

APPLICATIONS

El planisferio FAAE

Sergio Díaz Ruiz¹¹Asociación Astronomía Sevilla, Spain. E-mail: sergio.diaz.ruiz@gmail.com.**Keywords:** planisferio celeste, catálogo, proyección geográfica, python, cartopy

© Este artículo está protegido bajo una licencia Creative Commons Attribution 4.0 License

Este artículo adjunta un software accesible en https://github.com/JCAAC-FAAE/No02-Mar2025-EL_planisferio_FAAE

Resumen

El planisferio FAAE es una aplicación web que permite generar planisferios personalizados para cualquier ubicación geográfica con latitud comprendida entre 20° a 66° norte o sur, y para la zona horaria indicada. Al tener en cuenta la longitud geográfica y la zona horaria, la aplicación corrige automáticamente el desfase horario en los planisferios que genera, por lo que se pueden usar con la hora local, a diferencia de los planisferios clásicos, que están rotulados en Tiempo Universal. En el presente artículo se describe la arquitectura de la aplicación así como los aspectos clave para su desarrollo, incluyendo las fuentes de datos utilizadas, los procedimientos de cálculo aplicados y los detalles de implementación más relevantes. A este respecto, el artículo va acompañado de un *notebook Jupyter* [1] que permite reproducir los elementos más significativos del planisferio con una extensión mínima y reduciendo en lo posible las dependencias a librerías externas.

Abstract

The FAAE planisphere is a web application that generates customized planispheres for any geographic location with latitude between 20° to 66° north or south, and for the time zone indicated. By taking into account the geographical longitude and the time zone, the application automatically corrects the time offset in the planispheres it generates, so that they can be used with local time, unlike the classic planispheres, which are labeled in Universal Time. This article describes the architecture of the application as well as the key aspects for its development, including the data sources used, the calculation procedures applied and the most relevant implementation details. In this regard, the article is accompanied by a *Jupyter notebook* [1] that reproduces the most significant elements of the planisphere with a minimum extension and reducing as much as possible the dependencies to external libraries.

1. Introducción

Un planisferio celeste es una potente herramienta de cálculo astronómico que nos permite determinar el cielo visible a una fecha y hora dadas, para una ubicación geográfica determinada. Hoy en día, con la disponibilidad de aplicaciones de planetario para ordenador y en particular, para los siempre presentes móviles, los planisferios han pasado a un cierto segundo plano. Aunque la precisión que nos proporcionan las aplicaciones informáticas es mayor, el planisferio sigue presentando ventajas, entre las que podemos destacar:

- Facilita el aprendizaje de las constelaciones
- Permite entender de manera intuitiva el movimiento diurno
- Su “interfaz de usuario” es el más sencillo posible, teniendo sólo un control, el giro de la ventana de horizonte
- No requiere batería ni tiene mantenimiento

- Respetar la adaptación visual a la oscuridad, combinado con una linterna de luz roja regulable en intensidad

Por otro lado, su uso presenta ciertos inconvenientes:

- La distorsión debida a la proyección usada para representar las estrellas en el plano puede resultar al principio difícil de interpretar y de hacer corresponder con el cielo a simple vista
- Debe ser lo suficientemente grande (en torno a 30 cm de diámetro) para resultar cómodo al uso, de lo contrario la ventana de horizonte puede ser demasiado pequeña para apreciar correctamente el cielo visible
- Dado que los planisferios están calculados para el meridiano de Greenwich, es necesario compensar mentalmente la hora del reloj considerando tanto la zona horaria oficial en uso como la longitud geográfica

En particular, este último punto suele resultar especialmente incómodo para los nuevos usuarios del planisferio, o si se usa muy esporádicamente. En parte para mitigar este aspecto, en el seno del Grupo de Cálculo Astronómico de la Federación de Asociaciones Astronómicas de España (FAAE) se ha desarrollado el planisferio FAAE.

2. El planisferio FAAE

El planisferio FAAE es una aplicación web [2] que permite generar planisferios personalizados para cualquier ubicación geográfica con latitud comprendida entre 20° a 66° norte o sur¹, y para la zona horaria indicada.

Al tener en cuenta la longitud geográfica y zona horaria, la aplicación corrige automáticamente el desfase horario en los planisferios que genera, por lo que se pueden usar con la hora local (a diferencia de los planisferios clásicos, que están rotulados en Tiempo Universal).

Otras características importantes de los planisferios generados por la aplicación son los siguientes:

- el círculo horario coincide con la ascensión recta, al igual que el planisferio Procivell, lo que permite usar el disco fijo como carta estelar
- la eclíptica dispone de marcas diarias, lo que permite estimar la posición del Sol, y con ello, determinar aproximadamente los instantes de orto, culminación y ocaso solar
- el disco giratorio incorpora ventanas con límites en -6° , -12° y -18° de altura, lo que permite estimar el inicio y fin de los crepúsculos

Hay que tener en cuenta que en aquellos lugares donde existe horario de verano, como España, o bien manejamos dos planisferios, uno para horario de invierno y otro para verano, o bien tendremos que compensar esa diferencia de una hora. Por ejemplo, si usamos el planisferio "de invierno" durante el horario de verano, tendremos que restar mentalmente una hora a nuestro reloj.

La aplicación web del Planisferio FAAE está accesible en https://sergiodiaz.eu/planisferio_faae [2] y consiste esencialmente en un mapa que podemos arrastrar y ampliar y que nos permite seleccionar una localización. Esto despliega una ventana emergente que indica la latitud y longitud del lugar y permite seleccionar la zona horaria en caso de que dicha localización distinga entre horarios de invierno y verano, como es el caso de España. Por defecto estará activa la opción "Compensar desfase horario", generando un planisferio con la corrección horaria ya incorporada, aunque es posible desmarcarla para obtener un planisferio convencional, calculado para el meridiano de referencia (Greenwich, longitud geográfica 0°).

¹Para latitudes próximas al ecuador, el grado de distorsión de la proyección usada es demasiado alto y se recomienda el diseño de Toshimi Taki <https://www.educa-ciencia.com/planisferio-doble-cara.htm>, en el que el mapa estelar tiene dos caras, una por hemisferio celeste, y se consulta alternando una u otra en función de la dirección en la que observemos.

Por último, es posible seleccionar el idioma en que se representarán los meses, los puntos cardinales y el rótulo del planisferio.

Al pulsar sobre el botón “Generar planisferio” se descargará un fichero comprimido en formato ZIP que contiene tres documentos PDF, a imprimir a máxima calidad:

- `fijo_(opaco).pdf`: disco “fijo” o mapa estelar, que imprimiremos en papel blanco.
- `giratorio_(transparente).pdf`: disco “giratorio” o ventana de horizonte, que idealmente imprimiremos en soporte transparente, p.ej. láser sobre acetato.
- `Planisferio_FAAE_Instrucciones.pdf`: disco para colocar en el reverso del disco fijo, con un resumen de las instrucciones de uso.

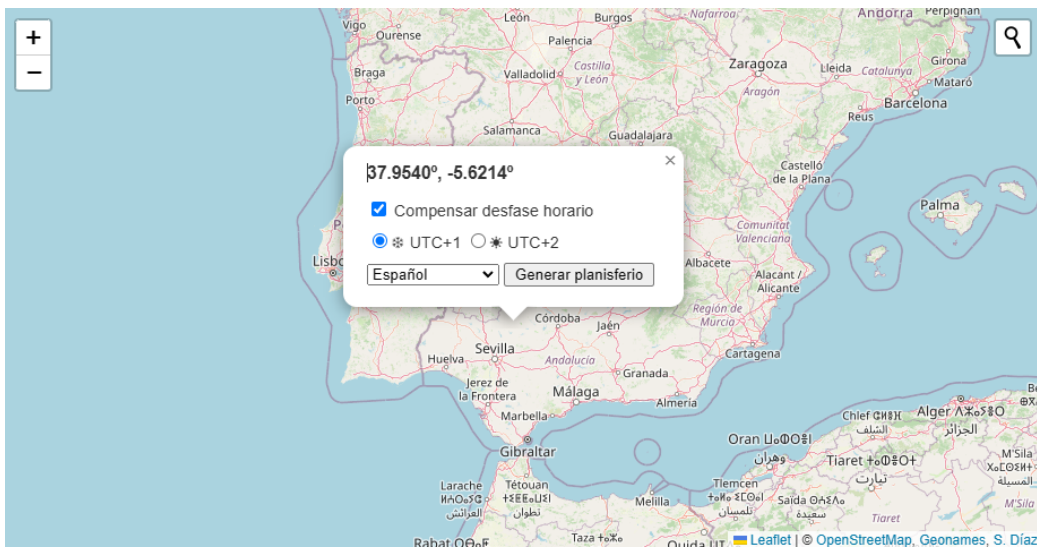


Figura 1. Aplicación web Planisferio FAEE.

Para la realización de talleres formativos en torno al planisferio FAEE se ha elaborado una guía didáctica [3] con ejercicios y material complementario.

3. El disco fijo

El disco fijo, Fig. 2, está formado esencialmente por un mapa estelar, centrado en el polo celeste visible desde la ubicación seleccionada. Esto se aprecia fácilmente al estar representada la rejilla de coordenadas ecuatoriales, que en la proyección usada se compone de líneas radiales de ascensión recta constante y circunferencias concéntricas con declinación constante, quedando destactada la correspondiente al ecuador celeste. El rango de declinaciones del mapa coincide con el rango visible desde la ubicación. La leyenda correspondiente a la ascensión recta se expresa en horas y se coloca en disposición de anillo alrededor del mapa, formando el círculo horario, que nos permitirá, junto con el disco giratorio, seleccionar la fecha y hora de observación. Este doble rol de leyenda de ascensiones rectas y círculo horario está heredado del diseño del planisferio Procivel [4].

El interior del disco representa las estrellas brillantes, hasta la magnitud 4.5, que son visibles desde la ubicación geográfica seleccionada. Para facilitar el reconocimiento del cielo visible, se han trazado los asterismos y etiquetado las constelaciones con la abreviatura latina oficial. Las estrellas más destacadas

están etiquetadas usando su denominación de Bayer.

Se incluye una representación de la Vía Láctea con 5 niveles de brillo (isofotas), para distinguir las zonas más brillantes, y los objetos de cielo profundo de mayor extensión apreciables a simple vista bajo cielos suficientemente oscuros.

El mapa también incorpora la proyección de la eclíptica sobre el fondo de estrellas, quedando representada como una curva cerrada con marcas diarias que permiten estimar la posición del Sol cualquier día del año, y con ello, el orto, culminación y ocaso solar como si se tratase de cualquier otra estrella del mapa. Para evitar que el etiquetado de dichas marcas congestione esta zona del mapa estelar, se ha recurrido a añadir marcas de distintos grosores y longitud los días 1, 15 y múltiplos de 5 de cada mes, etiquetando únicamente el día 1 de los meses de marzo, junio, septiembre y diciembre, con numeros romanos.

La línea de eclíptica también indica el camino aproximado que siguen los planetas en el cielo, si bien el planisferio no incluye ningún mecanismo para estimar su posición.

4. El disco giratorio

El siguiente elemento del planisferio, que irá colocado sobre el disco fijo, contiene una ventana que nos mostrará el cielo visible en una fecha y hora dadas, Fig. 3. Esta ventana está delimitada por la línea del horizonte, que en esta proyección adopta una forma achatada para las latitudes medias, siendo perfectamente circular únicamente en los polos geográficos.

La ventana contiene la rejilla de coordenadas horizontales, formada por los almicanarats y los verticales cada 15° , además de los puntos cardinales. Se han resaltado las líneas de horizonte, meridiano local y el primer vertical. En la zona del cenit se ha evitado la concentración de verticales, manteniendo únicamente el cruce entre el meridiano y el primer vertical. Las dos zonas contiguas a la ventana situadas en torno a los puntos cardinales este y oeste, corresponden a las franjas de los crepúsculos, delimitadas por el rango de acimuts dentro del cual se mueve el Sol. Se han marcado con líneas discontinuas los almicanarats de -6° , -12° y -18° , correspondientes a los límites de los crepúsculos civil, náutico y astronómico, respectivamente.

El círculo exterior o círculo de fechas está graduado con marcas diarias y segmentado por los meses del año. Está dimensionado de forma que su circunferencia exterior concuerda con la circunferencia interior del círculo horario del disco fijo.

El centro del disco dispone de una pequeña marca que servirá como eje central en el montaje.

Por último, además de mostrar las coordenadas geográficas y zona horaria para la que se ha calculado el planisferio, se incluye una leyenda con la escala de magnitudes de las estrellas tal como se han representado en el disco fijo.

La Fig. 4 muestra la variación de la forma de las ventanas de horizonte y crepúsculos para distintas latitudes. Aunque se muestran latitudes del hemisferio norte, el efecto es simétrico para el hemisferio sur. Se observa cómo la distorsión de la ventana es mayor conforme la latitud es más cercana al ecuador.

5. Arquitectura de la aplicación

El planisferio FAAE es una aplicación web compuesta por una capa cliente desarrollada en base a la librería de visualización de mapas `leaflet` [5] y una capa servidor responsable de la generación del planisferio. La arquitectura se ilustra en la Fig. 5.

La capa cliente está incrustada en una página web como un elemento `script` desarrollado en Javascript, en la que muestra el mapa que permite seleccionar la ubicación. La librería `leaflet` se encarga de los detalles de visualización e interacción con el mapa, incluyendo la descarga de las teselas necesarias desde el servidor de `OpenStreetMap`. El desarrollo realizado en la capa cliente hace uso del servicio

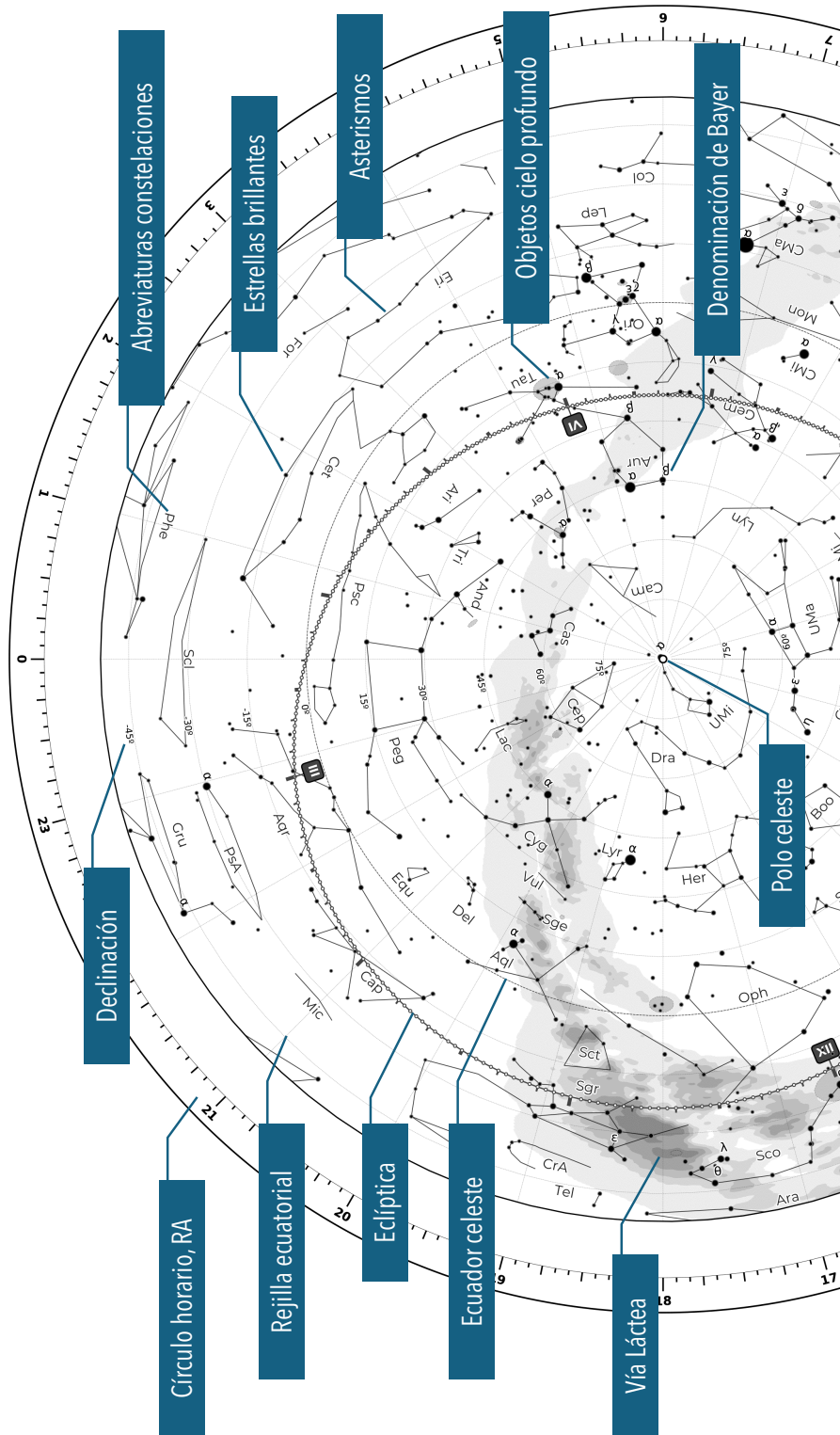


Figura 2. Disco fijo: mapa estelar.

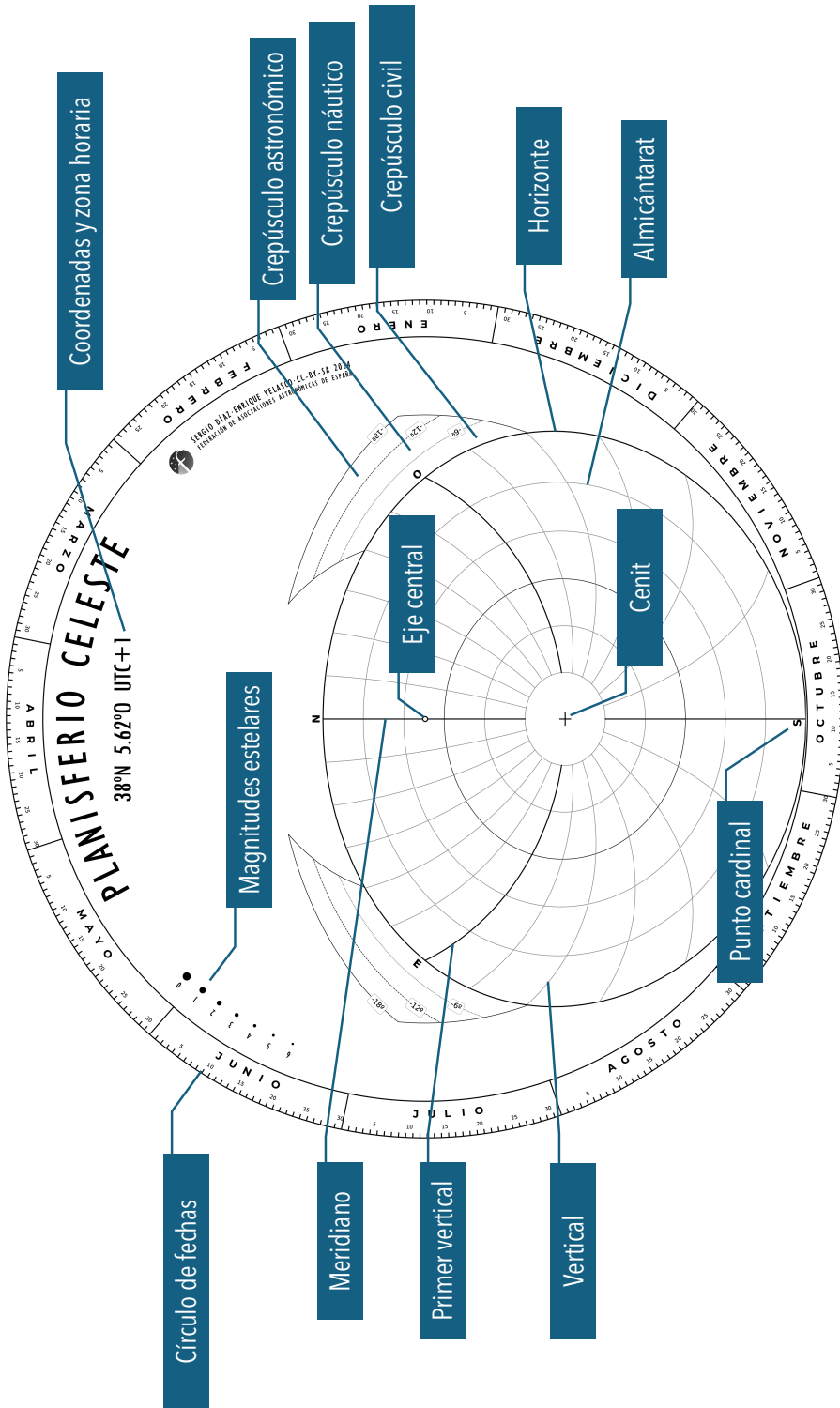


Figura 3. Disco giratorio: ventana del horizonte y crepúsculos.

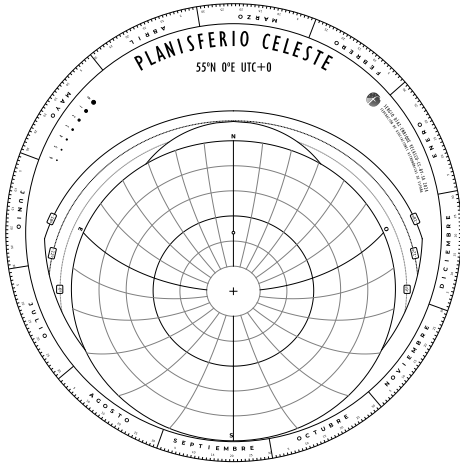
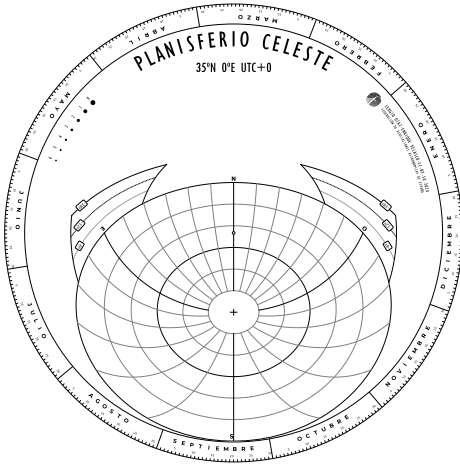


Figura 4. Discos giratorios calculados para distintas latitudes.

timezoneJSON de *geonames.org* para obtener, en formato JSON, la información sobre zona horaria aplicable al punto seleccionado por el usuario sobre el mapa.

La capa servidor está desarrollada en Python y presenta un microservicio con un único *endpoint*, usando la librería *flask*. Este *endpoint* hace uso de una librería de cálculo astronómico, de desarrollo propio, que en este caso se emplea para generar los discos fijo y giratorio en base a la selección del usuario. El *endpoint* se encarga de empaquetar ambos discos, exportados a formato PDF, junto con un tercer documento PDF con las instrucciones de uso, en un fichero comprimido ZIP que se devuelve al navegador como respuesta a su solicitud al microservicio.

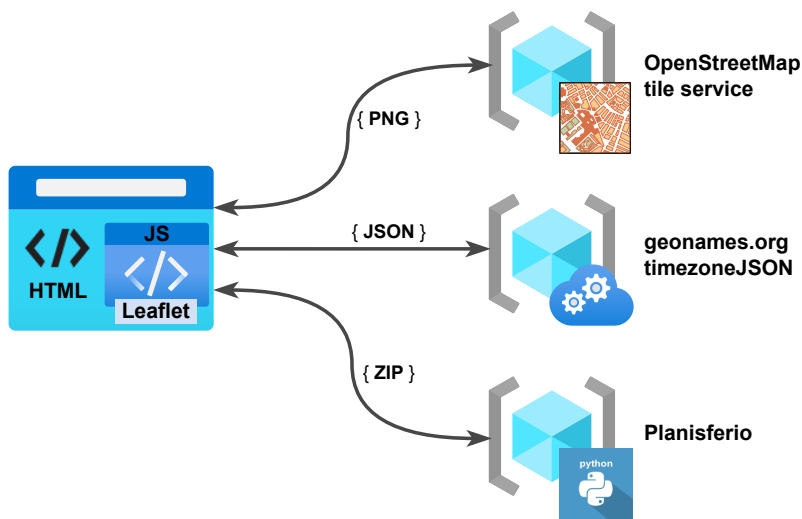


Figura 5. Arquitectura de la aplicación.

6. Fuentes de datos

El catálogo estelar básico para un planisferio es el *Yale Bright Star Catalog* [6], que incluye todas las estrellas hasta aproximadamente la magnitud 7. No obstante, la librería, de desarrollo propio, usada para generar los planisferios FAAE incorpora también funcionalidad para generar mapas celestes arbitrarios por lo que se ha utilizado un catálogo más completo, filtrándolo para el caso del planisferio. En este caso, se trata del catálogo ATHYG [7], que fusiona los catálogos *Tycho*, *Hipparcos*, *Yale Bright Star* y *Gliese*, mejorando los datos astrométricos con *Gaia DR3*.

El catálogo objetos de cielo profundo empleado es el suplementario del catálogo HYG [8], compilado por el mismo autor que el anterior. Se trata de una fusión de los catálogos NGC/IC, PGC y Collinder, entre otros, incorporando unos 220000 objetos.

Para los asterismos de las constelaciones se ha utilizado el conjunto de datos publicado por *Stellarium* como *cultura celeste moderna* [9], que incluye los segmentos que componen el asterismo de cada constelación.

Las geometrías de la Vía Láctea están basadas en el conjunto de datos incluido en la librería *D3.js*, en formato GeoJSON, que presenta las isofotas a cinco niveles de brillos superficial [10].

En el *notebook Jupyter* [1] que acompaña al artículo se muestra con detalle cómo hacer uso de estos

catálogos.

La selección de fuentes de datos se basa en la usada en el proyecto *Western Constellations Atlas of Space* de E. Lutz [11].

7. Implementación

El código fuente de la aplicación resulta extenso ya que gran parte se dedica a aspectos puramente gráficos y estéticos, que no se consideran de interés en este artículo. Por otro lado, se usan rutinas de efemérides que también quedan fuera del ámbito del mismo.

Por ello, el resto del artículo pone el foco en los distintos métodos de cálculo usados, mientras que los aspectos más relevantes de la implementación se concentran en un *notebook Jupiter* disponible como material suplementario [1]. Este *notebook* cubre el acceso y procesamiento de los catálogos, la representación de las estrellas, asterismos, la eclíptica y la Vía Láctea, la proyección de la ventana de horizonte y crepúsculos, y añade algunas indicaciones sobre optimización que son de especial interés a la hora de publicar la aplicación como servicio web.

La implementación se ha realizado en Python, usando la librería *cartopy* [12] para la representación gráfica. Esta librería incorpora todo lo necesario para el cálculo de las proyecciones cartográficas. Está construida a su vez sobre la librería de visualización de propósito general *matplotlib*, que usamos directamente para insertar todos aquellos elementos del planisferio que no involucran proyecciones, como es el caso de los círculos horario y de fechas, rótulos, etc.

8. Cálculo de los elementos del planisferio

8.1. Proyección cartográfica

Si bien en astronomía de posición se considera que todos los objetos celestes están proyectados en una esfera que rodea a la Tierra, obviando sus distancias verdaderas, para construir el planisferio necesitamos dar un paso más allá y aplicar una nueva transformación geométrica que permita representar estos objetos en un plano. Existen multitud de estas transformaciones, conocidas como *proyecciones cartográficas*, que se diferencian en qué características geométricas (área, forma, distancia, etc.) son capaces de conservar, a costa de deformar otras.

En el caso de los planisferios celestes, la proyección elegida debe cumplir los siguientes requisitos: (a) generar una representación circular, para permitir el giro de la ventana de horizonte sobre el disco fijo en función de la fecha y la hora, como reflejo de movimientos de rotación diurno y anual de la Tierra; (b) la ventana de horizonte debe tener una forma fija independientemente de la zona del cielo; y (c) permitir la representación de más de la mitad de la esfera celeste, ya que el cielo observable desde un lugar con latitud φ cubre el rango de declinaciones desde $+90^\circ$ hasta $-90^\circ + \varphi$ en el caso del hemisferio norte, y desde $90^\circ + \varphi$ hasta -90° en el caso del hemisferio sur.

El primer requisito implica que el disco fijo presente una forma similar a la de un reloj, con líneas de ascensión recta distribuidas radial y uniformemente, y situando el polo celeste visible en el centro. El segundo, obliga a que las líneas de declinación constante sean circunferencias concéntricas, centradas en el polo visible. En la práctica estas condiciones restringen a que la proyección usada sea de tipo acimutal. El tercer requisito descarta proyecciones tales como la ortográfica y la gnomónica.

Las proyecciones acimutales proyectan la superficie esférica sobre un plano tangente a la misma en un punto dado. En este caso, ese punto será el polo celeste visible, sobre el que se produce el giro aparente en el cielo. Conforme nos alejamos del punto tangente, el grado de distorsión aumenta. La Fig. 6 muestra el mapa estelar y la ventana resultante para tres de las proyecciones acimutales que cumplen los requisitos del planisferio, como son la estereográfica, la acimutal equidistante y la acimutal de áreas equivalentes

de Lambert. Sin entrar en las características de estas proyecciones, se puede observar a partir de la figura que la proyección estereográfica mantiene mejor las formas para las constelaciones más alejadas del polo visible a costa de reducir drásticamente el tamaño de las más próximas a él. Esto afecta también sustancialmente a la forma de la ventana, que presenta un grado de asimetría considerable. La situación opuesta se produce en el caso de la proyección de Lambert. Si bien en esta proyección la ventana tiene mayor tamaño que en el resto, lo que incrementa la zona útil del planisferio a la hora de estimar el cielo visible, el cenit no queda centrado en la ventana, lo que puede entorpecer su comparación con el cielo visible a simple vista. La proyección acimutal equidistante se presenta como solución de compromiso, con la ventaja de que la escala de distancias en declinación se mantiene constante en todo el mapa.

La proyección acimutal equidistante se corresponde con la siguiente representación polar de las coordenadas ecuatoriales, ascensión recta α y declinación δ :

$$\rho = R \left(\frac{\pi}{2} - |\delta| \right), \quad \theta = \frac{\pi}{2} - \alpha$$

donde ρ es la distancia al centro (siendo R un factor de escala, tal que el ecuador celeste tendrá un radio de $R\frac{\pi}{2}$) y θ , el ángulo polar (medido desde el eje x del plano). Esta expresión ya considera que el observador se encuentra en el interior de la esfera.

Sin embargo, en la implementación que acompaña el artículo, la proyección es aplicada por la librería cartográfica usada, `cartopy`, por lo que no es necesario tratar directamente con estas expresiones.

8.2. *Eclíptica*

Para poder trazar la eclíptica sobre el mapa estelar es necesario determinar las coordenadas ecuatoriales de un conjunto de puntos situados en ella, para después unirlos por segmentos, construyendo una aproximación a una curva cerrada.

Podemos obtener este conjunto de puntos de dos maneras:

- Trabajando en el sistema eclíptico medio, hacer un barrido rotando alrededor del eje Z un vector cualquiera situado en el ecuador eclíptico, p.ej. $[1, 0, 0]$. A continuación basta con transformar al sistema ecuatorial medio el conjunto de vectores resultante.
- Usar cualquier método de cálculo de efemérides que estime la posición del Sol, con un muestreo de periodicidad fija. En el caso del planisferio FAAE, el muestreo es diario, a las 12:00 UT.

El primer método es muy simple y eficiente, sin embargo, el segundo es más interesante ya que nos permite posicionar el Sol en la eclíptica cualquier día del año. Dada la precisión del planisferio, no es necesario recurrir a un cálculo riguroso de efemérides, y en cualquier caso, es posible precalcular todas las posiciones, evitando ralentizar el proceso de generación del planisferio.

Éste último es el procedimiento implementado en el *notebook* [1], si bien el cálculo de efemérides queda fuera del alcance del artículo y se ha sustituido por una tabla de valores.

8.3. *Proyección del sistema horizontal*

Las ventanas de horizonte y crepúsculos del disco giratorio, así como sus líneas auxiliares, los verticales y almicantrats, una vez proyectadas, son curvas trascendentes. Por ello, resulta más sencillo calcularlas en base a segmentos relativamente pequeños usando coordenadas horizontales, que a continuación transformaremos al sistema ecuatorial, para finalmente aplicarles la misma proyección que a los elementos del disco fijo.

En este proceso, los segmentos se calculan trivialmente en el sistema horizontal haciendo barridos de

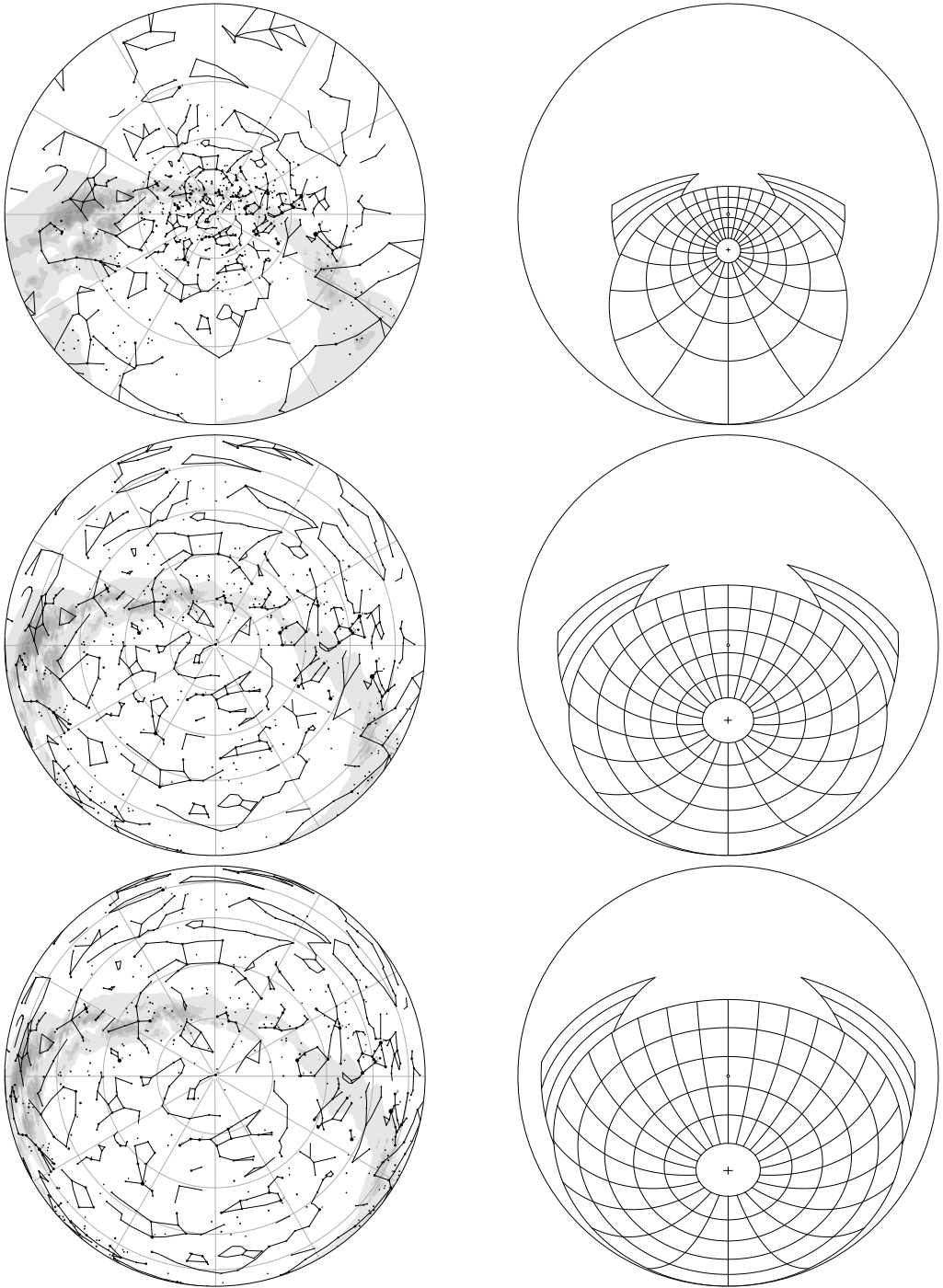


Figura 6. Comparativa de distintas proyecciones: de arriba a abajo, estereográfica, acimutal equidistante y acimutal de áreas equivalentes de Lambert. A la izquierda, los discos fijos, y a la derecha, las ventanas de horizonte y crepúsculos, correspondientes a una latitud de 40°N .

acimut o altura constante. Para la transformación de coordenadas horizontales a ecuatoriales, consideramos una ubicación geográfica sobre el meridiano de Greenwich, con latitud φ , y una orientación de referencia en la que el equinoccio vernal esté culminando. En esta configuración, el polo norte celeste y el equinoccio vernal quedan en el mismo plano que el polo norte geográfico y el cenit, bastando una rotación de $90^\circ - \varphi$ alrededor del vector normal a dicho plano para transformar de un sistema al otro.

En la práctica, tal como se refleja en el *notebook* [1], no será necesario implementar esta transformación, ya que *cartopy* nos permite definir un sistema de referencia cuyo polo local apunte en la dirección del cenit del lugar, lo que a todos los efectos nos servirá para especificar las coordenadas horizontales durante el trazado de la ventanas de horizonte y crepúsculos. *cartopy* realiza de forma automática la transformación al sistema ecuatorial y aplica la misma proyección cartográfica usada para la representación gráfica de ambos discos.

8.4. Rango de acimuts solar para una altura dada

Para poder trazar las ventanas adicionales relativas a los crepúsculos, es necesario calcular el rango de acimuts solar para las alturas $h = \{0^\circ, -6^\circ, -12^\circ, -18^\circ\}$. Los valores resultantes delimitarán las "paredes" laterales de dichas ventanas.

Partimos de las ecuaciones de transformación de coordenadas horizontales en ecuatoriales, en particular de aquella que nos proporciona la declinación, δ :

$$\sin \delta = \sin \varphi \sin h + \cos \varphi \cos h \cos A$$

donde φ es la latitud y (A, h) las coordenadas horizontales, acimut (con origen en el punto cardinal norte) y altura, respectivamente. Despejando el término en acimut, $\cos A$:

$$\cos A = \frac{\sin \delta - \sin \varphi \sin h}{\cos \varphi \cos h}$$

La declinación solar varía en el rango $-\epsilon \dots \epsilon$, donde ϵ es la oblicuidad terrestre. Tomando $\epsilon = 23.44^\circ$, valor actual aproximado de oblicuidad media, podemos usar la expresión anterior para determinar el rango de acimuts solar correspondiente a una altura h dada, considerando $\delta = \{-\epsilon, \epsilon\}$. Al aplicar la función \cos^{-1} para obtener A , las soluciones positivas nos darán el rango de acimuts para el orto, mientras que las negativas, simétricas, corresponderán a las del ocaso. Dependiendo de la latitud φ y de la altura h considerada, es posible que la expresión para $\cos A$ evalúe fuera del rango $[-1, 1]$: esto nos indica que el Sol no atraviesa el almicantrat h .

8.5. Calibración del círculo de fechas

Posiblemente el aspecto más crucial en el diseño del planisferio lo constituya la correcta colocación de las fechas.

En primer lugar debemos notar que en el disco fijo, la ascensión recta (expresada en horas para constituir el círculo horario), crece en sentido de las agujas del reloj para el hemisferio norte, e inverso para el sur. Debido al movimiento de traslación de la Tierra, de forma aparente los astros adelantan su culminación según transcurren las fechas del año, a razón de 1 hora aproximadamente cada 15 días. Por ello, el círculo de fechas debe crecer en sentido opuesto al círculo horario. De esta forma, una misma posición del disco giratorio debe hacer concordar simultáneamente, p.ej. el día 1 de enero con las 3^h y el día 15 de enero con las 2^h .

Por otra parte, es necesario establecer un ángulo origen para el círculo horario que haga que la ventana quede en la posición correcta respecto al disco fijo, aspecto al que nos referimos como "calibración" en

este apartado. Expresado en otros términos, se trata de determinar en qué posición angular del círculo de fechas debemos colocar una determinada fecha; basta con calcularlo para una cualquiera, y el resto de fechas del año quedarán distribuidas uniformemente por todo el círculo. Para determinar la calibración debemos recurrir a una expresión que describa la rotación de la Tierra, relacionando el tiempo con la posición de las estrellas fijas en el cielo para una ubicación de referencia.

La hora sidérea es la medida del ángulo horario del equinoccio vernal o punto Aries, que se mide desde el meridiano local. Tomando como referencia el meridiano de Greenwich, y considerando el equinoccio medio (es decir, teniendo en cuenta la precesión de los equinoccios pero no la nutación), la hora sidérea media en Greenwich, GMST (*Greenwich Mean Sidereal Time*) a las 0^h UT1 viene dada por [13]:

$$GMST(0^h UT1) = \text{mod}(6.697375 + 0.065709824279(JD - JD_{2000.0}), 24)^h$$

donde *mod* es el operador módulo, JD es la fecha juliana UT1 y $JD_{2000.0}$ es la fecha juliana correspondiente al 1 de enero de 2000 a las 12:00 UT1. Esta expresión ignora los términos de segundo y mayor orden ya que no son necesarios para el planisferio.

Haciendo $GMST(0^h UT1) = 0^h, 24^h, 48^h, \dots$ en la ecuación anterior podemos determinar para qué conjunto de fechas julianas el equinoccio vernal está culminando para cualquier lugar del meridiano de Greenwich. En particular, si hacemos $GMST(0^h UT1) = 24^h$ y despejamos JD en la ecuación anterior, obtenemos $JD = 2451808.3187$. Dado que la expresión determina el valor de GMST a las 0^h , debemos redondear el resultado anterior a la medianoche más cercana. Es decir, $JD(0^h) = 2451808.5$, que se corresponde con la fecha gregoriana 21/09/2000, con una desviación de 42.89^s :

$$GMST(0^h UT1) = \text{mod}(6.697375 + 0.065709824279(JD(0^h) - JD_{2000.0}), 24) = 0.0119^h = 42.89^s$$

Si evaluamos esta desviación para el 21 de septiembre entre los años 2000 y 2050, obtendremos que no supera los 2 minutos, siendo en promedio inferior a 2s. Por tanto, queda dentro de la precisión del planisferio, que ronda los 5 minutos.

Si el planisferio está diseñado para cualquier lugar ubicado a lo largo del meridiano de Greenwich, esta fecha de referencia, el 21 de septiembre a las 0:00, es la que debe corresponder a la posición del meridiano local de la ventana, Fig. 7. De esta forma, cuando situemos el meridiano local sobre las 0^h del disco fijo, haremos culminar al equinoccio vernal.

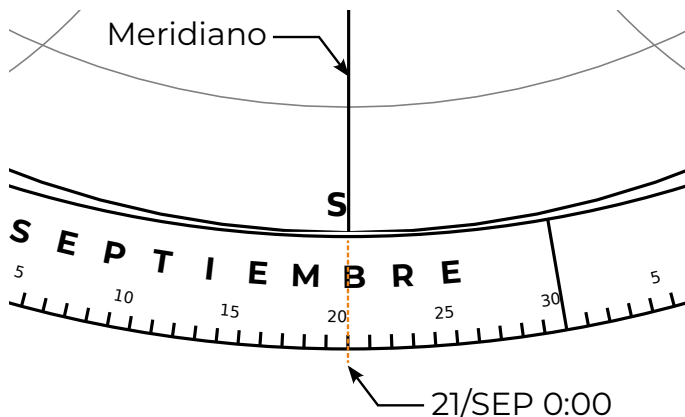


Figura 7. Calibración del círculo de fechas.

Si queremos incluir la compensación correspondiente a la longitud geográfica del lugar de observación así como el desfase debido a su zona horaria, lo haremos corrigiendo la posición angular de la fecha de referencia con un ángulo dado por la expresión:

$$\Delta\tau = 2\pi \frac{\Delta Z - \lambda/15}{24} \left(1 + \frac{1}{365} \right)$$

donde $\Delta\tau$ es la corrección angular en radianes, ΔZ es el desfase correspondiente a la zona horaria (p.ej, +1 en caso de zona UTC+1) y λ es la longitud geográfica, expresada en grados sexagesimales. El término $\frac{1}{365}$ incluye el efecto de la compensación horaria sobre la propia escala de fechas.

Para el hemisferio norte, la corrección del desfase se aplicará restando $\Delta\tau$ a la posición de referencia; para el hemisferio sur, se aplicará sumando.

9. Conclusiones

En el desarrollo del curso de cálculo astronómico impartido por la FAAE² se propuso como ejercicio la implementación de un planisferio celeste. La aplicación web presentada aquí es la evolución de ese proyecto.

En su faceta de ejercicio del curso, ha supuesto un reto en cuanto a manejo de proyecciones cartográficas, cálculo de los crepúsculos y calibración de fechas y desfases horarios. Este artículo y el *notebook* [1] suplementario se han centrado en estos aspectos dado el ámbito de la revista. Gran parte del esfuerzo se ha invertido en la programación del acabado gráfico, que ha conllevado una proporción considerable de líneas de código. La adaptación necesaria para poder ofrecer la generación del planisferio como aplicación web no es compleja pero ha requerido un análisis y mejora del rendimiento para reducir el tiempo de respuesta.

Como herramienta de aprendizaje para talleres de asociaciones astronómicas, enseñanza primaria y secundaria, etc., el planisferio FAAE viene acompañado por una guía didáctica [3] que facilita el diseño de actividades en torno al mismo, conectando los distintos elementos del planisferio con *semillas didácticas* de astronomía: movimiento diurno y estacional, constelaciones y asterismos, coordenadas ecuatoriales y horizontales, orto, culminación y ocaso de astros, entre otras.

Por último, los planisferios generados con la aplicación tienen la vocación de servir como herramienta útil a la comunidad de la astronomía *amateur*, tanto a nivel principiante como experimentado, especialmente en observaciones en campo, donde podemos tener limitaciones en el acceso a dispositivos electrónicos, ya sea por conservar la adaptación visual a la oscuridad o por insuficiente nivel de carga de la batería. Su bajo coste de producción así como la posibilidad de personalización geográfica facilitan su disponibilidad y sencillez de uso.

Referencias

- [1] S. Díaz. *Notebook Jupyter Planisferio FAAE*. https://github.com/JCAAC-FAAE/No02-Mar2025-El_planisferio_FAAE
- [2] S. Díaz. El planisferio FAAE: aplicación web. https://sergiodiaz.eu/planisferio_faae/
- [3] S. Díaz. El planisferio FAAE: guía didáctica. Proyecto del programa Divulgación FAAE. 2024. https://sergiodiaz.eu/planisferio_faae/planisferio_faae_guia_didactica.pdf
- [4] E. Velasco, P. Velasco. Planisferio Procivel. Ed. Procivel. 2002.
- [5] V. Agafonkin. Leaflet: a JavaScript library for interactive maps. <https://leafletjs.com/>
- [6] Yale Bright Star Catalog. <http://tdc-www.harvard.edu/catalogs/bsc5.html>

²El material del curso está disponible en <https://federacionastronomica.es/index.php/group-ca/cursos>

- [7] D. Nash. Augmented Tycho - HYG (AT-HYG). <https://github.com/astronexus/ATHYG-Database>
- [8] D. Nash. HYG Database. <https://github.com/astronexus/HYG-Database/tree/main/misc>
- [9] G. Zotti *et al.* Stellarium. Modern Sky Culture. <https://github.com/Stellarium/stellarium/blob/master/skycultures/modern/constellationship.fab>
- [10] O. Frohn, D. Hernangómez, S. Díaz. Milky Way GeoJSON. https://github.com/sergio-dr/mw_geojson
- [11] E. Lutz. Western Constellations Atlas of Space. https://github.com/eleanorlutz/western_constellations_atlas_of_space
- [12] UK Met Office. Cartopy: a cartographic python library with a Matplotlib interface. <https://scitools.org.uk/cartopy>
- [13] USNO Astronomical Applications Department. Computing Approximate Sidereal Time. <https://aa.usno.navy.mil/faq/GAST>