidad, e incluso llegar a emocionarnos como podemos hacerlo con un texto literario o ante una obra de arte. En este sentido, hay que destacar las herramientas de visualización de datos, más útiles que nunca por necesidades derivadas del análisis de datos masivos, pero que tienen una larga historia tras de sí, como se puede ver, por ejemplo, en el bello Coxcomb o diagrama en rosa (Fig. 5) realizado por Florence Nightingale a mediados del siglo XIX, para explicar las causas de mortalidad en la guerra de Crimea, y que constituye un antecedente de los modernos histogramas circulares. Por otro lado, algunos científicos, como el biólogo Edward Wilson, plantean la necesidad de una comunión entre ciencia y humanidades, señalando que el desarrollo humanístico quizá caracteriza más a nuestra especie que nuestro desarrollo tecnológico o científico.

En nuestro anhelo de explicar hemos de tener cuidado con las imposturas. Son bien conocidas las "imposturas intelectuales" denunciadas por el físico Alan Sokal en su artículo de 1996, y expuestas de forma mucho más popular por él mismo y Jean Bricmont en 1999, ridiculizando la forma de expresarse de algunos de los pensadores más afamados del postmodernismo de entonces, que manejaban a su manera conceptos científicos perfectamente establecidos, para, pretendidamente, rodear algunos de sus textos del aura del rigor científico.

Las imposturas y supercherías, no son solo aquello denunciado por Sokal y acechan en todos los rincones a los que uno se acerque, también en los de la ciencia, incluidos los de las aplicaciones

estadísticas. Desarrollamos tecnologías que nos permiten medir de todo, como decíamos, y dedicamos un enorme esfuerzo para el desarrollo de métodos de análisis, de modelos para la descripción, la explicación y/o la predicción de numerosísimos fenómenos de interés; y es necesaria más investigación y más formación, yendo siempre más allá de lo que conocemos. Pero los recursos son limitados y la sociedad que los proporciona debe exigir un buen uso de ellos, y por esto es obligado convertir a los problemas en lo más importante, y entonces hay que preguntarse ¿qué datos recogemos?, ¿qué métodos de análisis empleamos? En ocasiones, el problema puede consistir en formular las preguntas acertadas, sin que debamos olvidar nunca otras igualmente importantes que no solemos asociar al ámbito científico como son ¿para qué?, ¿para quién?

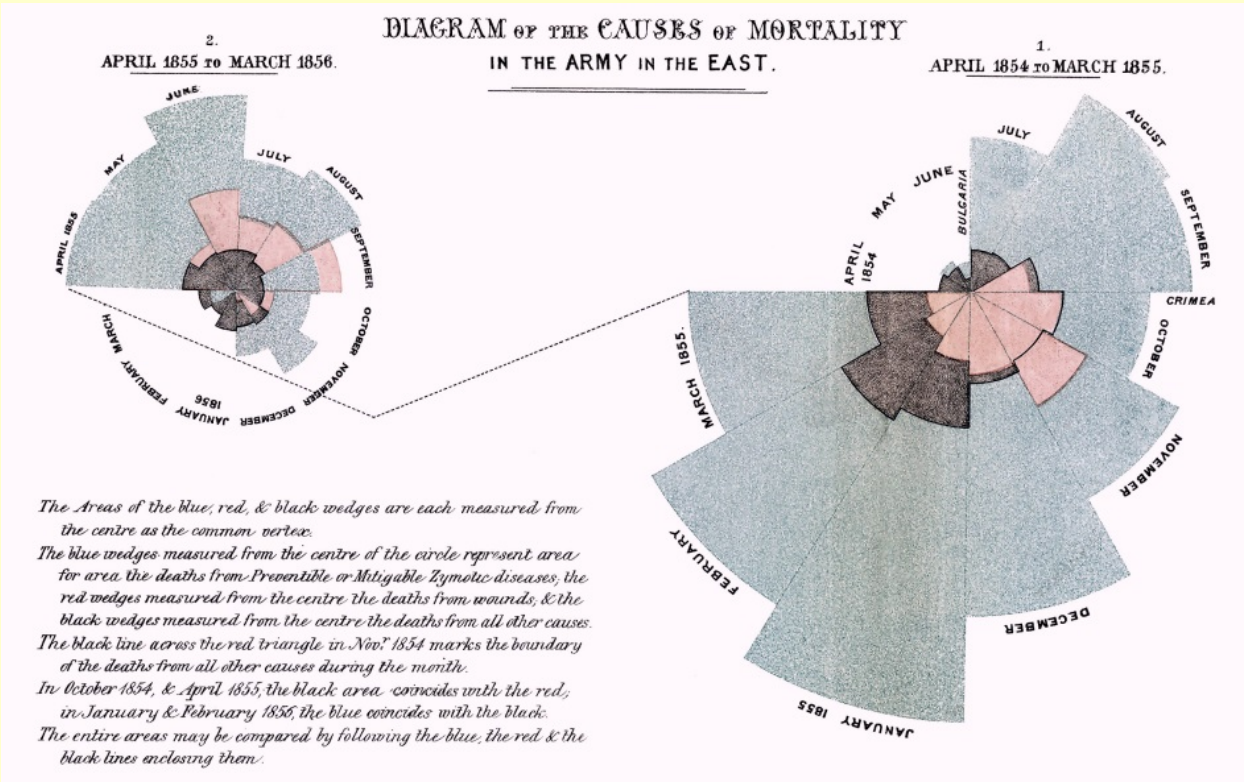


Fig.5. "Coxcomb" o diagrama en rosa de Florence Nightingale sobre la mortalidad en la guerra de Crimea.

A pesar del desarrollo conseguido en las aplicaciones estadísticas, gracias al conocimiento de una gran cantidad de fenómenos aleatorios y al descubrimiento de su regularidad, aún estamos muy lejos de que ese conocimiento sea siquiera mediano, y lleva camino de no completarse nunca. Por otro lado, tantas y tantas veces se cae en análisis rutinarios sin tener en cuenta que los patrones que explican la regularidad del azar no son los adecuados, como puede ocurrir, por ejemplo, con el uso indiscriminado de la distribución normal, un comodín para casi todo, o por una simplificación excesiva, sin tener en cuenta la frase atribuida a Einstein: "a model should be as simple as possible but not simpler". Esto conduce, incluso sin suponer mala fe en los investigadores, principalmente en el ámbito de las ciencias blandas, a la utilización de modelos inadecuados en ocasiones, en el mejor de los casos sin sentido y en muchos otros con consecuencias que pueden ser desastrosas para muchas personas. La impostura y la superficialidad deben ser evitados siempre, al contrario de lo que es frecuente ver en la presentación de resultados obtenidos de súper modelos con predicciones muy llamativas que en ocasiones no son sino palabrería hueca, lo cual solo conduce al desprestigio o, cuando menos, a un escepticismo creciente de todo aquello que la ciencia de verdad puede ayudarnos a entender.

Algunas valoraciones, con buenos ejemplos de lo expuesto pueden verse en el exitoso libro de Nassim Taleb "El Cisne Negro", o en el artículo de Andrea Saltelli y Silvio Funtowicz, con el sugerente título "When All Models Are Wrong".

Modelos Estadísticos Útiles

El accidente de la nave espacial Challenger ocurrió el 28 de Enero de 1986, cuando la nave explosionó dos minutos después del lanzamiento muriendo los siete tripulantes. La nave había realizado 23 vuelos, en 7 de los cuales fallaron 1 o 2 de los 6 anillos de goma que impedían el derrame de combustible. Se suponía que los anillos podían fallar al estar sometidos a condiciones extremas de temperatura, como probó el nobel Richard Feynman, miembro de la comisión de investigación para estudiar las causas del accidente, la cual no pudo sino aceptar que el accidente fue en parte debido a fallos de los anillos de goma. La previsión de temperatura para el día del lanzamiento era muy baja: 31ºF (0ºC).

Fig.6. Accidente del transbordador espacial Challenger, en 1986, a los 73 segundos de su lanzamiento

Los ingenieros analizaron el día antes las previsiones y las circunstancias que rodeaban al lanzamiento, además de la información disponible de los vuelos anteriores. Observaron que en los 7 vuelos en los que había habido algún fallo, representados en el gráfico mediante la proporción de anillos que fallaron frente a la temperatura del día del lanzamiento, los puntos señalados con una cruz roja, no había ninguna relación entre la proporción de fallos y la temperatura. Por esto decidieron efectuar el lanzamiento y… ocurrió la catástrofe.

Los ingenieros obviaron varias cosas. Primera, que los fallos ocurridos en el vuelo 21 se debieron a causas mecánicas que nada tenían que ver en el asunto. Segunda, y más grave, se olvidaron de qué había ocurrido cuando no había habido fallos, lo que está representado en la Figura 7 mediante las cruces azules. Tercera, que la previsión de temperatura para el día del lanzamiento era de 31ºF, notablemente inferior a la de los lanzamientos anteriores.

Quizá con la sola observación de los puntos (las cruces) se hubiera visto una tendencia que habría evitado la tragedia. Si con dichos datos hubieran ajustado un simple modelo logístico como el representado en la Figura 7, habrían obtenido una predicción que anularía toda posibilidad de efectuar el lanzamiento, aunque el error en dicha extrapolación fuera muy grande como lo indica el IC sobre el gráfico.

A pesar del ejemplo anterior sobre la catástrofe del Challenger, ilustrativo de la utilidad de ajustar modelos, no todo es tan sencillo. Hay que pensar que los modelos son solo verdaderos en su planteamiento formal, y sobre ellos descansan todas las inferencias a las que en la práctica nos vemos obligados y sin las cuales los modelos no tendrían sentido alguno. En palabras del estadístico George Box, “essentially all models are wrong, but some are useful”. El modelo logístico anterior seguro que no es verdadero, pero hubiera sido muy útil si se hubiera empleado a tiempo.

Por otro lado, el análisis estadístico de datos tal y como lo hemos venido conociendo y aplicando mayoritariamente, lo que se puede denominar “la cultura del modelado de datos”, precisa de una reformulación añadiendo “la cultura del modelado algorítmico”, por utilizar la terminología introducida por el estadístico Leo Breiman (2001). Breiman nos muestra ambos paradigmas como antagónicos, rechazando por obsoletas las formulaciones del modelado de datos clásico, porque, en su opinión, ha dado lugar a teorías irrelevantes y conclusiones científicas equivocadas, así como a que los estadísticos mantengan posiciones acomodaticias que los alejan del modelado algorítmico, de las nuevas formas de hacer estadística en el campo predictivo, lo que se manifiesta de forma intensa en las aplicaciones al *big data*. La nueva cultura “algorítmica” presenta su mayor interés en el contexto predictivo, y en ella pueden no tener sentido algunos dogmas anteriores, como puede ser el principio de parsimonia, o el que haya que pasar de la “maldición” de la dimensionalidad a una “bendición” de la misma en numerosas aplicaciones. En realidad, la opinión de Breiman contraria al modelado de datos tiene más que ver con una práctica deficiente que ha dado lugar a la toma de decisiones incorrectas en numerosas ocasiones. Los antagonismos entre ambos paradigmas no son tales, siendo precisa su complementariedad, teniendo en cuenta que el papel de la estadística consiste esencialmente en usar datos para conseguir información sobre el mecanismo que los produce, poniendo el énfasis, como el propio Breiman dice, en el problema y en los datos.

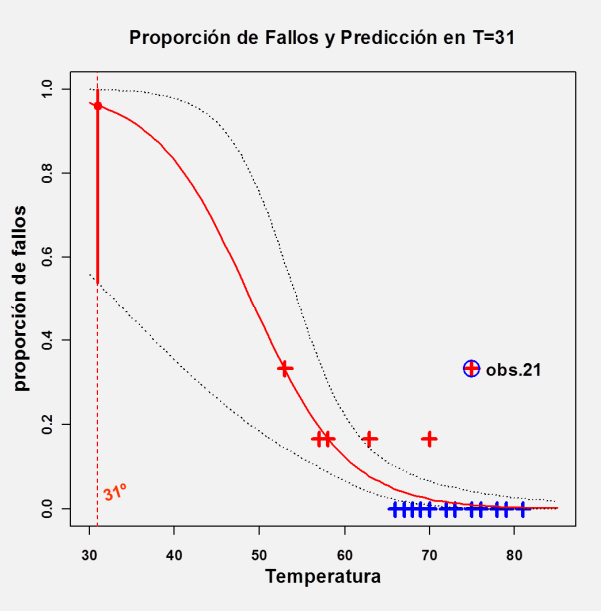


Fig.7. Accidente del Challenger (1986). Proporción de fallos en los seis anillos de goma vs temperatura en los lanzamientos previos, y predicción con un modelo logístico para el día del lanzamiento (31º F)

La estadística es una herramienta básica para el desarrollo que, bien empleada, debe ayudarnos a descubrir y evitar errores e imposturas, y para los estadísticos es una obligación, a la vez que debe ser un aliciente, la conjunción de las dos culturas referidas, impulsando nuevas metodologías y aplicando todas aquellas que sean necesarias, ya sean viejas, nuevas o novísimas, para desentrañar y explicar los misterios que la ciencia pone a nuestro alcance día tras día, revelándonos pequeñas parcelas de este universo que nuestra limitada capacidad de percepción es incapaz de comprender.

Para terminar este breve artículo, podemos disfrutar de la viñeta de El Roto, publicada en El País, el 3 de diciembre de 2013: "Los próximos diluvios será de datos"

Agradecimientos

Al profesor Abel Calle Montes por su lectura entusiasta y por la referencia de Richard Feynman.

Referencias

Edward Adelson. Dept. of Brain and Cognitive Sciences. Massachusetts Institute of Technology. (http://persci.mit.edu/people/adelson)

Alan Sokal (1996). Transgressing the boundaries: towards a transformative hermeneutics of quantum gravity. *Social Text*. Pag. 217-252.

Alan Sokal, Jean Bricmont (1999). *Imposturas Intelectuales*. Paidós.

Andrea Saltelli, Silvio Funtowicz (2014). When All Models Are Wrong. *Issues in Science and Technology*. (http://issues.org/30-2/andrea/)

Chabris, C. F., & Simons, D. J. (2010). *The Invisible Gorilla*. New York, NY: Crown. (www.theinvisiblegorilla.com)

Edward Wilson (2014). *The Meaning of the Human Existence*. Norton and Company.

Francis Crick (1994). *La búsqueda científica del alma*. Destino.

Jorge Luis Borges. *El Hacedor*. Alianza Editorial. Edición 2003.

Julian Champkin (2013). George Box, (1919-2013): a wit, a kind man and a statistician. *Significance*. (http://www.significancemagazine.org/details/webexclusive/4566511/George-Box-1919-2013-a-wit-a-kind-man-and-a-statistician.html)

Leo Breiman (2001). Statistical Modelling: The Two Cultures. *Statistical Science*, Vol 16, No. 3, 199-231.

Richard P. Feynman (1986). Report of the Presidential Commision on the Space Shuttle Challenger Accident. Vol II. Appendix F – Personal Observations on Reliability of Shuttle. (http://history.nasa.gov/rogersrep/v2appf.htm)

LOS PRÓXIMOS DILUVIOS SERÁN DE DATOS...
El Roto

Observación sistemática del Sol en luz blanca

Sergio Retuerto y Daniel Revilla
Alumnos del Grado en Física y miembros del Grupo Universitario de Astronomía.
Universidad de Valladolid

El sol es uno de los astros más interesantes y fáciles de observar. A pesar de ello no hay gran número de observadores solares dentro de la comunidad *amateur* de astronomía. Con este artículo pretendemos hacer una introducción a la observación solar con escaso material y mostrar los datos que se pueden obtener en un corto plazo de observación como es el verano.

Historia de las primeras observaciones

La observación de las manchas solares no es algo que solo se realice en la actualidad, sino que desde antes de la invención del telescopio, en la antigua China, ya vieron manchas solares grandes cuando la luz del sol atravesaba nubes densas. Las primeras observaciones escritas que tenemos datan del año 800 a.C. y dicen que veían oscurecimientos o sombras en el sol. Estas observaciones no eran constantes, simplemente las usaban para realizar predicciones.

No solamente en China se dieron cuenta de la existencia de este fenómeno, si no que otras culturas también han dejado indicios de que conocían dicho fenómeno. En nuestra cultura, la occidental, uno de los primeros en darse cuenta fue Teofrasto de Atenas (372- 287 a.C.) menciono en torno al 350 a.C. que había manchas tanto en el sol como en la luna, pero esta idea fue descartada debido a que Aristóteles, su maestro, consideraba el sol como un astro perfecto. Unos años después, cuando la iglesia adopto las ideas aristotélicas, consideraban herejía decir que el sol estaba manchado, por lo que no hay más registros de manchas solares escritos hasta la Edad Media.

En los años 507 y 840, observaron manchas solares, pero las atribuyeron al tránsito de mercurio por delante del sol. Y es en diciembre de 1128 cuando un monje del monasterio de Worcester realiza el primer dibujo del sol junto a las manchas observadas ese día, donde, a pesar de observarlo sin ningún instrumento, se puede apreciar la umbra y la penumbra.

A partir de ahora empieza a ver un poco más de actividad en la observación del Sol, aunque todavía sigue siendo muy poca. Además, algunas religiones siguen creyendo aun en la perfección de nuestra estrella y atribuyen el fenómeno a tránsitos de mercurio, venus o algún cuerpo sin descubrir por delante del disco solar.

Es ya alrededor de 1610, junto con la invención del telescopio, cuando algunos astrónomos empiezan a contribuir de manera más activa a la observación solar. El primero en realizar dichas observaciones fue Thomas Harriot. Johannes Fabricius se dio cuenta de que las manchas aparecían por el este y se escondían por el oeste, tardando más o menos doce días. Otros científicos importantes interesados en esta área fueron Galileo Galilei y Cristopher Scheiner. Estos dos últimos fueron los más activos en los estudios sobre las manchas solares, creando además una gran discusión por saber quién fue el descubridor de dicho fenómeno.

Ya en el siglo XVII uno de los observadores más importantes fue el alemán J. Hevelius, quien realizo numerosas medidas entre los años 1642 y 1644. Con todas ellas, determino con gran precisión el periodo de rotación del sol. Además, posteriormente, sus observaciones han podido iniciar investigaciones realizadas con el mínimo de Maunder.

Otro astrónomo un poco posterior fue Alexander Wilson. Este se dio cuenta que en el centro del disco solar, la penumbra es simétrica con respecto a la umbra, pero conforme se acerca al borde, se ve más estrecha la penumbra interior que la exterior. Esto

Revista de Ciencias, 5, 19-29, enero 2015
ISSN: 2255-5943

es lo que actualmente conocemos como el efecto Wilson. Además, él creía que las manchas eran como remolinos en la atmosfera solar, siendo la umbra el centro de este y la penumbra las paredes.

La granulación solar no se conoció hasta 1787, descubierta por el alemán Johann Hieronymus Schroeter, ya que poseía uno de los mayores telescopios de la época. Hasta entonces no se habían preocupado de la naturaleza de las manchas solares, y la mayoría aceptaban la idea propuesta por Galileo de que eran nubes de la atmosfera solar. Pero ahora, William Herschel, basando las ideas de Wilson, dijo que el sol estaba formado por dos capas de nubes brillantes, y cuando en la primera capa se abría un hueco, viéndose la segunda (lo que sería la penumbra). Si además había un agujero en la segunda capa también veríamos el suelo, según él, sólido, del sol (la umbra). Posteriormente llegaron a proponer que incluso la umbra podía ser una capa a mayores de nubes.

Es en 1848 cuando el astrónomo Rudolf Wolf, tras haber hecho una observación y un seguimiento rigurosos de las manchas solares, define el actualmente conocido como numero de Wolf. Dicho valor evalúa de forma más precisa que el conteo de manchas la actividad solar, puesto que tiene en cuenta la cantidad de grupos que hay en el momento. El número de observadores y el interés por el estudio del Sol empezó a aumentar considerablemente. Es más, en la actualidad existe un organismo encargado de la coordinación mundial del número relativo (número de Wolf), el SIDC (Sunspot Index Data Center), situado en Bruselas. Con esta institución colaboran multitud de agrupaciones y aficionados de todo el mundo, mandando datos y siguiendo diariamente la estrella más cercana al planeta Tierra.

Propósito de la observación solar

Todos los estudios que se realizan del Sol tienen el propósito de entender su funcionamiento. Antes de nada, hay que decir que llamamos actividad solar a la presencia de manchas, protuberancias, fulguraciones y emisiones importantes en radiofrecuencias y rayos X. Todos estos fenómenos son fruto de la liberación de energía por parte del campo magnético del Sol.

Entonces, lo que se busca mediante la observación y el análisis del sol es encontrar la relación que existe entre dicho campo magnético, como se libera toda esa energía y todos los ya mencionados fenómenos. La importancia de todo esto es clave para la vida en la tierra, ya que posibles variaciones en este astro repercutirían en la tierra, tanto en los satélites y las comunicaciones actuales, como en la temperatura y el clima, puesto que ciertos mínimos de actividad solar han provocado fuertes descensos de la temperatura.

Acerca del Sol

A pesar de su apariencia uniforme y sosegada, el Sol es un cuerpo en constante cambio y evolución. Se pueden observar gran multitud de fenómenos usando diferentes técnicas que veremos después.
Nosotros nos centraremos en la "superficie" y atmósfera solar, ya que es ahí donde se producen los fenómenos visibles con nuestros medios.

Fotosfera

Es la superficie visible solar y la que le da color a la estrella. En nuestro caso, la temperatura fotosférica es de unos 6000K por lo que la luz que observamos es amarillenta. Dicho color se debe a que a menor longitud de onda más energética es la radiación electromagnética, por lo que a mayor temperatura (mayor energía), más blanca será la luz (menor longitud de onda). En otras estrellas la temperatura superficial varía, esto les concede otras tonalidades, variando desde el rojo hasta el blanco-azulado. Resulta curioso que siendo la parte más densa de la atmósfera solar, únicamente alcanza el 0,01% de la densidad del aire en la Tierra a nivel del mar.

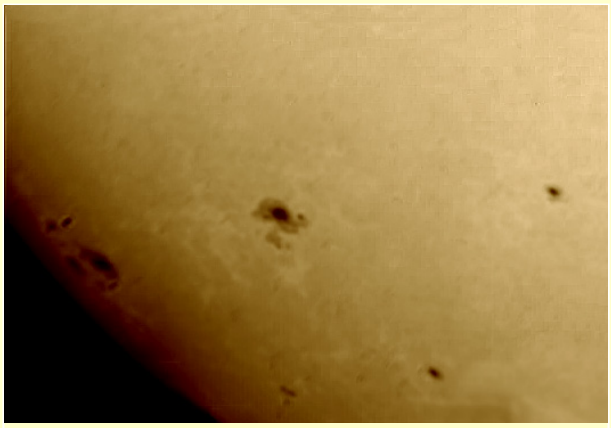


Fig. 1. Grupos de manchas en visual. (Fotografía de los autores).

Como todas las estrellas, el Sol está formado por plasma, principalmente hidrógeno y helio parcialmente ionizados, por lo que es un muy buen conductor eléctrico. A esto hay que añadirle que el plasma solar no es estático, sino que rota a diferentes velocidades dependiendo de la latitud a la que se encuentra. Este fenómeno se conoce como rotación diferencial.

La unión de estos dos fenómenos hace que se generen unos fuertes campos magnéticos que

pueden emerger a la superficie solar (fotosfera) donde se concentran e intensifican dificultando el movimiento del plasma, formando las manchas solares que podemos ver. Por ello, la energía ligada a las manchas es mayoritariamente magnética y no térmica.

El color oscuro de las manchas se debe al contraste de su temperatura con el de la superficie, unos 2000 grados mayor que las anteriores.

Otra estructura interesante en la fotosfera es la granulación. Se produce debido a corrientes ascendentes de plasma que al alcanzar la superficie precipitan en la zona convectiva. El tamaño de cada gránulo varía entre 500 y 1500 km, que a pesar de ser efímeros, son visibles con nuestros medios.

Cromosfera

Por encima de la fotosfera y debajo de la corona nos topamos con una capa rojiza: la cromosfera. Al ser mucho más tenue que la fotosfera, no la podemos ver a simple vista un día normal, pero puede ser apreciada durante un eclipse, ya que se cubre la fotosfera.

Esta capa, que está formada en su mayor parte por hidrógeno y helio, tiene un grosor de unos 10.000 kilómetros, y su temperatura aumenta según se va acercando a la corona solar, de los 4.000 K a los 500.000 K. No solamente varia la temperatura dependiendo de la distancia al centro del sol, sino que la densidad de la cromosfera cambia de manera opuesta a la temperatura, es decir, cerca de la fotosfera la densidad es notable, mientras que cerca de la corona solar la podríamos considerar prácticamente nula.

En la cromosfera podemos encontrar unas estructuras parecidas a “llamas”, llamadas *espículas*. Estas tienen un diámetro de entre los 100 y los 1.000 Km llegando hasta los 10.000 Km de altitud. Suelen tener una vida de entorno a los 10 minutos, con temperaturas de unos 10.000 K.

Las otras protagonistas de esta capa son las protuberancias. Estas estructuras son enormes eyecciones de plasma solar relativamente frío (en comparación con la cromosfera) que normalmente tienen su origen en la fotosfera, y tras cruzar la cromosfera acaban en la corona.

A diferencia de la actividad fotosférica, la cromosférica es bastante más efímera. Normalmente las protuberancias vienen asociadas a manchas solares, por lo que puede parecer que unas dependen de las otras. A pesar de su estrecha relación y su pareja evolución, unas son independientes de las otras.
Mientras que avanza el ciclo solar, las manchas van apareciendo en latitudes más bajas (se van acercando al ecuador solar, a esto le llamamos "Ley de Spörer") las protuberancias pueden aparecer en latitudes diferentes.

Fig. 2. Sol en H-alfa con telescopio PST. (Fotografía de los autores).

En las protuberancias pasa algo parecido, a diferencia de las manchas, encontramos dos grupos de protuberancias: las normales y las polares, que aparecen a latitudes mayores (>30-40º) y tienden a acercarse al polo en el máximo del ciclo.

La observación de esta capa se realiza mediante telescopios especiales centrados en la banda H-alfa (hablamos de ello más abajo). Con ellos también podemos ver *filamentos,* que son protuberancias vistas de frente, sobre el disco solar. A diferencia de los filamentos, las protuberancias son las que se observan sobresaliendo el disco solar por los limbos.

Corona

Por último, la corona es la capa más externa de nuestra estrella. Mucho menos densa que las anteriores, tiene la peculiaridad de alcanzar temperaturas del millón de grados, fenómeno que a día de hoy no estamos seguros de entender, y es uno de los problemas candentes en la física solar.

Como muchos otros fenómenos, esta capa se observó en primer lugar a simple vista, en los eclipses totales. Posteriormente cuando la ciencia nos lo permitió, se construyeron telescopios llamados "coronógrafos" que eclipsaban artificialmente el sol. Actualmente algunos de los telescopios que más contribuyen a la observación de esta región son el satélite artificial

SOHO (proyecto conjunto de la ESA y NASA), el Solar Dinamic Observatory y el Stereo. Con él podemos observar las eyecciones de masa coronal (CME) tan temidas por los medios de comunicación. Estas eyecciones, al igual que las protuberancias, siguen las líneas de campo magnético, solo que a diferencia de estas últimas, las rompen y se pierden en el espacio, llegando a liberar hasta diez mil millones de toneladas de plasma a velocidades de mil kilómetros por segundo. Cuando una de estas oleadas llega a la Tierra, puede producir desde las bellas auroras polares a daños en los satélites artificiales.

Técnicas de observación

Simple vista

Al igual que hacían nuestros antepasados, si se dan las condiciones oportunas, podemos observar el sol sin necesidad de filtros ni instrumentación adicional. Esto se da en amaneceres y atardeceres en los cuales hay presencia de nubes que se interponen entre el astro rey y nosotros.

Al estar el sol tan bajo, los rayos procedentes del mismo tienen que atravesar más atmósfera y las longitudes de onda más cortas tienen más tiempo para ser absorbidas por los aerosoles y partículas en suspensión, por lo que predominarán los colores rojos (menos energéticos). Este fenómeno es el que conocemos como difusión de Rayleigh. Si a esto le añadimos nubes entre medias, cuando miremos al sol veremos a través de ellas el disco solar sin mayor peligro. En el caso de que hubiera grandes grupos de manchas solares, podríamos diferenciarlas como puntos negros en el sol. Es importante aclarar que siempre es peligroso observar el sol de esta manera, por lo que no es la más aconsejable.

Proyección

Para la proyección es preferible usar telescopios refractores o prismáticos ya que no usaremos filtro alguno. En el caso de que usásemos telescopios reflectores o catadióptricos deberíamos diafragmarlos ya que el espejo secundario puede calentarse mucho al producirse la segunda reflexión y estropearlo. Este método consiste en apuntar al sol y dejar que los rayos atraviesen todo el sistema óptico de nuestro instrumento, salgan por el ocular y se proyecten en una superficie blanca y lisa preferiblemente. Es muy fácil de realizar. Además si estamos a oscuras y tras haber enfocado correctamente, se puede llegar a obtener mucha definición en las estructuras que observamos.

Este método es muy adecuado para la divulgación, puesto que pueden observar la proyección varias personas a la vez.

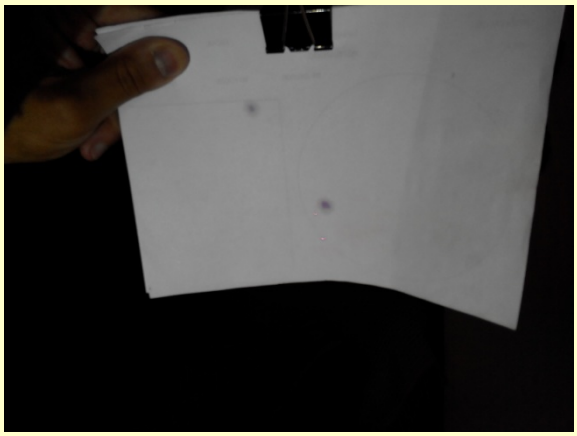


Fig. 3. Pueden observarse umbras y penumbras proyectadas. (Fotografía de los autores).

Filtros

El uso de filtros es el método más usado por astrónomos amateur debido al abanico de espectros que cubren y su fácil manipulación. Los más populares son los siguientes:

- Lámina Baader: Es una lámina parecida al papel de aluminio y la más barata de todas las opciones. Filtra la radiación UV e IR al mismo tiempo que elimina la mayor parte de la luz incidente, de tal manera que solo nos llega una pequeña fracción de la emitida por el sol. Con este filtro vemos la granulación solar, al igual que manchas solares y fáculas.

Fig. 4. Filtros de diferentes tamaños con lámina Baader caseros. (Fotografía de los autores).

- H-alfa: Entramos aquí en harina de otro costal. Estos filtros (656 nm) nos permiten ver otra capa del sol, la cromosfera, (capa entre la fotosfera y corona). Esta capa solo es visible con telescopios especiales, ya que

normalmente esta ocultada por el brillo de la fotosfera. Aquí podemos observar fenómenos como protuberancias, playas, espículas, filamentos (protuberancias sobre el disco). En esta capa siempre es posible observar algún fenómeno, puesto que hay mucha menos diferencia de actividad entre el máximo y el mínimo, es decir, da igual cuando miremos la cromosfera que es muy probable que podamos observar filamentos o protuberancias. A diferencia de los filtros anteriores, este nos muestra el sol con una tonalidad rojiza.

Prisma de Herschel

En apariencia similar a un prisma diagonal, hace las veces del anterior y de atenuador. Realmente no filtra la luz, sino que la refracta y nos deja solo con un 4,6% de la luz incidente, la cual debe reducirse posteriormente con un filtro en el ocular. Esto lo hace mediante un prisma en forma de cuña.
Este prisma se usa principalmente con telescopios refractores (sin filtro previo), porque en el camino óptico hasta el ocular no calienta nada al no llegar a concentrarse.

Fig. 5. Prisma de Herschel visto desde abajo; salida de la luz. (Fotografía de los autores).

Nuestras observaciones

Durante las vacaciones estivales, aprovechando el buen tiempo, la dominancia de cielos despejados y el fin del máximo solar de este ciclo 24, decidimos realizar una serie de observaciones cuantificando la actividad solar a través del "Número de Wolf" para ver su evolución a lo largo de un trimestre.

Metodología

A principios de agosto comenzamos por separado a tomar las medidas del sol siguiendo cierta rigurosidad que dotase a los resultados de credibilidad y valor científico. Dimos importancia a rasgos como observar a la misma hora, que cada uno usase siempre el mismo equipo, no mirar partes diarios ni imágenes del sol antes de las observaciones para no estar influenciados y registrar mediante un dibujo las manchas presentes en el sol.

El desarrollo de una sesión consiste en la puesta en estación del telescopio con el filtro adecuado, la observación detallada del disco solar en busca de grupos y manchas y su posterior dibujo en unas plantillas previamente diseñadas para calcular el número de Wolf. Al realizar un dibujo, nos obligamos a prestar más atención a los detalles que si lo hiciésemos de cabeza. También estamos plasmando todo lo que somos capaces de observar con nuestro equipo y nuestros ojos, por lo que al calcular el número de Wolf sobre el dibujo, tendremos un valor objetivo y permanente.

Una vez representado el sol, procedemos al cálculo del ya mencionado número de Wolf, que consiste en contar el número de grupos y el número de focos individuales, e introducirlos en la siguiente ecuación:

$$R = k(10g + f)$$

- R es el número de Wolf, el índice que nos va a cuantificar la actividad solar. Esta fórmula tan sencilla cuadra bastante bien con la actividad del sol.
- k se utiliza para promediar las observaciones de diferentes observadores, si solo observa uno se toma con valor k=1. Es el factor entre el valor oficial final y el de cada observador.
- g es el valor más polémico y que mayor imprecisión añade a la medida. Esto se debe al concepto de "grupo" que se tiene, sobre todo cuando estos son pequeños y están juntos, pudiendo interpretar uno como parte de otro. Para evitar estas disparidades, es recomendable conocer y seguir la evolución de los grupos a lo largo de los días, de esta forma conoceremos a cada uno y no caeremos en errores. Otra es hacer algo de trampa y acudir al magnetograma (imagen del campo magnético solar), donde viendo la polaridad de la región, sabremos si se trata de un grupo o varios.
- f se limita a contabilizar el número de manchas, tanto con penumbra como sin ella.

Este es el dato que nos interesa y que mediante su representación en una gráfica veremos la variación de la actividad a lo largo del tiempo.

Aunque parezca que meramente obtenemos un dibujo y un número, realmente sacamos mucha más información, que más adelante veremos como la extraemos e interpretamos.

Instrumentación y materiales

En nuestro caso, todas las medidas que hemos realizado se han hecho con un telescopio reflector y otro catadióptrico, en los cuales se ha colocado una lámina de Baader delante del tubo, filtrando así la parte correspondiente de luz y haciendo segura la observación.

El primero de ellos, el catadióptrico, es un tipo de telescopio llamado Schmidt-Cassegrain, el cual, además de tener los dos espejos esféricos para minimizar la longitud del tubo, cuenta con una lente correctora en la boca del tubo. Este tiene una apertura de 150 milímetros y una longitud focal de 1500 mm.

Fig. 6. Catadióptrico, es un tipo de telescopio llamado Schmidt-Cassegrain de 150 mm. (Fotografía de los autores).

El otro de los telescopios es uno de los conocidos como newtonianos, y este simplemente está formado por un espejo parabólico en el fondo del tubo y otro espejo secundario colocado a 45º que desvía la luz hacia el ocular. Su apertura y su longitud focal, respectivamente, son 200 y 1200 milímetros.

Fig. 7. Telescopio Newtoniano. (Fotografía de los autores).

Resultados

Actividad solar.

Una vez obtenidas todas las medidas del número de Wolf, las hemos representado en una gráfica. En el eje horizontal representamos los días, y en el eje vertical representado la actividad del sol de dicho momento apuntando el mencionado número de Wolf.

Debido al bajo número de medidas que tenemos, de unos dos meses, no podemos deducir nada sobre el ciclo solar, puesto que su duración es de entorno a once años. Pero eso no quiere decir que no podamos sacar ninguna conclusión, ya que simplemente al ver la gráfica, nos damos cuenta de que es un astro en continuo cambio. En este periodo de tiempo hemos observado una gran variación de la actividad solar, puesto que a principios de julio nos encontramos con un mínimo número de manchas. Poco a poco empezamos a ver más, llegando a observar hasta nueve grupos a la vez, algunos de ellos con unas dimensiones bastante grandes.

Una observación continuada del sol a lo largo de varios años nos proporciona una gráfica en la cual podemos observar claramente los ciclos de actividad solar, apreciando los máximos y los mínimos. A continuación mostramos un ejemplo facilitado por los observadores que colaboran con la página web www.parhelio.com.

La línea amarilla son las observaciones diarias, la verde representa los mismos datos de manera suavizada y la rosa y la azul muestran la actividad, ya suavizada, de cada hemisferio.

Periodo de rotación solar

Un resultado secundario obtenido a raíz de nuestro proyecto resultó ser una medida del periodo de rotación solar en el ecuador (no es el mismo a diferentes latitudes).
Este surgió al comparar los dibujos realizados durante el transcurso de diez días, en los cuales observamos el movimiento del grupo 2135 (indicado con una flecha roja en la imagen adjunta) a través de todo el disco.

Una pega que encontramos fue el hecho de que no tenemos observaciones del surgimiento de este grupo por el Este solar, solo tenemos su puesta por el Oeste por lo que no tenemos el tiempo preciso entre su surgimiento y desaparición por el limbo.

A pesar de ello y gracias a la extendida observación que hemos realizado, pudimos determinar que el tiempo que pasó desde que apareció el grupo y llegó a la posición primera de la que tenemos información, es de aproximadamente dos o tres días.

Por lo tanto, sabemos que el grupo surge sobre los días 4-5 de Agosto y se pone el 17 de ese mismo mes. Esto quiere decir que el sol tarda en dar media rotación 12,5 días. Considerando la rotación solar uniforme, determinamos que el tiempo transcurrido en una rotación completa, es decir, el periodo, es de 25 días, dato que concuerda con las medidas oficiales.

Evolución de los grupos

Inevitablemente al hacer una observación sistemática del sol prolongada en el tiempo, nos dimos cuenta de que los grupos (compuestos de manchas) no son estáticos, sino que están en continuo cambio.

Así podríamos seguir un buen rato: manchas que se dividen, se fusionan, simetría de la penumbra respecto de la umbra, formas, distribuciones etc.

A veces nos encontramos que grupos pequeños, compuestos por escasas manchas, sin presencia de penumbras ni estructura compleja, cambian de la noche a la mañana convirtiéndose en un grupo con polaridad evidente, con presencia de manchas intermedias, penumbras y mucho más complejos.
Otras veces tenemos que una gran mancha con penumbra apenas varía en lo que dura su paso por el sol, meramente rodeándose de pequeños focos que vienen y van.
Estos fenómenos son los que hacen de la observación solar algo interesante, divertido, cambiante y gratificante.

En nuestro caso nos vamos a centrar en el grupo 2152, el que como en el primer ejemplo mencionado arriba, hace aparición en el disco como un tímido grupo de cuatro manchas rodeado de fáculas que posteriormente se transformará en uno bastante más complejo.

[*Al comienzo del trabajo la clasificación de grupos que se siguió fue la de Zurich. Posteriormente adoptamos la de McIntosh, algo más compleja y que clasifica con más detalle los grupos. En los dibujos únicamente pusimos esta última clasificación en el tercero, cuarto y quinto. La clasificación del resto se realizó a posteriori.]*

El día 28/08 aparece un grupo con cuatro manchas que apenas llama la atención. Lo clasificamos como Bxo, donde la *B* corresponde a un grupo bipolar sin penumbra, la *x* a la penumbra de la mancha principal, en este caso inexistente, y la *o* a la distribución de las manchas dentro del grupo, siendo una distribución abierta y dividido en dos zonas de polaridad magnética opuesta.

Dos días más tarde, el 30/08 (tercera imagen), las manchas principales de cada polo presentaban ya penumbra y había crecido el número de focos intermedios.
Su clasificación fue Dso: bipolar con penumbra en las manchas de ambas polaridades, penumbra simétrica con núcleos compactos y las manchas distribuidas en la zona intermedia.

El gran cambio fue el día siguiente, el 31/08 (cuarta imagen). Las manchas de cada polo desarrollaron focos menores dentro de la misma penumbra y surgieron otras manchas intermedias con penumbra. El grupo entero se alargó y empezó a generarse dos puentes que unirían las manchas principales tanto por arriba como por abajo.

Tres días más tarde, el 3/09 (quinta imagen), el grupo siguió evolucionando y estirándose. Las manchas principales perdieron algún foco en el interior de la penumbra pero aun se apreciaban

penumbras intermedias y la presencia de los dos puentes o brazos que unían ambas polaridades.
La clasificación resultó ser Ehc: bipolar con penumbra en las manchas de ambas polaridades, penumbra simétrica y distribución compacta de manchas.

En estos mismos dibujos también podemos ver la aparición y evolución de otros grupos, como el 2153.

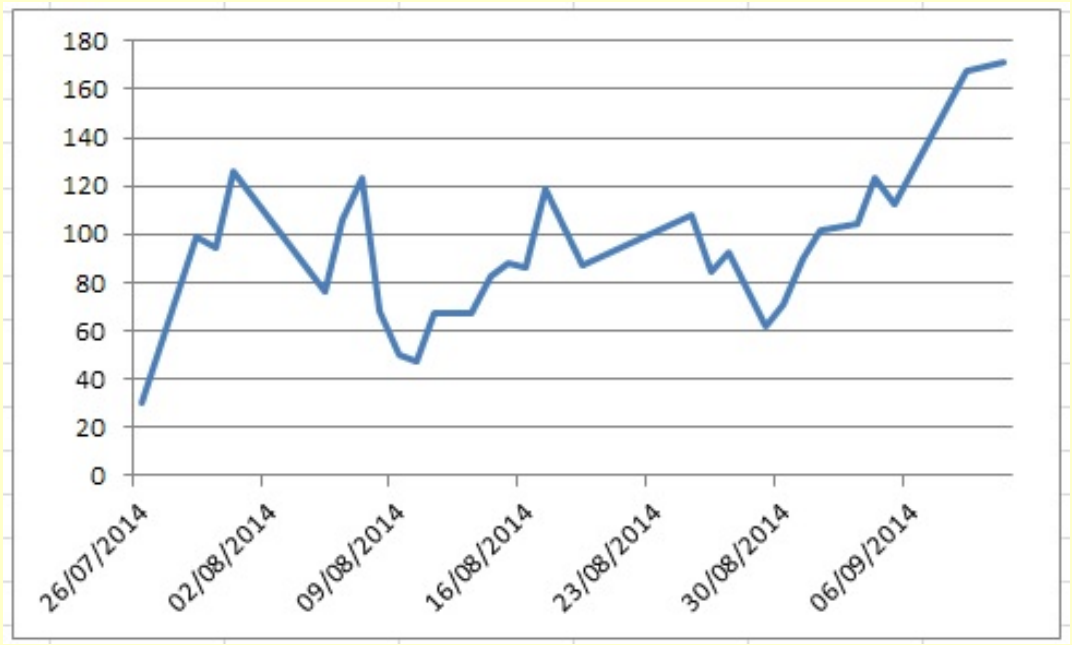


Fig. 8. Actividad resultante en el período de observación. (de los autores)

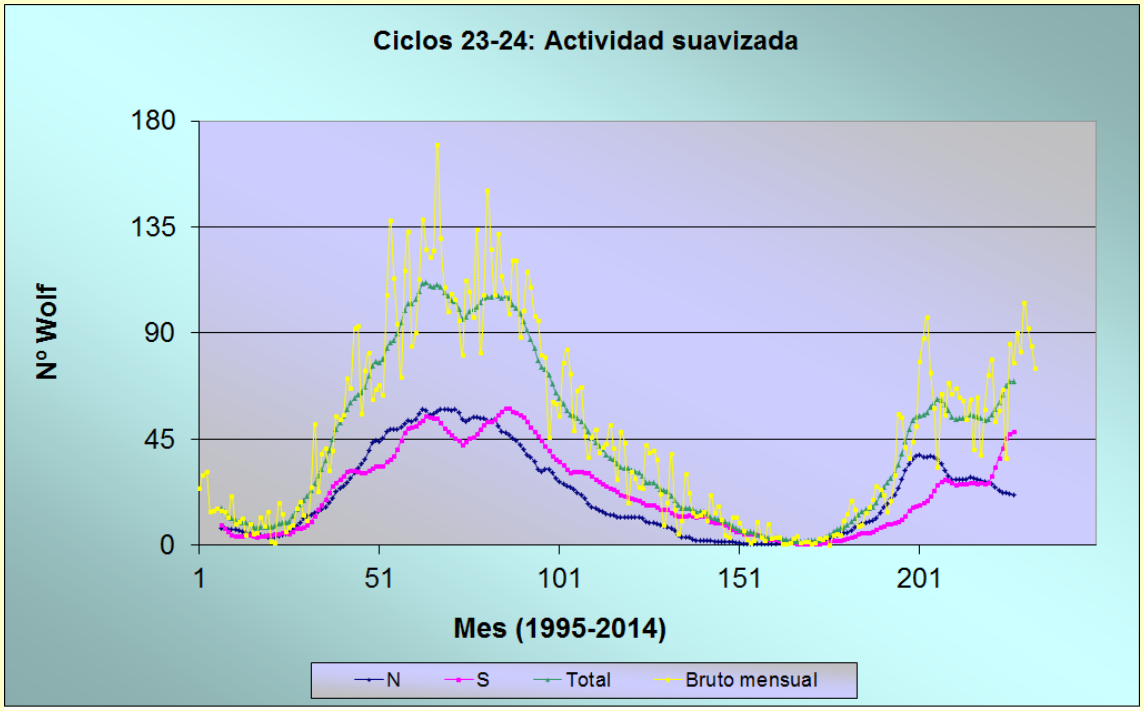


Fig. 9: Actividad solar a lo largo del ciclo 23 y parte del 24 (Créditos: Javier Alonso)

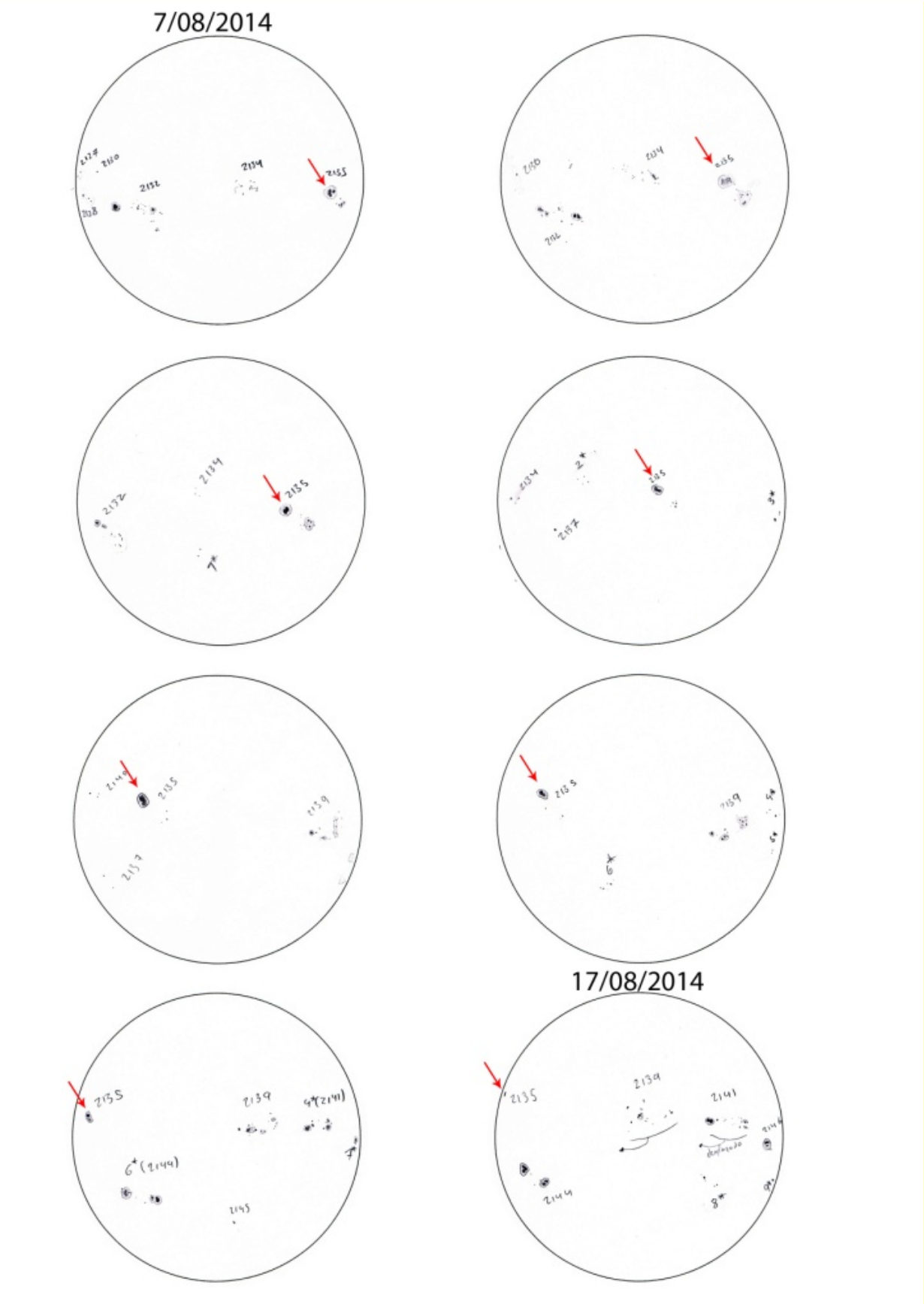


Fig. 10: Rotación solar plasmada en dibujos diarios (de los autores)

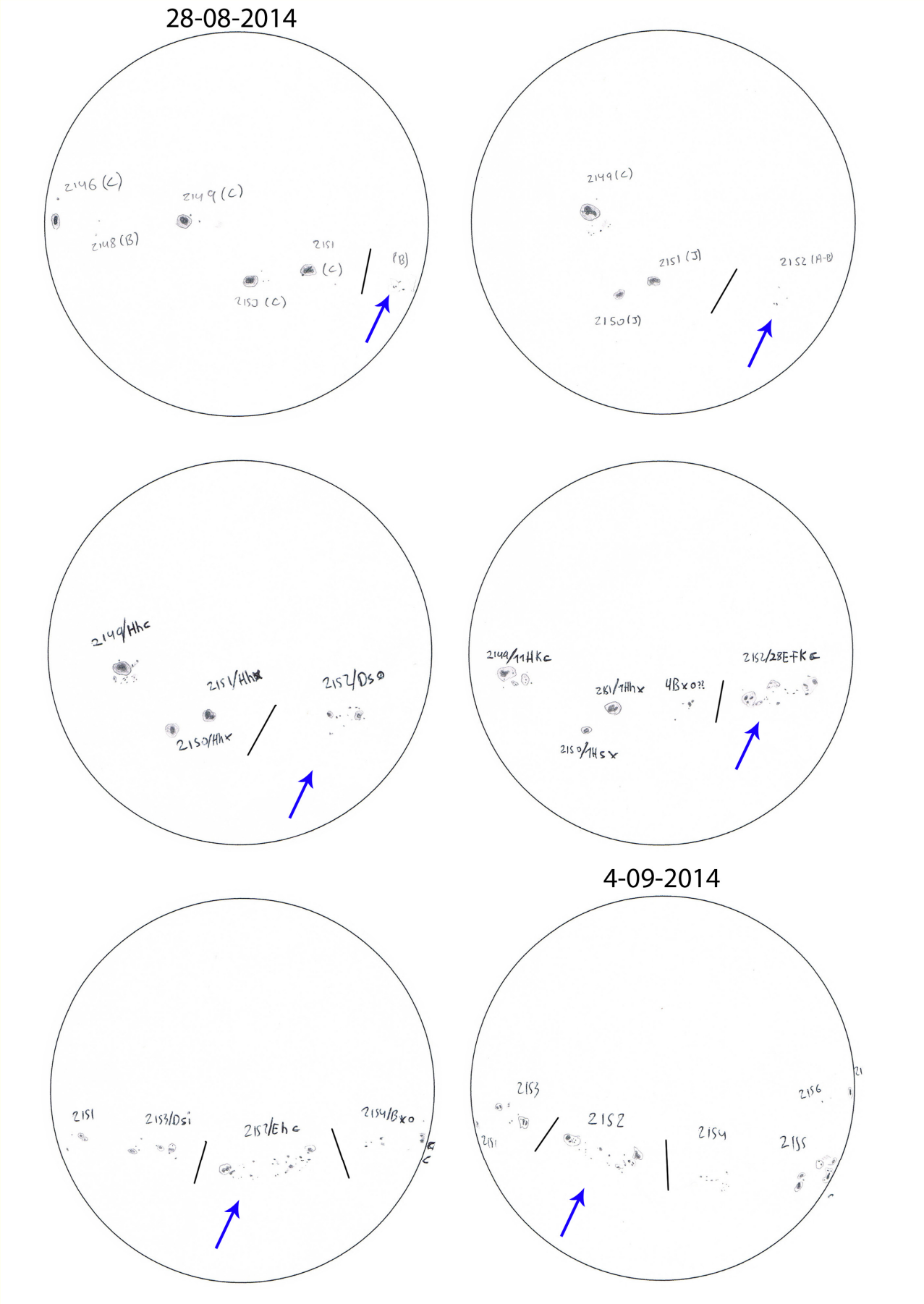


Fig. 11. Evolución de un grupo plasmada en dibujos diarios (de los autores)

Conclusiones

Como hemos visto, con poco material y desde casa, podemos pasar del deleite observacional a la realización de ciencia y obtención de resultados.
Cuando uno realiza estas o similares experiencias por su cuenta, ve que el conocimiento escrito en los libros es cierto y no son dogmas que hay que creerse por estar ahí recogidos.
Con ello se va introduciendo en el método científico, en el mundo de la investigación. Ve que no todo son ríos de tinta y horas de estudio, sino que sigue los pasos de los científicos que con sus investigaciones y curiosidad contribuyeron al avance del conocimiento humano.

Y lo más importante de todo: construye un espíritu crítico ante lo nuevo, ante las enseñanzas que adquiere, ante la información que recibe y ante un mundo de quimeras que anhela ser comprendido.

De antigua iglesia a aula de astronomía: San Pedro cultural, un edificio a cielo abierto

Oscar Díez Higuera
Profesor de Física y Química de Educación Secundaria
Carlos del Olmo García
Arquitecto coautor del Proyecto "San Pedro cultural"

El edificio de San Pedro cultural, que será inaugurado en breve, se ha construido sobre el arruinado templo de San Pedro, en la localidad palentina de Becerril de Campos, muy cercana a la capital; un edificio que aglutina muchos estilos arquitectónicos, desde una portada románica del siglo XII, hasta arcos, bóvedas y cornisas barrocas aspecto con el que finalizó su anterior vida útil. La iglesia, ya derruida ha sido reconstruida y transformada en aula de astronomía, con varios recursos didácticos; un proyecto que une arte, arquitectura y astronomía en una experiencia única.

Introducción

Podríamos denominarlo "un edificio a cielo abierto" pues lo que encontramos al inicio del proyecto arquitectónico eran arcos a punto de colapsar, bóvedas colapsadas, restos de la cubierta sobre el suelo, agrietamientos, fachada oeste desaparecida junto con la torre, ábside agrietado, porche al descubierto. En la reconstrucción se han consolidado los arcos formeros, las bóvedas y el ábside junto con los restos de muros perimetrales, colocando por encima de ellos un estelario que simula el cielo nocturno.

El interés astronómico del edificio estriba en que durante su rehabilitación se han incluido en él diversos instrumentos de comprensión del Universo: trazado de una línea meridiana, diseño y construcción de un péndulo de Foucault, el estelario en el intradós de la nueva cubierta, un reloj de Sol de doble cara en el atrio y otras referencias al tiempo y al espacio inherentes al propio edificio.

Describimos el fundamento astronómico de estos elementos, especialmente de la meridiana, que fue el inicial *leivmotiv* astronómico del proyecto.

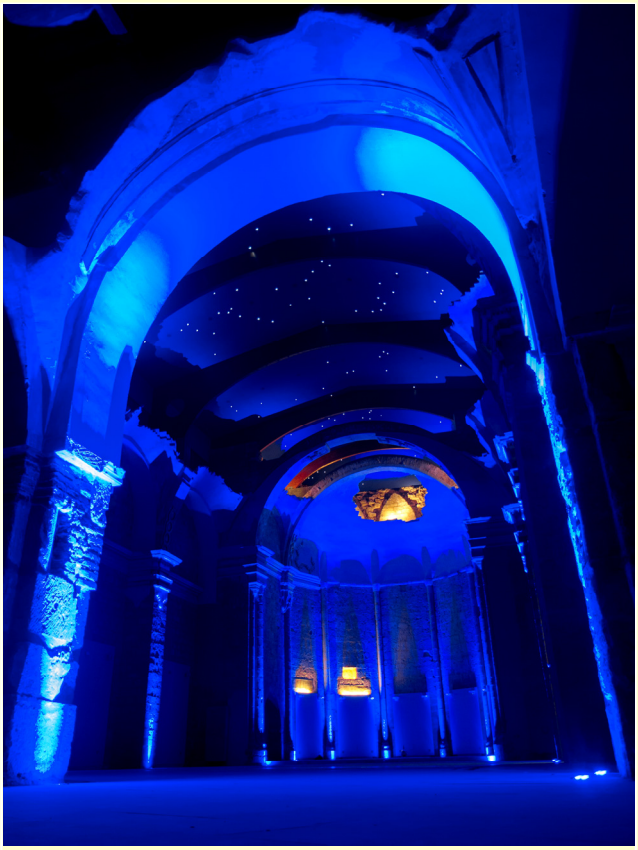


Fig. 1. Vista interior de San Pedro cultural.

Revista de Ciencias, 5, 30-37, enero 2015
ISSN: 2255-5943

Fig. 2. Fotografías del estado de San Pedro previas a la restauración y posterior a la misma. Notar la presencia del péndulo de Foucault en primer plano y el estelario en la bóveda.

La línea meridiana

Considerando nuestro planeta, llamamos plano meridiano local al que pasa o queda determinado por tres puntos que son: los dos Polos y el lugar en que nos encontramos.

De una forma general podemos decir que una meridiana es la intersección del plano meridiano local con cualquier superficie de nuestro entorno. Si esa superficie es horizontal, la meridiana indica la dirección Norte-Sur. En nuestro caso dicha superficie es el pavimento de San Pedro y como su objetivo es ver la proyección solar, está limitada por las proyecciones correspondientes a los solsticios, de invierno hacia el Norte, y de verano hacia el Sur.

Otras líneas meridianas tienen otros objetivos, como los "meridianos cero", que antiguamente marcaban el origen de longitudes para la cartografía de los diversos países. El más conocido es el de Greenwich, que actualmente es el origen a nivel mundial, pero también los hay en el Observatorio de París o sobre el crucero de la catedral de Colonia.

También encontramos una meridiana en los relojes de Sol, la línea de las 12 del mediodía, y en algunas ciudades podemos ver meridianas verticales que indican con precisión el mediodía solar y que antiguamente se usaban para que cualquiera pudiera poner su reloj en hora.

La idea de colocar una meridiana en el pavimento de San Pedro surgió a raíz de una visita a la iglesia de Santa Mª de los Ángeles en Roma, donde Domenico Bianchini trazó una "meridiana en cámara oscura". En ella el Sol proyecta una elipse en el suelo desde un orificio llamado estenope y practicado en uno de los muros orientado hacia el Sur (ver fig. 4).

Fig. 3. Meridiana en San Pedro cultural.

Elementos de una meridiana en cámara oscura:
1) La propia cámara oscura, un edificio oscuro y suficientemente amplio como algunas iglesias,
2) El foro gnomónico o estenope, el pequeño orificio abierto hacia el exterior y orientado hacia el Sur

3) La línea meridiana, una línea orientada Norte-Sur y materializada sobre el pavimento, con una banda metálica, de acero en nuestro caso.

Enlace para ver un *timelapse* del paso meridiano de la proyección en Becerril.
https://www.youtube.com/watch?v=8YjKDZ_TP18

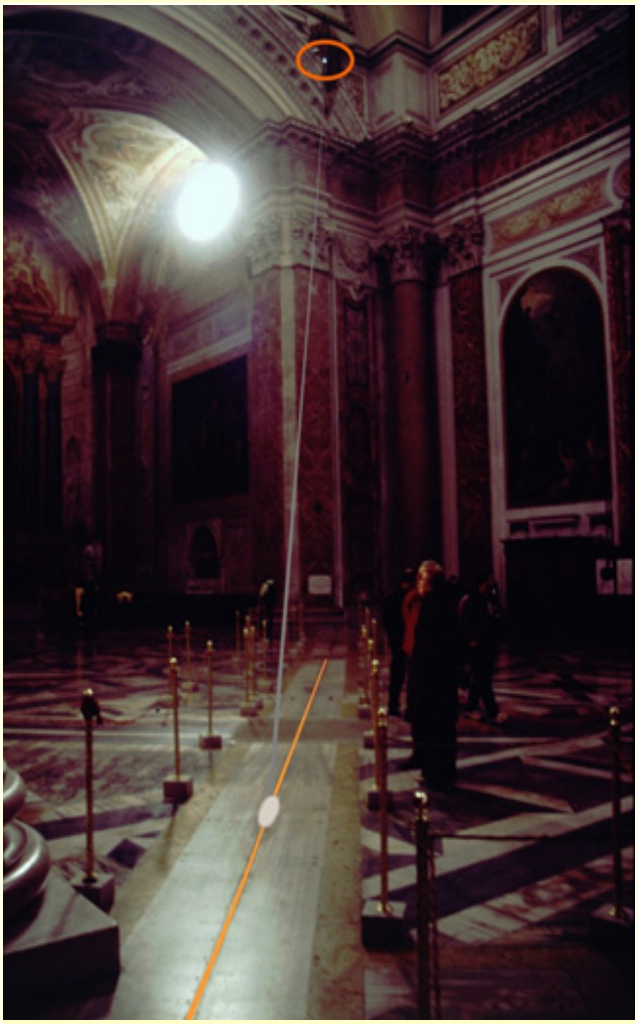


Fig. 4. Meridiana en Santa Mª de los Ángeles en Roma

El estenope de San Pedro está sobre una de las ventanas y como curiosidad su forma es elíptica con una orientación y forma determinadas para que durante los equinoccios el estenope "se vea" como un círculo y proyecte una imagen donde la nitidez sea más homogénea perimetralmente. En la proyección que se obtiene del Sol se pueden observar las manchas solares más significativas.

Otra característica de San Pedro es que la meridiana sube por uno de los pilares para observar la proyección en la época del solsticio invernal.

Funciones de la línea meridiana

1) Indicar la hora exacta del mediodía solar verdadero, relacionado con la rotación terrestre tomando como referencia el Sol, este periodo se denomina día solar. La observación precisa se hace registrando los instantes en que la elipse proyectada toca la línea meridiana, a la entrada y a la salida. El momento del mediodía queda determinado por la media: t_mediodía=(t1+t2)/2, donde t1 corresponde al contacto inicial y t2 al contacto final.

2) Indicar los solsticios y los equinoccios, relacionados con la traslación terrestre y con el periodo denominado año trópico o de las estaciones. Los solsticios ocurren cuando las proyecciones alcanzan sus posiciones extremas sobre la meridiana: verano sobre el extremo austral e invierno sobre el boreal.

3) También puede usarse como calendario, pues a lo largo del año el Sol se va proyectando cada día en diferentes posiciones fácilmente relacionadas con el día del calendario.
Sobre la línea meridiana hemos indicado los ángulos de altura solar al mediodía, la cual va variando a lo largo del año, en función de la fecha.

4) Medir ángulos con gran precisión y, consecuentemente, determinar periodos como la duración del año trópico de 365,2422 días, relacionado con las estaciones y el calendario, lo cual fue muy importante en la época en que se comenzaron a construir las grandes meridianas, uno de cuyos objetivos fue la reforma del calendario cristiano.

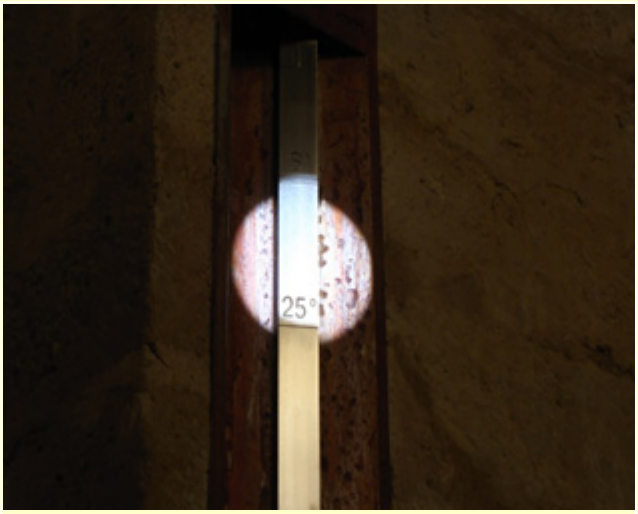


Fig. 5. Uso de la meridiana, de San Pedro, en la medida de ángulos y períodos del año trópico.

Aplicación a la reforma del calendario

El periodo de construcción de las grandes meridianas clásicas abarca entre 1461 en Florencia (Sta. Mª de las Flores) y 1895 en Módica (iglesia de S. Jorge). El objetivo inicial fue lograr mayor precisión en el estudio de los ciclos que regulaban el calendario cristiano en el que encontramos fiestas fijas y fiestas movibles, estas últimas dependientes de la Pascua.

En el Concilio de Nicea allá por 325 dC se determinó que la Pascua sería en el domingo sucesivo al plenilunio tras el Equinoccio de Primavera, que en aquella época ocurría hacia el 21 de Marzo.

El calendario en uso era el Calendario Juliano con años de 365,25 días (365+1/4), pero que no era exacto, pues el año duraba realmente 365,2422 días como pudo determinarse con las meridianas. El resultado fue que en 1500 el equinoccio se atrasaba ya 10 días, ocurriendo el 11 de Marzo.

En 1582, el Papa Gregorio XIII, natural de Bolonia donde se construyó una gran meridiana, llevó a cabo la Reforma del Calendario estableciendo para ello una Comisión a tal efecto, en la que se encontraban algunos de los mejores astrónomos de la época, como Clavius o Ignacio Danti que en 1575 había construido la Meridiana de San Petronio en Bolonia.

La Reforma Gregoriana del Calendario Juliano consistió en:

a) Adelantar 10 días pasando directamente del jueves 4 al viernes 15 de octubre de 1582.
b) Eliminar 3 bisiestos cada 400 años.
Así no son bisiestos, aunque según el calendario Juliano lo serían, los llamados años seculares (los finales de cada siglo o terminados en 00) no divisibles por 400. Por ejemplo 1700, 1800 y 1900 no fueron bisiestos, pero 2000 sí lo fue al ser divisible entre 400.

Curiosamente el año 2000 (año secular) fue el último del siglo XX y del milenio, por lo que el cambio de siglo y de milenio ocurrió realmente el 01 de enero del 2001, a pesar de las celebraciones que se hicieron al terminar 1999. Como anécdota, Santa Teresa murió el 4 de octubre de 1582, y fue enterrada al día siguiente, el 15 de octubre, aparentemente 10 días después.

Con esta reforma el nuevo calendario solo se desvía un día cada 3226 años, y esto también se ha corregido, eliminando 1 bisiesto cada 4000 años (se eliminan los milenarios, finales de milenio, múltiplos de 4000). Así el año 4000 no será bisiesto. Con todas estas correcciones la duración del año queda en 365,25–3/400–1/4000=365,2422 días valor ajustado a las cienmilésimas respecto al real.

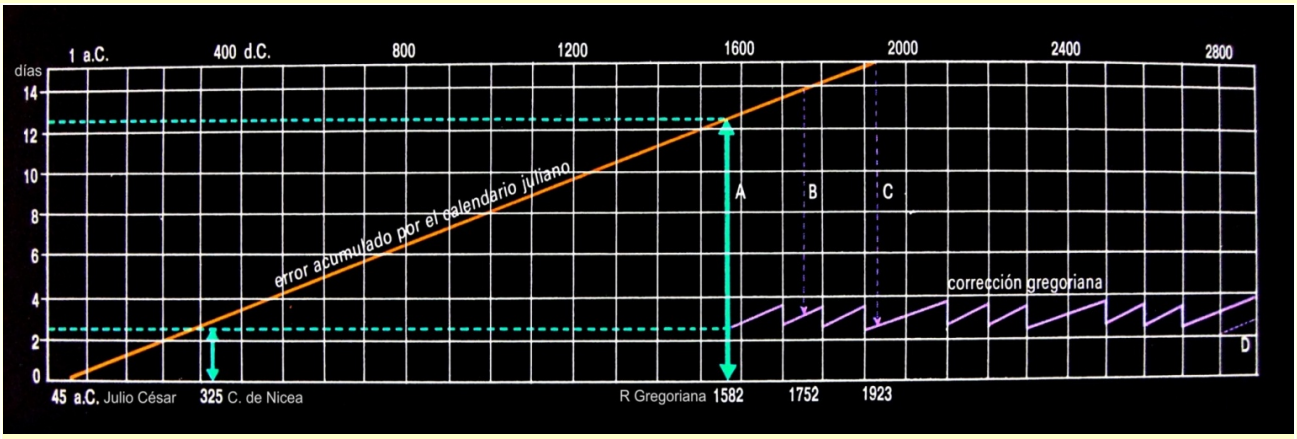


Fig. 6. Esquema de la corrección introducida por el calendario gregoriano.

Otras funciones de las meridianas

En 1655 Gian Domenico Cassini construyó la nueva meridiana de San Petronio en Bolonia, sustituyendo a la de Danti que había quedado inutilizada por las reformas de la iglesia. Su altura gnomónica era de ~27m y la longitud meridiana de ~67m con lo cual consiguió un instrumento de gran precisión al que llamó Heliómetro. Cassini con la nueva meridiana en S Petronio:
a) Midió la duración del año trópico con gran precisión
b) Confirmó la Segunda Ley de Kepler
c) Determinó la oblicuidad de la eclíptica

d) Estudió las correcciones por refracción atmosférica

Como ejemplo veamos cómo se confirmó la segunda Ley de Kepler: algo ya conocido era que el Sol parece moverse por la bóveda celeste más lentamente en verano que en invierno. Por otra parte ya en la antigüedad se sabía que el Sol está más alejado de la Tierra en el verano y sería esa distancia mayor la que haría que pareciera más lento, pero no había medidas cuantitativas de tal efecto. Kepler, que ya había propuesto las órbitas planetarias elípticas se preguntó «¿El Sol parece moverse más lento porque está más lejos o es efectivamente más lento?»

Según su Segunda Ley de 1609 «La Tierra se mueve más rápido cuando está más cerca del Sol y más lentamente cuando está más lejos» y ello en una proporción acorde con el hecho de que el radio vector Sol-Tierra barre áreas iguales en tiempos iguales.

Utilizando su meridiana Cassini fue capaz de determinar las variaciones en el diámetro solar a lo largo del año, con una precisión de un minuto de arco y demostró que la disminución de la velocidad no es proporcional a la aparente disminución del diámetro solar (es decir a la distancia), siendo así que la falta de uniformidad no es aparente, sino real. Esta fue la primera confirmación observacional de la Segunda Ley de Kepler en una época en la que aún había controversia entre los sistemas Geo y Heliocéntrico.

Fundamento astronómico de la meridiana

Desde un punto de vista heliocéntrico, es decir mirando desde el Sol, la Tierra orbita a lo largo de un año alrededor del Sol con su eje de rotación inclinado respecto al eje orbital, lo que da lugar a las estaciones.

Desde un punto de vista geocéntrico, mirando desde el centro terrestre, el Sol parece moverse por la Eclíptica, entre las constelaciones zodiacales, a lo largo del año.

Y desde un punto de vista topocéntrico, es decir centrado en el lugar de observación, el Sol sale cada día por Oriente y se pone por Occidente.

Combinando todos estos puntos de vista la consecuencia es que la proyección solar resultante sobre un plano horizontal son hipérbolas diarias cuyo eje coincide con la meridiana y que van variando a lo largo del año, siendo su curvatura máxima durante los solsticios y degenerando en líneas rectas durante los equinoccios (ver fig. 7).

La evolución anual de la trayectoria aparente del Sol por el cielo puede verse en las solarigrafias, fotografías de larga exposición realizadas con la técnica de pequeña cámara oscura (ver fig. 8).

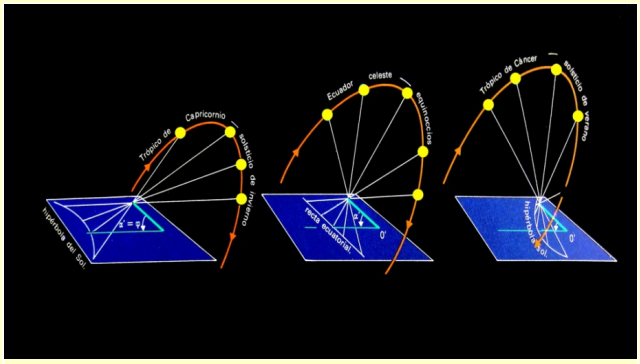


Fig. 7. Ilustración del fundamento astronómico de la meridiana

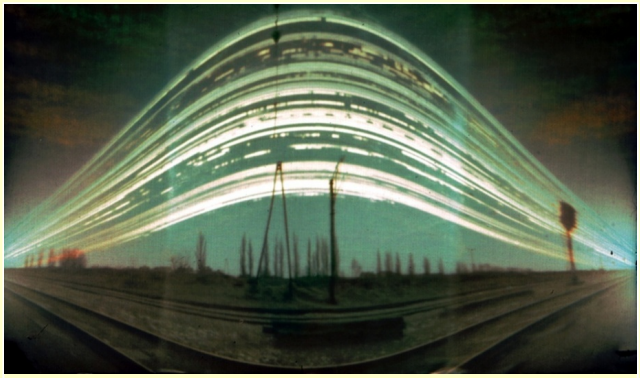


Fig. 8. Solarigrafías

Meridiana polar o boreal

También consiste en una línea Norte-Sur, pero ahora lo que se proyecta sobre ella no es el Sol sino la Estrella Polar y su movimiento aparente alrededor del Polo Norte celeste. Como la luz de la estrella es muy tenue, las observaciones se hacen usando un catalejo o pequeño telescopio alineado con la meridiana y dirigido hacia una cruceta o estenope practicado sobre una ventana orientada hacia el Norte. Su objetivo es hacer observaciones de la Estrella Polar, concretamente de su trayectoria aparente a lo largo del día, que en este caso se denomina día sidéreo y también del cambio de su posición respecto al Polo, debido al lento movimiento de precesión del eje terrestre.

En San Pedro tenemos un estenope boreal, sobre una ventana orientada hacia el Norte, y en el futuro se trazará sobre el pavimento la meridiana y la elipse de la proyección de la Polar.

Como ejemplo tenemos la meridiana polar de Sta. Mª de los Ángeles que fue realizada por Bianchini bajo los auspicios del Papa Clemente XI. En el suelo de mármol se trazaron las elipses que proyectó y proyectará diariamente la Estrella Polar, a lo largo de varios siglos, desde el año 1700 hasta el 2500.

La polar gira alrededor del Polo N celeste con un periodo de 23h 56min el denominado día sidéreo, relacionado con el "auténtico" periodo de rotación terrestre, puesto que se toma como referencia un punto casi fijo como es la Polar. El día solar de 24 horas es útil por estar relacionado con el ciclo de luz que controla nuestra vida, pero toma como referencia un objeto que se mueve a lo largo del año por la bóveda celeste, como es el Sol.

Cuantitativamente la diferencia está clara, puesto que el Sol recorre anualmente la bóveda con un ciclo de ~365 días, tenemos: 24·60/365=~4 min que es la diferencia entre día solar y día sidéreo. Por otra parte la proyección diaria de la Polar va variando con los años debido a la precesión del eje terrestre que consiste en una rotación del propio eje semejante a lo que ocurre en las peonzas. En el caso de la Tierra el periodo es muy lento de unos 25800 años, a lo que se denomina año platónico.

Péndulo de Foucault

En el ábside de San Pedro también se ha instalado un péndulo de Foucault con una esfera de acero de unos 100 kg y cuyo cable parece colgar de la bóveda celeste que se observa a través del derrumbe de la propia bóveda del ábside (ver fig. 10).

Foucault en 1851 realizó un famoso experimento, en el que colgó su péndulo de la cúpula del Panteón de París, con un cable de 68m y una esfera de 28kg. Al observar la lenta deriva del plano de oscilación pudo demostrar la rotación terrestre sin necesidad de mirar a las estrellas. Fue el primer experimento científico divulgativo de puertas abiertas al público y al que acudieron los parisinos en masa.

El periodo de oscilación de un péndulo a pequeñas amplitudes de oscilación depende solo de la longitud del cable y de la gravedad y su plano de oscilación tiende a permanecer en su estado inicial por inercia.
En el Polo Norte un péndulo de Foucault mantiene su plano de oscilación con respecto al espacio (las estrellas), pero un observador terrestre lo vería derivar lentamente en sentido horario con un periodo de 23h 56min, justo el periodo sidéreo de rotación terrestre. La velocidad angular de deriva Ω será de unos 360 /~24 =~15º por hora.

En latitudes medias la situación es un poco más compleja, pues aparecen componentes angulares ω_z que dependen de la latitud del lugar λ, siendo ahora la velocidad angular de deriva Ω=~15(º/h)·senλ (ver esquema de la fig. 9).

Y sobre el Ecuador el plano se mantendrá permaneciendo en su orientación inicial al anularse la componente de deriva.

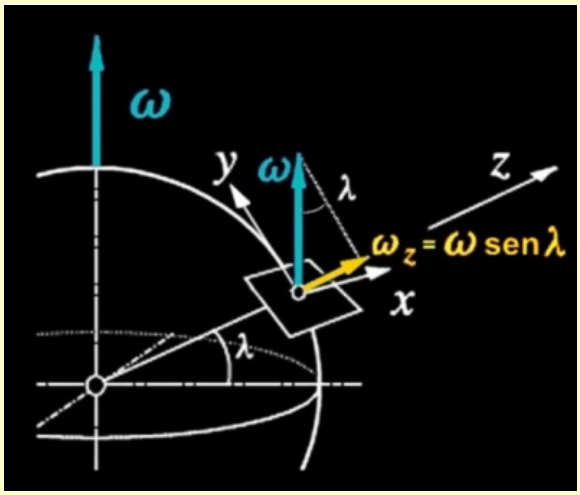


Fig. 9. Esquema de la descomposición de la velocidad de rotación terrestre en función de la latitud del lugar

Fig. 10. Péndulo de Foucault en el ábside de San Pedro

Stellarium de San Pedro

En el intradós de la nueva cubierta, por encima de los antiguos arcos, se ha instalado un estelario que simula, con diodos, algunas constelaciones del verano en estas latitudes (ver fig. 11).

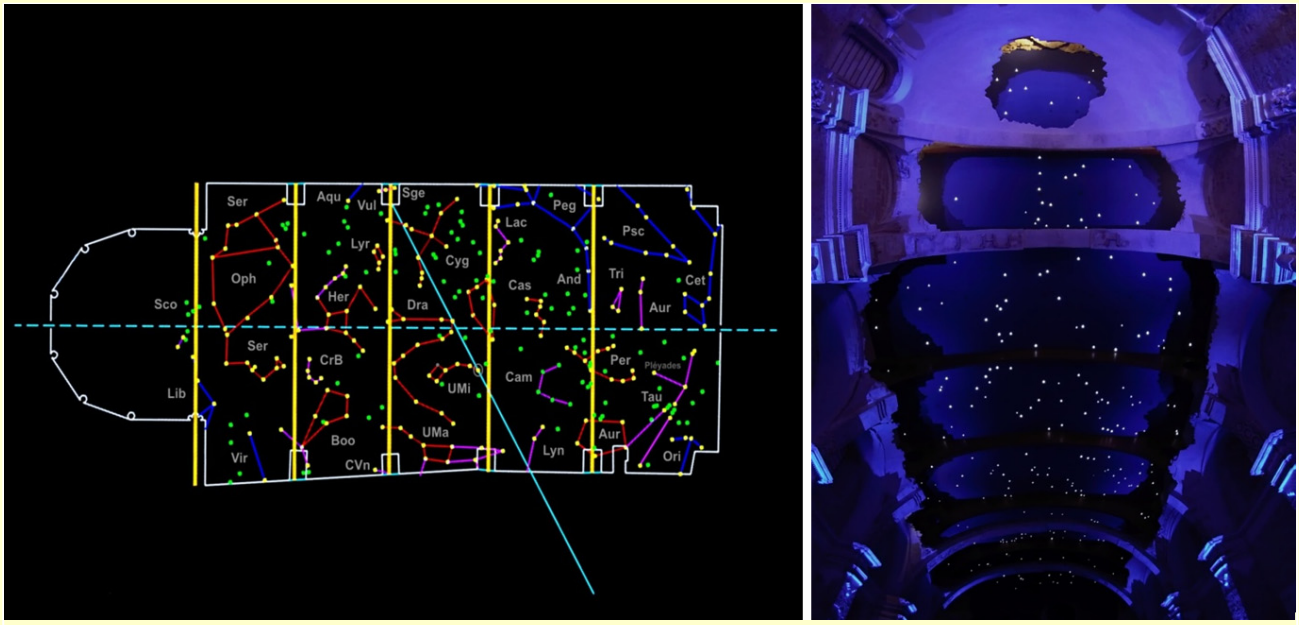


Fig. 11. Estelario de la bóveda de San Pedro.

Estenope occidental

Otro elemento interesante es el estenope realizado en el óculo o ventana circular del antiguo coro, que durante el solsticio de invierno proyecta sobre el ábside la imagen solar (ver fig. 12). Ocurre de tal forma que en un momento dado dicha proyección penetra en el nicho estrellado que se descubrió en el ábside, haciendo que repentinamente queden iluminadas las estrellas con la anaranjada luz del Sol poniente.

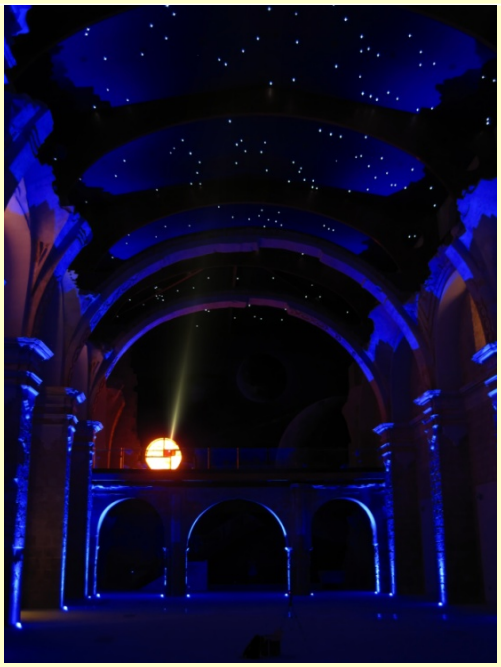


Fig. 12. Estenope practicado en San Pedro

Enlace para observar el movimiento aparente de las pruebas que se hicieron el día del solsticio de invierno.
https://www.youtube.com/watch?v=_f5-dCxbeRs

Reloj solar de doble cara

En el atrio exterior de San Pedro, sobre una de las esquinas, se ha colocado un reloj solar de doble cara (ver fig. 13). Está formado por dos cuadrantes declinantes, es decir no orientados exactamente hacia el Sur, y cuya finalidad evidente es el conocimiento de la hora solar local durante gran parte del día. Se trazaron una vez establecida la declinación de los paramentos en que se iban a colocar.

Fig. 13. Reloj de sol de doble cara en San Pedro

Reconocimientos

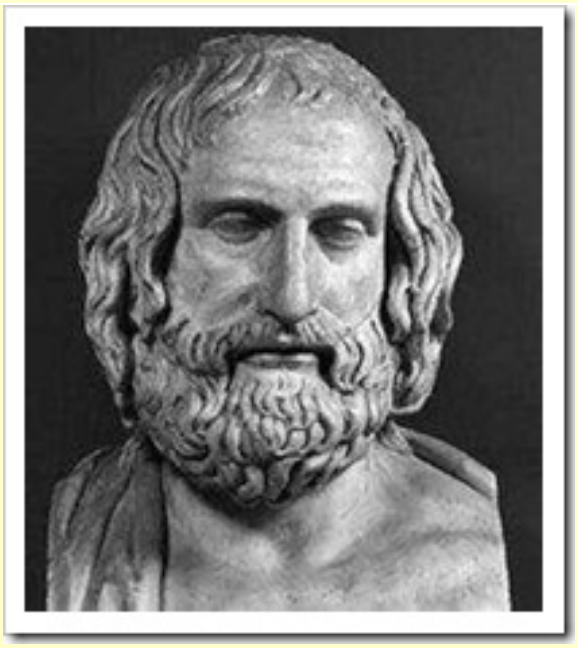
El proyecto de San Pedro cultural ha sido ejecutado según Proyecto de los arquitectos Álvaro Gutiérrez Baños, Juan del Olmo García y Carlos del Olmo García, ejecutado por la empresa Cabero y promovido por el Excmo Ayuntamiento de Becerril de Campos, con financiación del 1% Cultural del Ministerio de Fomento. Con la colaboración de: Agrupación Astronómica Palentina. INMAPA

Encuentro con pensadores…

A propósito de Protágoras

Fernando Muñoz Box
Dpto. de Física Teórica, Atómica y Óptica. Universidad de Valladolid

"πάντων χρημάτων μέτρον ἄνθρωπος, τῶν μὲν ὄντων ὡς ἔστιν, τῶν δὲ οὐκ ὄντων ὡς οὐκ ἔστιν."
"El hombre es la medida de todas las cosas. De las que son porque son y de las que no son porque no son"



Protágoras de Abdera
(Πρωταγόρας) (Abdera 485 a. C. -410 a. C)

No quiero hacer un análisis de este texto griego, ni siquiera de su traducción más correcta. Me basta con suponer lo que parece que Protágoras quiso decir según el parecer de muchos. Pero me gustaría ir más allá y encontrar lo que puede sugerir ese texto a cualquiera, o por lo menos lo que a mí me sugiere, precisamente en el siglo XXI.

Todos tenemos la idea de que el mundo, o el universo si lo preferimos, se compone de cosas, que a veces llamamos seres, y que los hay vivos e inertes, distinción que parece fundamental, si no fuera porque estos últimos, los inertes, pueden ser cambiantes unos y otros estables, y ello nos obligaría a tener que definir con cierta precisión lo que llamamos vida.

Pero resulta que nuestro universo no se compone sólo de cosas, sino también de algo que por ahora llamaré relaciones. Y aquí empezamos a rozar el problema, porque con toda intención he escrito "nuestro universo", en lugar de decir simplemente "el universo", como para indicar que el universo lo hemos construido nosotros, o mejor lo vamos construyendo entre todos con nuestras vivencias. Trataré de poner algunos ejemplos que demuestren que el hombre no es simplemente la medida de todas las cosas sino el "medidor" de eso que entendemos que es "nuestro universo".

Lo que además trato de insinuar aquí es que "cosas" hay muchas en el universo, no importa cuántas. Pero relaciones hay muchas más. Para comprender lo que quiero decir no hay sino pensar en que pasaría si el hombre no existiese ni hubiese existido nunca en el universo. Todo sería muy diferente, y para empezar faltaría incluso el mismo universo, que no es sino la

Revista de Ciencias, 5, 38-39, enero 2015
ISSN: 2255-5943

relación que el hombre piensa o cree que engloba todo lo existente. Sin hombre no hay universo. Y si esta afirmación parece muy dura, la podremos suavizar diciendo que es seguro el que sin hombre no existiría "nuestro universo". Pero no pretendo negar la existencia de galaxias, estrellas y planetas, que no necesitan del hombre para existir. De ninguna manera soy un idealista impenitente, sino que quiero resaltar que es el hombre la medida, o mejor el medidor, de todo lo que existe.

Me gustaría hacer un catálogo completo de las relaciones que el hombre medidor ha insertado en el universo mientras lo ha ido construyendo. Es tarea imposible, pero hablaré de algunas que son ciertamente relaciones que el hombre ha "creado" para explicarlo.

Empezaremos por el espacio y el tiempo, relaciones primordiales que el gran Kant consideró que eran "formas a priori". Seguiremos con los estados, los países, las invisibles fronteras, las instituciones que, como la universidad, no son exactamente lo mismo que los edificios que decimos que las contienen, ni las personas que las forman, ni los poderes que las gobiernan. Más allá nos encontraremos con las matemáticas, los números, las medidas. Y para terminar repasaremos algunas relaciones físicas que sin ser "cosas" y siendo por tanto imposible que las podamos "coger" en nuestras manos, somos sin embargo capaces de medirlas hasta límites inconcebibles. Por ejemplo la velocidad de la luz.

Quizá nos encontremos por nuestro caminar con las leyes de la naturaleza, que también creemos que son relaciones que el hombre medidor descubre en esa otra relación a la que llamamos "naturaleza". Y sobre esas leyes tenemos algo que decir.

Nota del editor: breve reseña biográfica de Protágoras de Abdera

(Abdera, actual Grecia, 480 a. C.-id., 410 a. C.) Filósofo griego. Fue el primero en adoptar el calificativo de sofista y el precursor de la profesionalización de la enseñanza retórica. En su ciudad natal fue al parecer discípulo de Demócrito. Recorrió a lo largo de cuarenta años gran parte de las islas del Mediterráneo y parece ser que en el 445 a.C. se estableció en Atenas, donde alcanzó una gran reputación.

Amigo de Pericles, al parecer murió ahogado durante un viaje a Sicilia, cuando huía de las acusaciones de impiedad de las que fue objeto en la ciudad de Atenas a la muerte de aquél (416 a.C.). Protágoras había afirmado en uno de sus escritos que "Sobre los dioses no puedo saber si existen o no; hay muchas dificultades para saberlo con seguridad; el asunto es oscuro y la vida corta".

De sus obras más importantes, *Verdad* y *Sobre los dioses*, se conservan sólo algunos fragmentos. La doctrina de Protágoras ha sido interpretada, desde Platón (quien le dedicó un diálogo, titulado Protágoras), como un relativismo que se expresaría en la célebre máxima de que "el hombre es la medida de todas las cosas". Afirmaba que de los objetos conocemos no lo que son, sino lo que nos parecen (no la esencia sino la apariencia), al tiempo que defendía el carácter convencional de las normas morales.

Fuente: http://www.biografiasyvidas.com/biografia/p/protagoras.htm

Cosmonoticias

Juan Carbajo
Grupo Universitario de Astronomía

Después del éxito de la misión Rosetta de la ESA diferentes noticias ponen a los cometas como protagonistas de la actualidad astronómica; presentamos aquí la noticia del que ha sido actualidad durante las pasadas navidades. También la búsqueda de planetas extrasolares está centrándose de forma precisa sobre candidatos a albergar vida; la sonda Kepler parece no tener límite en sus descubrimientos.

Cometa C/2014 Q2 (Lovejoy)

Tras la decepción que supuso el cometa Ison ahora hay un nuevo gran cometa en el cielo. Se trata de un cometa de período largo, que fue descubierto el 17 de agosto de 2014 por el astrónomo amateur Terry Lovejoy, usando un telescopio de 200 mm Schmidt-Casegrain. Fue descubierto con magnitud aparente 15 en la constelación de Puppis. Es el quinto cometa descubierto por Terry Lovejoy.

El cometa tiene una órbita muy excéntrica ε: 0,99811 y muy inclinada: 80,301º Antes de entrar en la región planetaria el cometa tenía un período orbital de unos 11.500 años. Después de salir de la región planetaria, tendrá un período orbital de unos 8.000 años.

A comienzo de diciembre el cometa tenía magnitud 7.5 siendo observable con prismáticos, llegando a ser observable a simple vista a partir de la segunda quincena del pasado mes.

Actualmente se encuentra en su máximo acercamiento a la tierra, pasando a tan solo 0.5 U.A. Este es el momento idóneo para observar el cometa ya que llegará a alcanzar magnitud 4. Es aconsejable observarlo antes de que salga la luna para poder tener el mayor contraste posible.

Durante el mes de enero el cometa irá subiendo en el firmamento, al mismo tiempo que se irá alejando de la tierra (ver fig. 3). A finales de enero se encontrará en su punto más cercano al sol teniendo magnitud 5, aunque podría brillar menos para esas fechas. Este tipo de cometas en su última fase de aproximación al Sol pueden reducir significativamente su brillo, un proceso que podría estar provocado por la sublimación de hielo de agua al alcanzar el núcleo una elevada temperatura, sofocando la sublimación de compuestos más volátiles como los derivados de gases carbónicos.

U.A: Unidad astronómica, distancia entre la tierra y el sol. Aproximadamente 150 M Km.

Magnitud: Cantidad de brillo con el que vemos un objeto celeste. Se mide en una escala inversa en que 6 es la magnitud límite para el ojo humano siendo 0 la magnitud de Vega

Referencias

http://cometografia.es/
http://www.skyandtelescope.com/
http://en.wikipedia.org/wiki/C/2014_Q2_(Lovejoy)
https://in-the-sky.org/cometephem.php

Revista de Ciencias, 5, 40-43, enero 2015
ISSN: 2255-5943

Figura 1. Cometa Lovejoy el día 29 de diciembre de 2014. Fotografía del autor

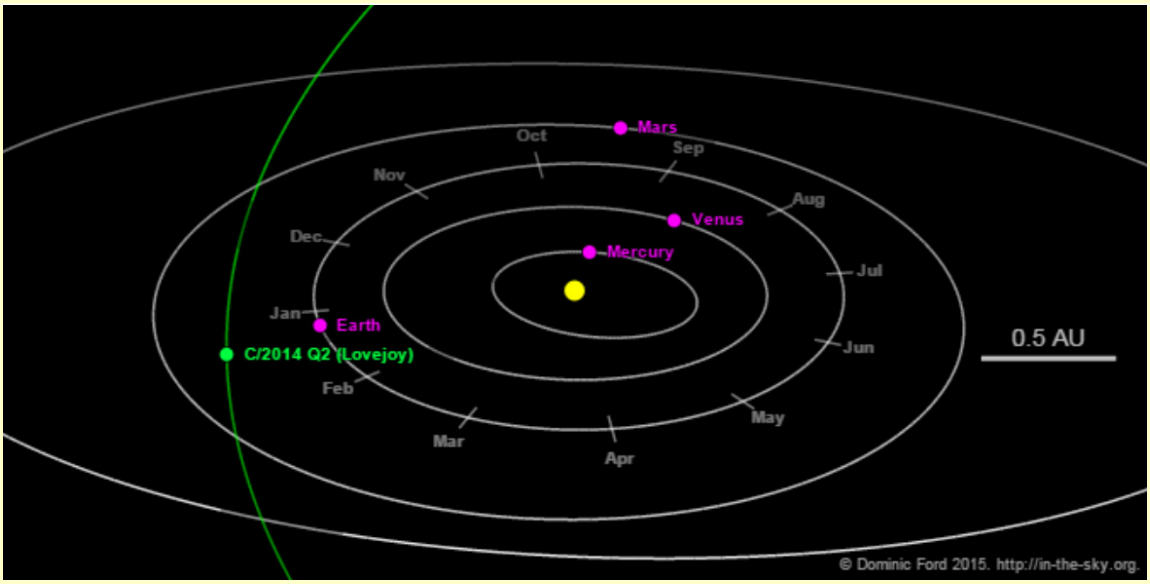


Figura 2. Órbita del cometa Lovejoy. Créditos: Dominic Ford

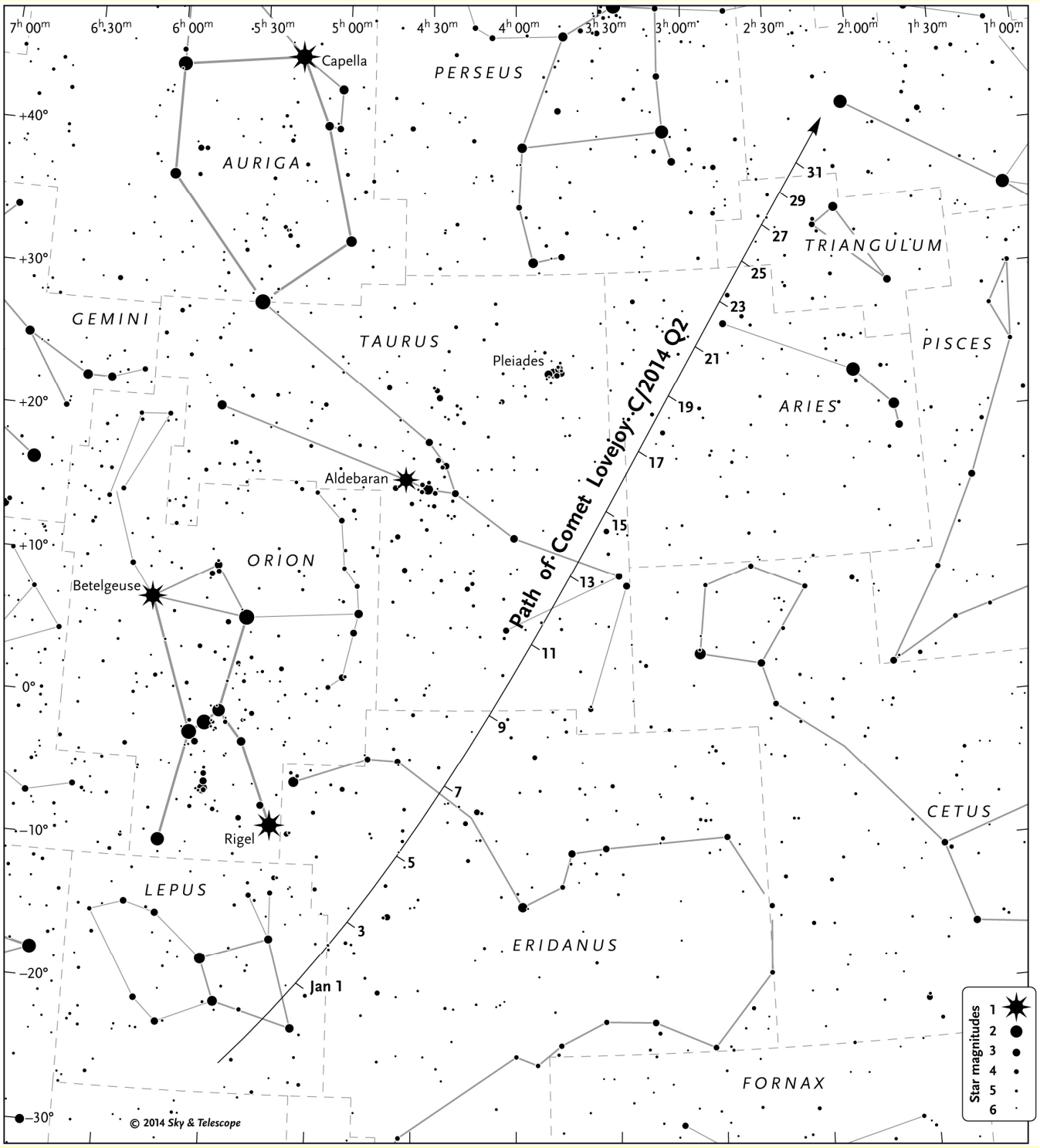


Figura 3. Recorrido del cometa C/2014 Q2 (Lovejoy) durante el mes de enero. Créditos: Sky&Telescope

Ocho nuevos planetas encontrados en zonas habitables

Un equipo de astrónomos ha anunciado el descubrimiento de ocho nuevos planetas en las zonas habitables de sus respectivas estrellas, encontrándose en órbita a una distancia a la que el agua líquida puede existir en la superficie del planeta. Esto duplica el número de planetas pequeños (con menos del doble del diámetro de la Tierra) que se piensa que están en la zona habitable de sus estrellas progenitoras. Entre estos ocho, los astrónomos han identificado dos que son los más parecidos a la Tierra de todos los exoplanetas conocidos hasta la fecha.

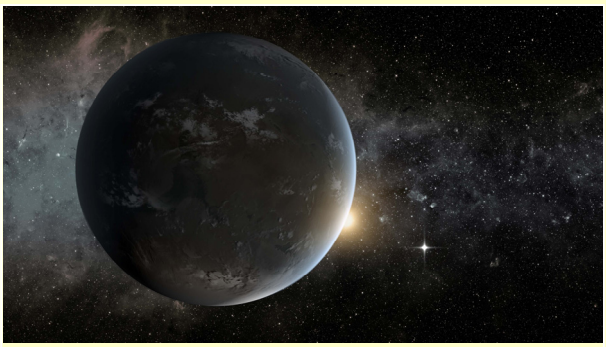


Figura 1 Representación artística de uno de los exoplanetas detectados por Kepler. Créditos: Nasa.

"La mayoría de estos planetas tiene una buena probabilidad de ser rocosos, como la Tierra" afirma el autor principal Guillermo Torres, del *Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics* (CfA).

Los dos planetas más parecidos a la Tierra del grupo son Kepler-438b y Kepler-442b. Ambos están en órbita alrededor de estrellas enanas rojas que son más pequeñas y frías que nuestro Sol. Kepler-438b orbita su estrella cada 35 días, mientras que Kepler-442b completa una órbita cada 112 días.

Con un diámetro sólo un 12 por ciento mayor que el de la Tierra, Kepler-438b tiene un 70 por ciento de probabilidades de ser rocoso, según los cálculos de los astrónomos. Kepler-442b es cerca de un tercio mayor que la Tierra, pero aún posee un 60 por ciento de posibilidades de ser rocoso.

Para pertenecer a la zona habitable, un exoplaneta debe de recibir tanta luz solar como la Tierra. Kepler-438b recibe un 40 por ciento más de luz que la Tierra (por comparación, Venus recibe el doble de radiación del Sol que la Tierra). Por tanto, los investigadores calculan que tiene un 70 por ciento de posibilidades de encontrarse en la zona habitable de su estrella. Kepler-442b recibe unos dos tercios de la luz que recibe la Tierra. Los científicos le dan un 97 por ciento de probabilidades de encontrarse en la zona habitable.

"No sabemos con seguridad si alguno de los planetas de nuestra muestra es realmente habitable", explica el segundo autor del estudio, David Kipping del CfA. "Todo lo que podemos decir es que son candidatos prometedores".

El equipo ha estudiado los primeros candidatos a ser planeta habitable identificado por la misión Kepler de la NASA. Todos los planetas eran demasiado pequeños para realizar una medida "directa" de su masa. En lugar de ello, el equipo ha realizado un estudio estadístico mediante el programa informático BLENDER. Este programa fue desarrollado por Torres y su colega Francois Fressin, y se ejecuta en el superordenador Pléyades de la NASA. Este es el mismo método que se ha utilizado previamente para validar algunos de los hallazgos más emblemáticos de Kepler, incluyendo los dos primeros planetas tipo tierra alrededor de una estrella similar al Sol y el primer exoplaneta más pequeño que Mercurio.

Tras el análisis de BLENDER, el equipo empleó un año realizando observaciones de seguimiento espectroscopia de alta resolución, imagen de óptica adaptativa, e interferometría speckle para caracterizar de forma detallada los sistemas.
Estas observaciones también revelaron que cuatro de los planetas recién validados están en sistemas estelares múltiples. Sin embargo, las estrellas compañeras son distantes y no influyen significativamente los planetas.

Al igual que con muchos descubrimientos de Kepler, los planetas recién descubiertos se encuentran suficientemente cerca como para hacer observaciones adicionales. Kepler-438b se encuentra a 470 años luz de la Tierra, mientras que Kepler-442b se encuentra a 1.100 años luz de distancia.

Referencias

http://www.cfa.harvard.edu/news/2015-04

Revista de Ciencias

Universidad de Valladolid

Revista de Ciencias
Número 5
Enero 2015

Facultad de Ciencias. Paseo de Belén, 7, 47011-Valladolid
Universidad de Valladolid