

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.) menciona 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 adoptó 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 Christopher 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 realizó numerosas medidas entre los años 1642 y 1644. Con todas ellas, determinó 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

es lo que actualmente conocemos como el efecto Wilson. Además, él creía que las manchas eran como remolinos en la atmósfera 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 atmósfera 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 número 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.

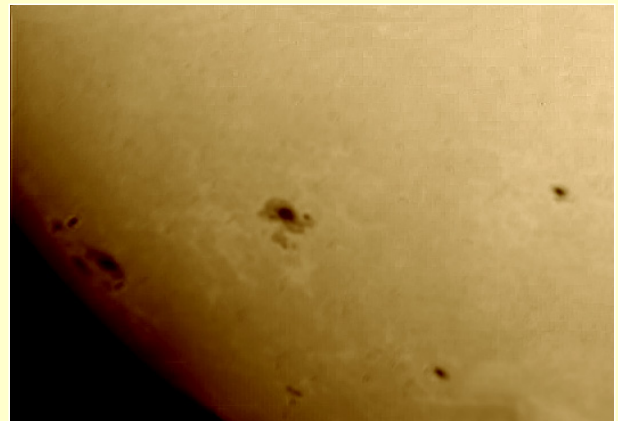


Fig. 1. Grupos de manchas en visual. (Fotografía de los autores).

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 varía 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 ($>30-40^\circ$) 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 Dynamic 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.

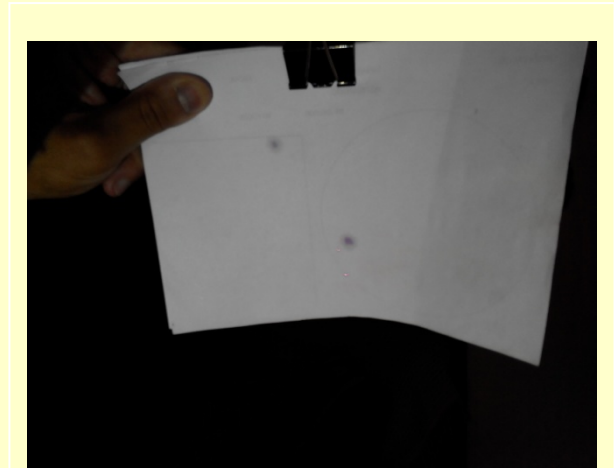


Fig. 3. Pueden observarse umbras y penumbras proyectadas. (Fotografía de los autores).

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 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 45° 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 fúculas 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.

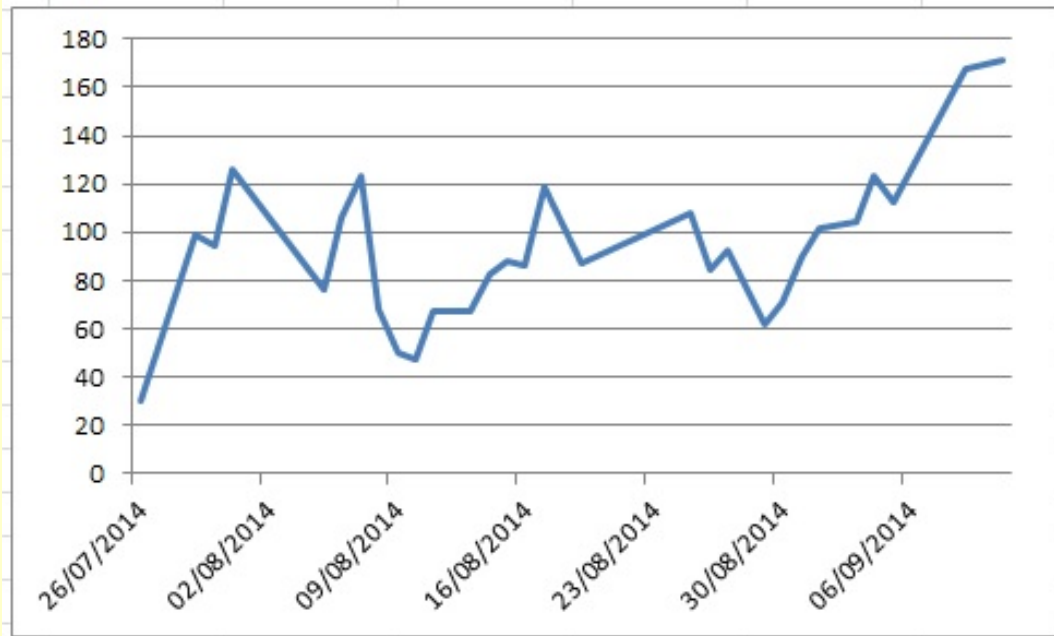


Fig. 8. Actividad resultante en el período de observación. (de los autores)

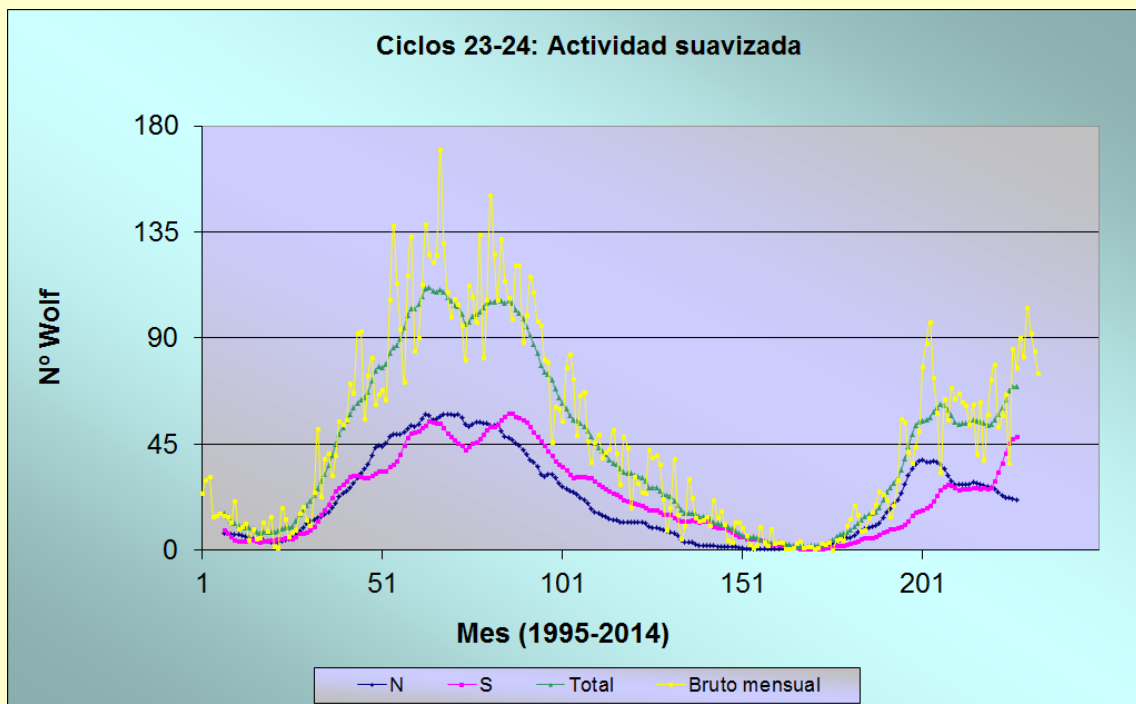


Fig. 9: Actividad solar a lo largo del ciclo 23 y parte del 24 (Créditos: Javier Alonso)

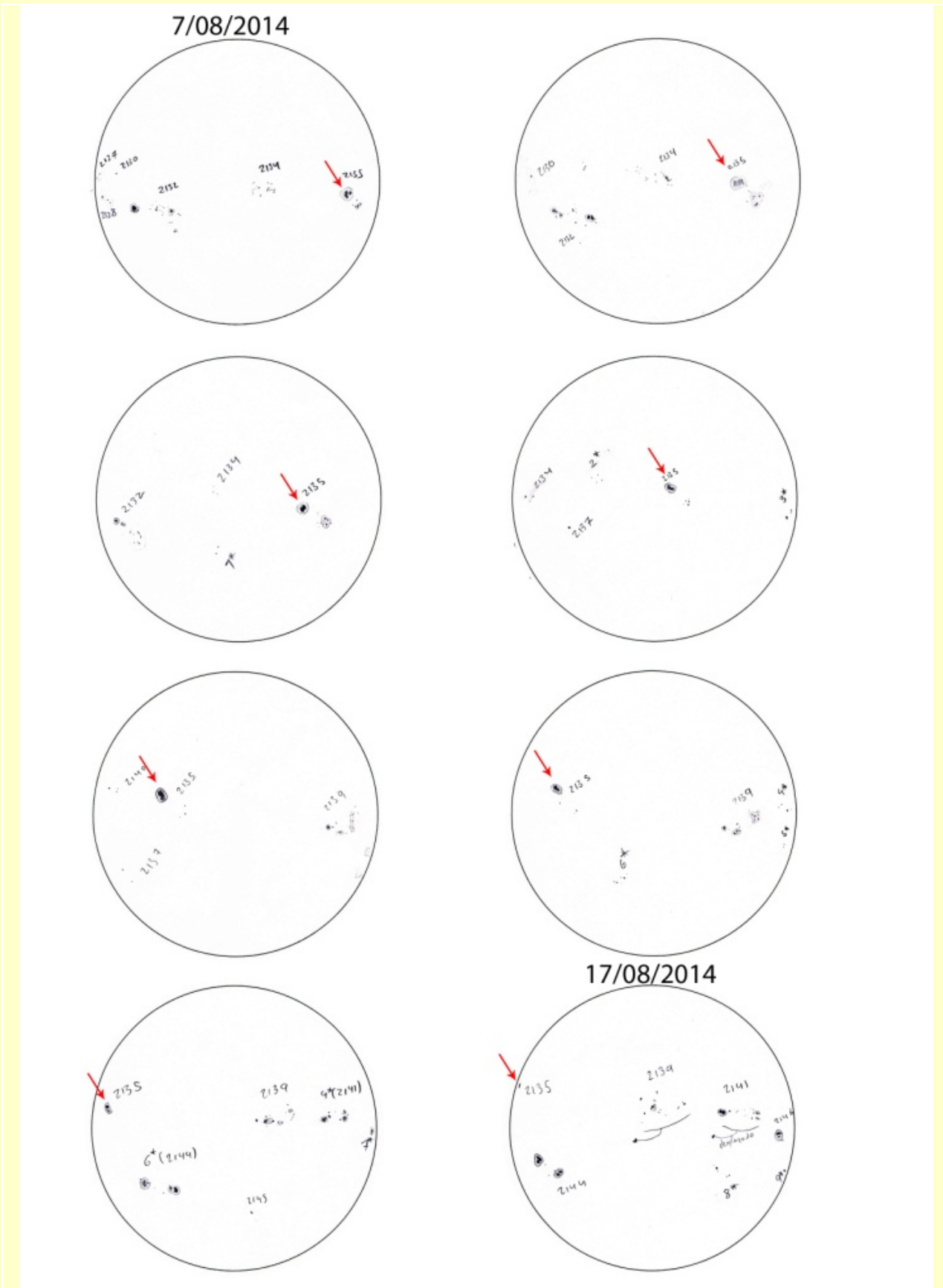


Fig. 10: Rotación solar plasmada en dibujos diarios (de los autores)

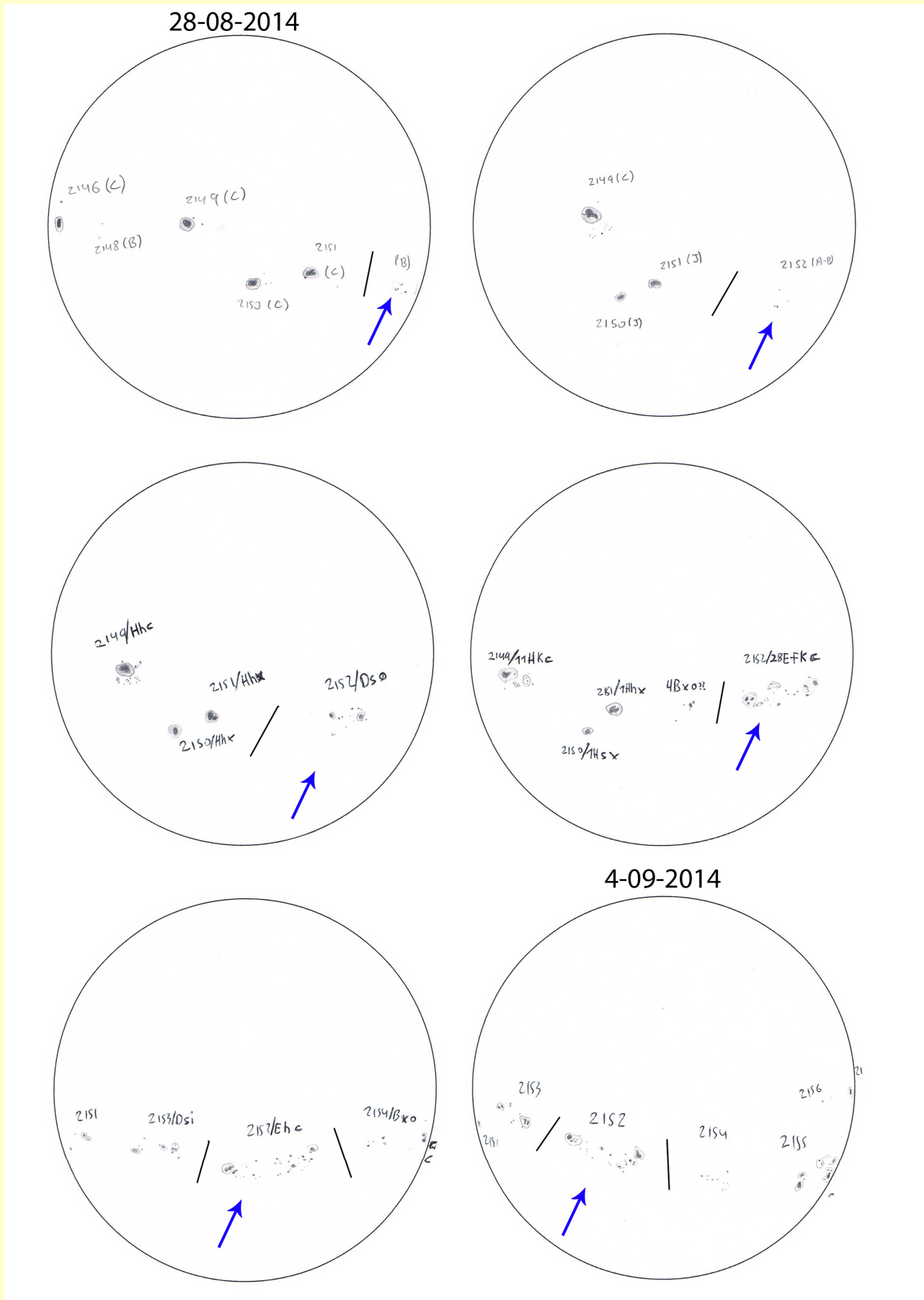


Fig. 11. Evolución de un grupo plasmada en dibujos diarios (de los autores)

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.