

APPLICATIONS

El Catálogo de estrellas de Hiparco

César González Crespán¹¹Asociación Astronómica de Vigo, Spain. E-mail: cgcrespan@gmail.com.**Keywords:** catálogos, catalogues, Hipparco, Hiparco, historia de la astronomía, history of astronomy

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

Este artículo adjunta un *software* accesible enhttps://github.com/JCAAC-FAAE/No01-Nov2024-El_catalogo_de_estrellas_de_Hiparco

Resumen

Se quiere demostrar que Hiparco realizó el Catálogo de Estrellas del Almagesto, antes que Claudio Ptolomeo, quién giró los puntos solsticiales y equinocciales, el número de grados que él pensaba de la precesión, $1^\circ/100$ años, desde la época Hiparco. A comienzos del siglo XIX, Delambre, sugería que Ptolomeo no había realizado ninguna medición, copiando las observaciones y mediciones de Hiparco, con algunas posteriores, mal ejecutadas, para obtener el resultado esperado. Las observaciones y descripciones de eclipses que aparecen en el Almagesto están bien descritas, y se corresponden con hechos reales, hasta la época de Hiparco. Según Delambre, y otros autores más modernos, las observaciones y descripciones posteriores, son inventadas. Se han monitorizado las longitudes y latitudes eclípticas de las estrellas del Almagesto, en proyección Plate Carrée. Se han construido gráficos en proyección azimutal equidistante. Igualmente, se han tomado las mismas coordenadas de las estrellas más significativas de veinte constelaciones, en fecha J2000. Por medio de dos programas en Python/Cartopy, se han construido los gráficos de las estrellas en las dos eras, la del año primero de Antonino Pío, año 138 d.C., y la de fecha juliana J2000, girada retrocediendo los grados de la precesión real, $26,01^\circ$, entre ambas fechas. Hay una diferencia de $1,05^\circ$, entre las longitudes eclípticas de las estrellas J2000, giradas, y las del catálogo de estrellas del Almagesto, situadas hacia fechas 75 años más antiguas, lo que sugiere la existencia de un error sistemático.

Abstract

We aim to demonstrate that Hipparchos created the Star Catalogue in the Almagest before Claudius Ptolemy, who shifted the solstitial and equinoctial points by the number of degrees he believed corresponded to precession, at a rate of $1^\circ/100$ years, starting from Hipparchos' time. In the early 19th century, Delambre suggested that Ptolemy had not made any measurements of his own, instead copying Hipparchos' observations and measurements, along with some later ones that were poorly made, to achieve the desired result. The eclipse observations and descriptions in the Almagest are well described and correspond to real events up until Hipparchos' time. According to Delambre and other more modern authors, the later observations and descriptions are fabricated. The ecliptic longitudes and latitudes of the stars in the Almagest have been monitored using a Plate Carrée projection. Azimuthal equidistant projection charts have also been constructed. Likewise, the same coordinates of the most significant stars from twenty constellations have been taken from the J2000 epoch. Using two Python/Cartopy programs, star charts have been generated for two eras: the first year of Antoninus Pius (138 AD) and the Julian date J2000, with the real precession of $26,01^\circ$ rotated backwards between these two dates. There is a difference of $1,05^\circ$ between the rotated J2000 ecliptic longitudes of the stars and those in the Almagest star catalogue, which are dated approximately 75 years earlier. This suggests the presence of a systematic error.

1. Introducción

En este trabajo se quiere demostrar que fue Hiparco (Fig. 1) quién realizó el Catálogo de Estrellas del Almagesto, antes que Claudio Ptolomeo, y que este último lo único que hizo fue girar los puntos solsticiales y equinocciales, el número de grados que él pensaba que giraba la precesión, de $1^\circ/100$ años, desde la época Hiparco. Esta idea no es nueva. A comienzos del siglo XIX el matemático y astrónomo francés Jean-Baptiste Joseph Delambre, quien participó en la medición del arco de meridiano entre Dunkerque y Montjuic (Barcelona), que se realizó para la fundamentación del Sistema Métrico Decimal, ya sugería en su enciclopédica Historia de la Astronomía antigua, que Ptolomeo no había realizado ninguna medición, pese a que dice, en el Almagesto, “... observamos tantas estrellas como nos ha sido posible ver, hasta aquellas de sexta magnitud...”, y que se limitó a copiar las observaciones y mediciones de Hiparco, añadiendo algunas posteriores, mal ejecutadas, e inventadas para obtener el resultado esperado. Las observaciones y descripciones de eclipses que aparecen en el Almagesto fueron realizadas desde tiempos antiguos. La primera en la era de Nabonassar, rey de Caldea y Babilonia, que fue efectuada en el siglo VIII a.C. Las siguientes, hasta las realizadas por la época de Hiparco, quién vivió en el siglo II a.C., están bien descritas, y se corresponden con hechos reales, determinando correctamente las posiciones del Sol y la Luna en la eclíptica, así como la fecha, fijado el año en la era de referencia, al igual que la hora de inicio del acontecimiento astronómico. No ocurre lo mismo, según Delambre, con las observaciones y descripciones posteriores a Hiparco, que, para él, y otros autores más modernos, son inventadas.



Figura 1. Estatua de Hiparco de Nicea, en “Los Ángeles Astronomers Monument & Sundial, Griffith Observatory, Astronomers Monument Figures: Hipparchus”, junto a las de otros grandes astrónomos, Copérnico, Galileo, Kepler, Newton y Herschel.

Se han tomado las 1022 longitudes y latitudes eclípticas de las estrellas del Almagesto, agrupadas en 48 constelaciones, para monitorizarlas en una hoja de cálculo, generando los dibujos en proyección Plate Carrée, por medio de gráficos de burbujas de Excel. Con estos datos, dispuestos por constelaciones y estrellas, en un fichero de texto, también se han construido gráficos en proyección azimutal equidistante. Del mismo modo, se han tomado las mismas coordenadas de las estrellas más significativas de veinte constelaciones, en fecha J2000. Por medio de dos programas en Python/Cartopy, desarrollados durante el Curso de Cálculo Astronómico de la Federación de Asociaciones Astronómicas de España (FAAE), se han construido los gráficos de las estrellas en las dos eras, la del año primero de Antonino Pfo, año 138 d.C., y la de fecha juliana 2000, girada retrocediendo los grados supuestos de la precesión real, $26,01^\circ$, entre ambas fechas.

Comprobamos la existencia de una diferencia de $1,05^\circ$, en las longitudes eclípticas de las estrellas, J2000 y las que aparecen en el catálogo de estrellas del Almagesto, que están giradas hacia fechas 75 años más antiguas, lo que sugiere la existencia de un error sistemático en este Catálogo de Estrellas, como si los puntos solsticiales y equinocciales se situaran en una posición más antigua de la que les correspondía en la realidad. Esta apreciación es coherente con la diferencia observada por Delambre y otros autores más modernos, como Owen Gingerich, Robert R. Newton, y N. M. Swerdlow.

2. Estado de arte

2.1. Historia de la astronomía antigua: Delambre

Traducimos, del francés, varios fragmentos del libro “Historia de la Astronomía antigua” de Jean-Baptiste Joseph Delambre:

Esto nos demuestra que Hiparco sabía calcular triángulos esféricos, que conocía las ascensiones rectas casi con la misma exactitud, aproximadamente, con la que las puso en su Catálogo relacionado con la eclíptica; de lo cual podríamos inferir que había observado primero las ascensiones rectas y las declinaciones; de las cuales habría determinado después las longitudes y latitudes, de donde habría concluido que las latitudes eran constantes y que las longitudes aumentaban de manera más uniforme que las ascensiones rectas; que entonces también, tal vez, habría imaginado el astrolabio, que le daba directamente las ubicaciones de los astros relacionadas con la eclíptica. Veremos que, al menos en los últimos años, tuvo en Rodas un instrumento de este tipo, con el que observaba la Luna. Esto no es, en parte, más que una conjetura; prestaremos atención a lo que pudiera o descartarlo o confirmarlo. Se deduciría también de este fragmento de texto que el ecuador estaba dividido en doce signos de 30° cada uno; y que era a lo largo de la eclíptica, dividida de forma parecida, como se contaban las constelaciones. (pág. 117, Histoire de l’astronomie ancienne, tomo 1; por M. Delambre, Hipparque).

Si ésta es la longitud dada por Hiparco, la precesión total será de $26^\circ 59'$, lo que equivaldría en un año, a $50''124$ para el intervalo 1938, y a $49''51$ para 1962. A pesar de todas estas incertidumbres, aún vemos una precesión de $49''5$ a $50''$, que sería muy valiosa si no tuviéramos algo mejor.

La longitud de Ptolomeo, reducida en $2^\circ 40'$, es $9S 1^\circ 50'$; que confirma de paso la opinión universalmente aceptada de que es necesario restar aproximadamente $2^\circ 40'$ de las longitudes de Ptolomeo para encontrar las de Hiparco. La longitud de Hiparco aquí es $9s 1^\circ 30'$ o $9S 2^\circ 4'$, medio, $9s 1^\circ 47'$. (págs. 178-179, Histoire de l’astronomie ancienne, tomo 1; por M. Delambre, Hipparque).

De esto se deduce evidentemente que la precesión media difiere muy poco de $50''0$, y que es absolutamente necesario restar $2^\circ 40'$ de las estrellas de Ptolomeo para encontrar las longitudes de Hiparco.

Se ha intentado excusar a Ptolomeo diciendo que pudo haber observado; que sus observaciones podrían ser buenas en sí mismas, y contener el error de las Tablas del Sol. La excusa podría ser admisible, si el propio Ptolomeo no nos dijera que observó la época, la ecuación y el apogeo del Sol, y que encontró los mismos elementos que Hiparco. Por tanto, se le debe atribuir el error a sus Tablas del Sol,

ya que no supo corregirlas. Pero parece mucho más probable que no haya observado ni las estrellas ni el Sol y que haya tomado todo prestado de Hiparco, después de haber hecho, tal vez por motivos de forma, algunas observaciones en pequeño número y que no le parecieran suficientes para arriesgarse a cualquier cambio distinto de los $2^{\circ} 40'$ que consideró necesario añadir a las longitudes, suponiendo que la precesión anual fuera de $36''$, aunque algunas observaciones de Hiparco dieron $42''$, y otras mucho más. (pág. 183, Histoire de l'astronomie ancienne, tomo 1; por M. Delambre, Hipparque).

Aquí pues, finalmente, están los fundamentos de la Astronomía establecidos por los griegos. Las posiciones de las estrellas están determinadas por ascensiones rectas y declinaciones; Se conoce la oblicuidad de la eclíptica. Veremos en Ptolomeo que Hiparco había determinado además la desigualdad del Sol y el lugar de su apogeo así como sus movimientos medios; los movimientos medios de la Luna, el nodo y el apogeo, la ecuación del centro de la Luna y la inclinación de su órbita; que había vislumbrado una segunda desigualdad de la que no pudo, por falta de observaciones adecuadas, descubrir el período y la ley; que había iniciado un curso más regular de observaciones para proporcionar a sus sucesores los medios para encontrar la teoría de los planetas. Finalmente, vemos en su Comentario a Arato que había expuesto y demostrado geoméricamente los métodos necesarios para encontrar las ascensiones rectas y oblicuas de los puntos de la eclíptica y de las estrellas, el punto este y culminante de la eclíptica, el ángulo del oriente que hoy se llama la altura de nonagésima. Por tanto, tenía una trigonometría esférica. Veremos por sus cálculos de la excentricidad de la Luna que tenía una trigonometría rectilínea y Tablas de Cuerdas. Había diseñado un planisferio con la proyección estereográfica; supo calcular los eclipses de Luna y utilizarlos para mejorar las Tablas; tenía un conocimiento aproximado de las paralajes, y Ptolomeo, que quería corregirlo en este punto, se desvió mucho más de la verdad: finalmente vemos un cuerpo de ciencia verdadera. Lo que le faltaba eran mejores instrumentos; pero en este sentido nos hemos vuelto difíciles. En aquellos comienzos, una precisión de un grado debió parecer algo maravilloso. Hiparco no siempre la conseguía, sobre todo cuando la operación era complicada; pero a menudo la superó con creces, como en las ecuaciones del centro de la Luna y del Sol, y en la inclinación de la Luna, que obtuvo muy aproximadamente con una diferencia de unos minutos.

Quizás nos sorprenda que después de haber observado por un tiempo ascensiones rectas y declinaciones, abandonó las armillas ecuatoriales para sustituirlas por el astrolabio, mediante el cual relacionaba los astros inmediatamente con la eclíptica. Se ve en Ptolomeo que tenía en Rodas uno de estos instrumentos con el que observaba la Luna; esta es la mención más antigua que conocemos. Quizás Hiparco fue el inventor; la idea se le habría ocurrido durante su descubrimiento del movimiento de las fijas en longitud. Viendo que las latitudes eran constantes y las longitudes aumentaban de manera uniforme, mientras que las ascensiones rectas y declinaciones variaban en una cantidad que no sabía calcular, al menos con cierta facilidad. Estas consideraciones y la extensión de los cálculos trigonométricos que sabía hacer, pero que tanto interés tenía en evitar cuando encontraba la posibilidad; esto es sin duda lo que le hizo imaginar un instrumento más complicado, por tanto, menos fiable, pero que le daba directamente lo que sólo podría haber obtenido mediante un trabajo tedioso y sujeto a frecuentes errores. Estas excusas son válidas, pero no es menos lamentable que haya cambiado su método de observación y no haya seguido determinando ascensiones y declinaciones rectas, o al menos que estas determinaciones fundamentales no nos hayan sido transmitidas; porque nada nos asegura positivamente que haya utilizado el astrolabio para las estrellas: podría haberlo reservado para el Sol, la Luna y los planetas. Es cierto que debió encontrar grandes facilidades para su Catálogo compuesto por 1080 estrellas. Se supone comúnmente que contenía sólo 1022, según el de Ptolomeo, donde no se contaron ni las nebulosas ni algunas estrellas oscuras. Observando directamente longitudes y latitudes, o deduciéndolas de ascensiones rectas y declinaciones, dio a este Catálogo la forma más cómoda para los astrónomos que le sucederían y la más ventajosa para sus observaciones diarias del sol y de los planetas. En cualquier caso, las observaciones relacionadas con el ecuador, si hubiera agregado la fecha, nos serían mucho más útiles hoy que su Catálogo.

A pesar de las imperfecciones de su astrolabio, parece que las longitudes y latitudes de su Catálogo son un poco mejores que las ascensiones rectas y declinaciones que nos ofrece su Comentario. Es probable que se haya entrenado en el arte de la observación; que habrá puesto en ello más cuidado y escrúpulo; que después de haber superado a sus predecesores en los primeros intentos registrados en su Comentario, habrá querido superarse a sí mismo, sobre todo porque había reconocido el movimiento de las estrellas. Las observaciones de Aristilo y Timocaris le parecieron demasiado burdas para dar la cantidad de este movimiento por la comparación que hizo con las suyas. Sin embargo, dos de estas comparaciones que nos han sido conservadas, dan 42" por año, en lugar de 36" que Ptolomeo encontró después. Trabajó para dejar a sus sucesores datos más ciertos.

Cuando reunimos todo lo que inventó o perfeccionó, y cuando pensamos en muchas de sus obras, y en la cantidad de cálculos que suponen, encontramos en Hiparco uno de los hombres más asombrosos de la antigüedad, y el más grande de todos en las ciencias que no son puramente especulativas y requieren que el conocimiento geométrico se combine con el conocimiento de hechos y fenómenos particulares cuya observación requiere mucha asiduidad e instrumentos perfeccionados. La constancia y la asiduidad dependen sólo del hombre; pero los instrumentos perfeccionados sólo pueden ser el trabajo de mucho tiempo y el esfuerzo continuo de muchos hombres trabajadores.

Después de este gran astrónomo, la ciencia se mantuvo casi 300 años estacionaria; Ptolomeo es el único con quien la Astronomía ha tenido obligaciones reales. El propio Ptolomeo no tuvo sucesor entre los griegos. Hay que recorrer un intervalo de 800 años para encontrar entre los árabes algún pequeño descubrimiento y la determinación más precisa del movimiento de precesión; después de lo cual la ciencia volverá a quedar estacionaria hasta Copérnico, Tycho y Kepler, fundadores de la Astronomía moderna.

Así en todos los autores cuyas obras vamos a hojear; desde Hiparco hasta Ptolomeo, sólo encontraremos comentaristas o abreviadores; ¡Me alegro si en sus compilaciones encontramos algunas ideas tomadas de autores más antiguos cuyas obras se han perdido!

Riccius, en su Tratado sobre los movimientos de la octava esfera, habla de un Millæus, un astrónomo, que vivía en Roma y que había observado muchas estrellas, 41 años antes que Ptolomeo, es decir el primer año del reinado de Trajano; añade que Ptolomeo había tenido tanta confianza en esta obra, que, para formar su Catálogo, se contentó con añadir 25' a todas las longitudes de Millæus. Sería muy extraño que Ptolomeo nunca hubiera citado a este Millæus. Riccius, al informar de este hecho, se basa en el testimonio del árabe Albouhassin. Se cree que el Catálogo de Millæus es sólo el de Hiparco, reducido al primer año de Trajano, añadiendo 2° 15' a todas las longitudes. Sólo veo este medio para poner de acuerdo a Millæus y Ptolomeo con Hiparco, y lo que hoy sabemos sobre la precesión.

Copérnico habla de un Menelao que observó en Roma y que compuso también, por la misma época, un gran catálogo de estrellas. ¿Podría ser este Menelao el Millæus de Riccius? A nosotros nos importa poco, ya que no nos queda nada ni de uno ni de otro. (págs. 183-186, Histoire de l'astronomie ancienne, tomo 1; por M. Delambre, Hipparque).

2.2. Comentarios de Hiparco al catálogo de estrellas de Arato y Eudoxo

Eudoxo escribió, en el siglo IV a.C. un Catálogo de Estrellas, que nos ha llegado a nosotros, de forma fragmentada, a través de los Comentarios de Hiparco, a un poema escrito por Arato, llamado Aratus latinus, que es de una época algo posterior a Eudoxo, y en el cual aparecen las coordenadas celestes, ascensiones rectas y declinaciones, del Catálogo de Estrellas de Eudoxo (ver [Material Suplementario 1](#)), para la confección del cual tuvo que utilizar una esfera armilar ecuatorial. Estos Comentarios de Hiparco se supone que corresponden a una época temprana de su carrera como astrónomo.

Sin duda es más sorprendente que, 265 años después de Hiparco, no encontrara una corrección más significativa (pág. 146, 240, Histoire de l'astronomie ancienne, tomo 2). Estas observaciones sobre todas las partes del cielo estrellado bastan para probar, nos dice Ptolomeo, que el movimiento es

el mismo para todas las estrellas que giran uniformemente alrededor de polos comunes que son los de la eclíptica; que este movimiento no es exclusivo de las estrellas del zodiaco; porque en los 265 años transcurridos desde Hiparco, los cambios habrían sido lo suficientemente sensibles como para perturbar la mayoría de los alineamientos. (pág. 245, Histoire de l'astronomie ancienne, tomo 2).

Sirviéndonos, también, del mismo instrumento, cuyos círculos giran alrededor de los polos de la oblicua, observamos tantas estrellas como nos ha sido posible ver, hasta aquellas de sexta magnitud. (Ptolomeo, Almagesto).

Al observar las estrellas y el Sol 265 años después de Hiparco, cometió errores de 1° en la ubicación del apogeo y la longitud media; estos errores no pueden excusarse. Explicaríamos todo de manera menos favorable, pero más sencilla, diciendo que no observó ni estrellas ni equinoccios, y que tomó todo de Hiparco a partir del mínimo que había asignado a la precesión. (pág. 250, Histoire de l'astronomie ancienne, tomo 2).

3. Instrumentos de medición

3.1. La esfera armilar eclíptica o meteoroscopio

La esfera armilar “ecuatorial” (Fig. 2) era conocida, por tanto, por Eudoxo, Aristilo, Timocaris y Eratóstenes, a partir del siglo IV a.C. Era una esfera armilar con plano ecuatorial, que permanecía estático, paralelo al ecuador terrestre, y celeste. Se les asignaban a las estrellas las unidades utilizadas, que eran la ascensión recta, de 0h a 24h, con origen en el equinoccio de primavera o punto vernal, por medio de un aro, o armilla, circular, que giraba alrededor de los polos celestes; y la declinación, con origen en el ecuador celeste, de 0° a 90°, con valores positivos en el hemisferio norte, y negativos en el hemisferio sur, determinados por una pieza, con una mira, que se desplazaba a lo largo de la anterior armilla. Para iniciar la medición, la línea de origen de las ascensiones rectas debía estar alineada con la línea de los equinoccios real.

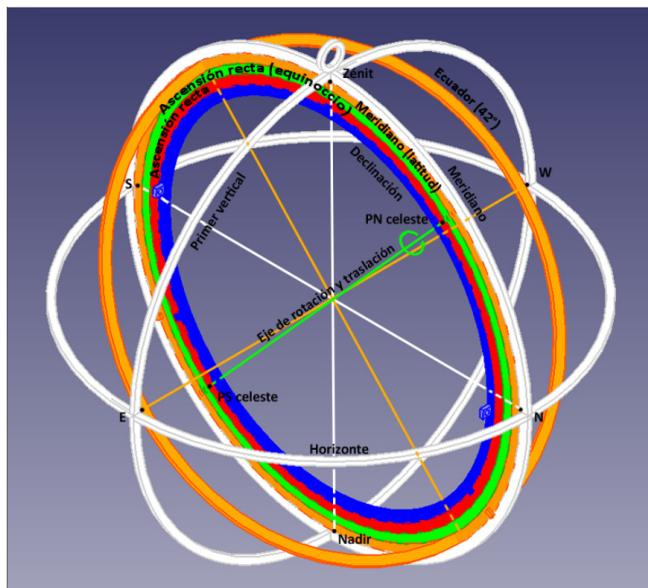


Figura 2. Esfera armilar ecuatorial.

En el siglo II a.C. Hiparco desarrolló una nueva esfera armilar, añadiendo el plano eclíptico, llamado zodiaco en los tiempos antiguos, y el coluro solsticial, plano definido por una armilla que pasaba por los polos celestes, perpendicular al plano eclíptico. La armilla del coluro solsticial giraba alrededor de los polos celestes, gracias a unos cilindros móviles, arrastrando los polos eclípticos, que se encontraban sobre ella. El eje que pasaba por los polos eclípticos era perpendicular al plano zodiacal. El coluro solsticial y la armilla del plano zodiacal eran solidarios en los puntos solsticiales. Las unidades que se utilizaban eran longitudes eclípticas, de 0° a 360° , repartidas en 12 dodecatemorias, vinculadas a los signos zodiacales, de 30° cada una; y las latitudes eclípticas, medidas desde el plano eclíptico, con valores de 0° a 90° , positivos al norte, y negativos al sur. La armilla de longitudes, interior al coluro solsticial, giraba alrededor del eje de los polos eclípticos. Sobre ella se desplazaba una mira para medir las latitudes, hacia el norte o el sur. Esta esfera armilar se llamaba también meteoroscopio.

Con la esfera armilar ecuatorial se podían determinar coordenadas celestes ecuatoriales, ascensiones rectas y declinaciones, pero con el meteoroscopio se podían determinar coordenadas eclípticas, longitudes y latitudes. El origen de las longitudes eclípticas era la línea de los equinoccios, que pasaba por los puntos aries, vernal, o equinoccio de primavera, y libra, o equinoccio de otoño. Se debía orientar para hacer la línea de los equinoccios paralela a la línea real, apuntando simultáneamente al sol y a la luna, tantas veces como fuera posible (Almagesto), hasta que el coluro solsticial hiciera sombra sobre el otro plano. Conocida la longitud eclíptica de la luna en el zodiaco, por diferencia con la longitud eclíptica del sol, se calculaban las longitudes eclípticas de otros astros por referencia a ella. El desajuste de la línea de los equinoccios era casi inmediato, debido a la rotación de la Tierra, y era necesario volver a apuntar.

El meteoroscopio se atribuye habitualmente a Ptolomeo. Este aparato era necesario para realizar un Catálogo de Estrellas basado en longitudes y latitudes eclípticas. Como veremos después, hay una serie de aspectos que inducen a pensar que fue Hiparco su inventor.

Con el meteoroscopio, Ptolomeo (o Hiparco) obtuvo las longitudes y latitudes eclípticas de 1022 estrellas. El Catálogo de Estrellas del Almagesto se hizo con la esfera armilar eclíptica, que permitía obtener estas longitudes y latitudes eclípticas. También podían utilizar, como elementos de apoyo, otros aparatos, como el medidor de ángulos, o alidada, del astrolabio (derivado de la esfera armilar, adaptada a un plano), y la dioptra, o transportador de ángulos. En el primero la horizontalidad se obtenía colgándolo de una cuerda, y en el segundo, por medio de un nivel de burbuja. Como reloj los astrónomos utilizaban el astrolabio, o una clepsidra, o reloj de agua. Como dice Delambre, Hiparco tuvo, al menos en los últimos años, en Rodas, un instrumento de este tipo, aunque también estuvo, al menos unos años, en Alejandría. Todas las estrellas que aparecen en el Catálogo de Estrellas del Almagesto, son visibles desde Rodas, incluso Canopus, con sus muy australes latitudes eclípticas, que se ve desde esa isla de Grecia, durante varios días por encima del horizonte, todos los años.

3.2. Geometría de la esfera armilar eclíptica o meteoroscopio

Habiendo concluido Hiparco, que las latitudes eran constantes y que las longitudes aumentaban de manera más uniforme que las ascensiones rectas, ideó el astrolabio que daba directamente las ubicaciones de las estrellas relacionadas con la eclíptica, sin necesidad de complejos cálculos intermedios. En consecuencia, para determinar las coordenadas de las estrellas, Hiparco, y Ptolomeo, emplean el sistema de referencia eclíptico, utilizando la esfera armilar eclíptica, también llamada astrolabio, o meteoroscopio, que se describe en el Almagesto, y en un tratado recientemente descubierto, que describe los anillos, o armillas, que tenía.

El anillo exterior (1), “portador” (“el (anillo) que lleva una suspensión/gancho”, ó *φέρων αρτημα*, o simplemente *φέρων*), era un anillo de meridiano fijo que representa el meridiano local en un marco de referencia basado en el horizonte (ver Fig. 3). Un segundo anillo (2), llamado *έκτημοροσ*, hekte-moros (literalmente “seis partes”), era igual en dimensiones al portador, fijo al mismo, en el plano vertical

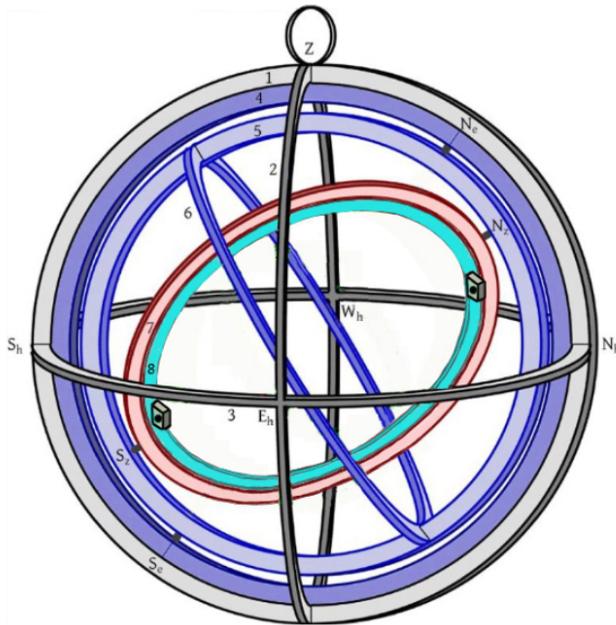


Figura 3. Meteoroscopio de 8 anillos. Modificado de Victor Gysembergh, Alexander Jones, Emanuel Zingg, Pascal Cotte, Salvatore Apicella. “Recuperado el tratado de Ptolomeo sobre el meteoroscopio”. *Archive for History of Exact Sciences* (2023).

perpendicular al portador, y cortándolo en el cénit y el nadir. Un tercer anillo (3), llamado “horizonte” (ὄριζων), que está en el plano del horizonte local, fijado al portador y al hektemoros en los puntos cardinales. Un cuarto anillo (4), llamado “meridiano” (μεσημβρινός), que representa el meridiano local en un marco de referencia ecuatorial. Está inmediatamente dentro del portador y se mantiene en el plano del portador por bridas, pero se puede establecer en cualquier orientación en ese plano de acuerdo con la latitud terrestre.

El plano del ecuador forma un ángulo con la horizontal igual a la co-latitud ($90^\circ - \text{latitud}$). Es perpendicular al eje de rotación terrestre, que determina el movimiento diario de rotación. El eje de rotación terrestre se marca en el meridiano según la latitud del lugar de observación. El ecuador celeste y el eje de rotación permanecen estáticos, de forma aparente. El plano eclíptico forma con el ecuador un ángulo llamado oblicuidad ($23,5^\circ$ según Ptolomeo). La intersección de ambos planos es la línea de los equinoccios, aries – libra. El plano eclíptico gira, de forma aparente, alrededor del eje de rotación terrestre. Para ser utilizado como sistema de referencia, el plano eclíptico del meteoroscopio debe ponerse paralelo al plano eclíptico real, y la línea de los equinoccios paralela a la real. Para ajustarlos se utiliza un tercer plano, llamado coluro solsticial, que es perpendicular a los dos planos anteriores, y a la línea de los equinoccios, pasando por los polos celestes y eclípticos, así como por los puntos solsticiales. El coluro solsticial del meteoroscopio (πολέυων, “revólver”) (5), se hace girar alrededor del eje que pasa por los polos celestes, arrastrando en su movimiento al plano eclíptico, o zodiaco (ζωδιακός)(6). El eje perpendicular a la eclíptica, que pasa por los polos eclípticos, es el eje alrededor del cual gira el sol en su movimiento de traslación aparente anual, recorriendo la eclíptica o zodiaco, siguiendo las longitudes eclípticas crecientes.

Las longitudes eclípticas se calculan sobre el círculo eclíptico, desde el punto aries de la línea de los equinoccios, pasando por los doce signos zodiacales, de 30° cada uno, cada uno de ellos llamado do-decatemoria, tauro, géminis, cáncer, etc., de modo que $30 \times 12 = 360$, cubren todo el círculo. Un aro o

armilla móvil (*ἀστρολάβος*, “astrolabio”) (7), solidario al eje eclíptico, se lleva hasta la longitud de la estrella a medir, girando alrededor de los polos eclípticos. Las latitudes eclípticas se calculan desde el plano eclíptico, perpendicularmente al mismo, siguiendo el círculo desde la anterior armilla de longitud, hacia el polo norte, o sur, eclípticos, con unas miras diametralmente opuestas, situadas en un aro que está inmediatamente dentro del astrolabio, y se mantiene en el plano del astrolabio por bridas (8), de la misma manera que el cuarto anillo, hasta apuntar a la estrella a medir. El círculo eclíptico está muy inclinado con respecto a la horizontal, en el caso que nos ocupa, latitud 42° , con una inclinación de $90^\circ - 42^\circ + 23,5^\circ = 71,5^\circ$. En el polo norte estaría inclinado $23,5^\circ$, y en el ecuador $90^\circ + 23,5^\circ = 113,5^\circ$ ($66,5^\circ$). Los movimientos de rotación y de traslación desalinean pronto la línea de los equinoccios real con la de la esfera armilar, a razón de un cuarto de grado por minuto. La esfera armilar de Alejandría (Fig. 4) debía ser grande, al menos de un metro de diámetro, probablemente más, hasta dos metros, y estar bien construida, para obtener mediciones precisas.

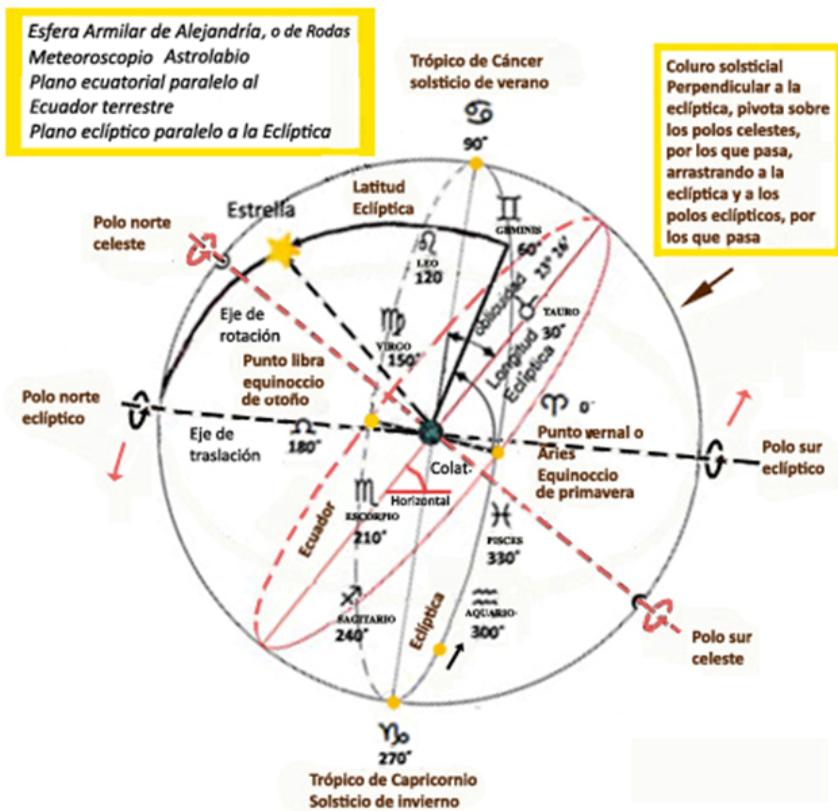


Figura 4. Esfera armilar de Alejandría.

Dice Ptolomeo, como se verá después, que, durante el día, se observan el sol y la luna simultáneamente, varias veces, para así determinar su diferencia de longitud. Para ajustar la posición, se apunta hacia el sol el coluro solsticial, que debe proyectar sombra sobre la totalidad del plano eclíptico. Con la armilla que gira alrededor de los polos de la eclíptica, se calcula, sobre el plano eclíptico, la diferencia de longitud entre el sol y la luna. Con la armilla de latitud comprobamos los grados que se separa la luna del plano eclíptico. Se suma, o resta, la diferencia de longitud entre la luna y el sol a la longitud eclíptica del sol. La longitud eclíptica del sol se puede obtener por medio del grado de avance en la dodecatemoria

correspondiente al día de observación (se encuentra, por ejemplo, en el dorso del astrolabio plano). Tras la puesta de sol, si la luna sale después que el sol, o antes de la salida del sol, si es la Luna la que sale antes que el sol, se determina el ángulo entre la luna y la estrella, o planeta, a medir, con la armilla de longitud eclíptica. Se suma, o resta el valor obtenido al valor de la longitud eclíptica de la luna. Se hace también la medición de la latitud con la armilla de latitud, y se suma, o resta, a la latitud de la luna.

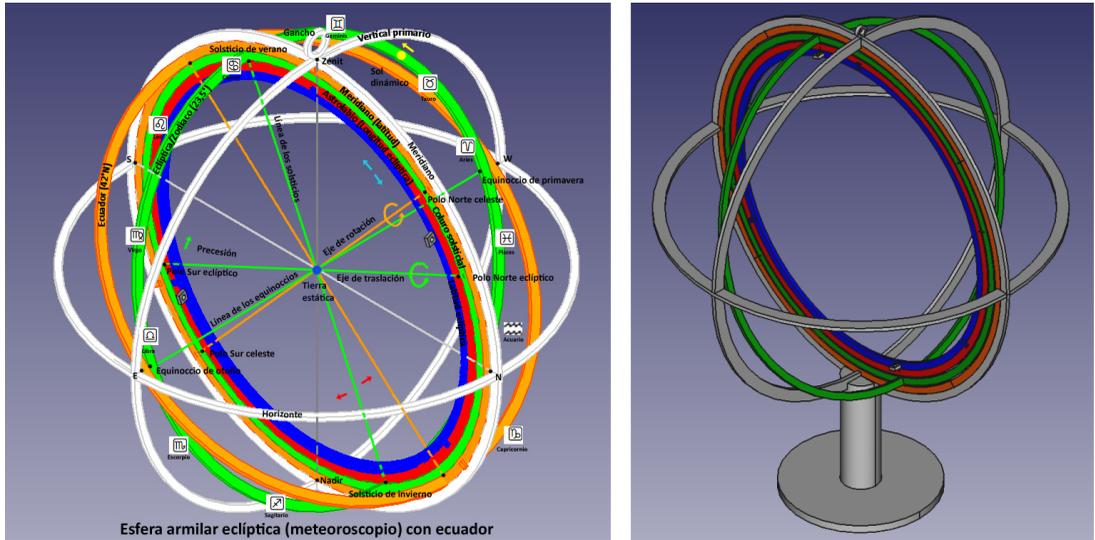


Figura 5. Izquierda: Esfera armilar eclíptica (meteoroscopio) con ecuador. Derecha: Esfera armilar eclíptica (meteoroscopio) de ocho anillos, con gancho y pedestal.

3.3. El astrolabio plano

El astrolabio plano, también llamado planisférico, deriva del meteoroscopio, representando el cielo en un mapa plano. Se utiliza la proyección estereográfica polar, tomando como punto desde el que se realiza la proyección, el polo depreso, en este caso el polo sur. Ya era conocido desde los tiempos de Hiparco, incluso antes. Fue Hiparco el que desarrolló la proyección estereográfica, que conserva los ángulos, pero no las distancias, que son sólo relativas.

Con referencia al esquema de la Fig. 6, a la izquierda, limbo exterior con las horas iguales, madre con las estrellas representadas en la araña o rete, círculo eclíptico, regla y tímpano o lámina, que representa el horizonte, característico de cada latitud, al fondo. Constelaciones zodiacales del círculo eclíptico, oblicuo, de distinto ancho cada una para que se cumpla el principio de “arcos iguales en tiempos iguales”. Todo ello sujeto a la proyección estereográfica. De los más de 100 usos que se describen de este aparato en algunos tratados, como los “Libros del saber de astrología”, de Alfonso X de Castilla, nos fijamos en dos; uno, como reloj nocturno, o diurno, para resolver las longitudes (horas locales de inicio de un eclipse de luna, medidas simultáneamente en los dos lugares cuya diferencia de longitud se quiere medir); dos, como medidor de ángulos, con la alidada del dorso, para resolver las latitudes. El día 27 de febrero, el sol está en Piscis ♋, longitud eclíptica 338° (ver en el dorso). Este punto se marca con la regla en la eclíptica. La altura del sol en ese instante es 17° (se mide con la alidada del dorso, como se ve a la derecha). Se lleva el punto marcado en la eclíptica al correspondiente almicantarato de

la lámina, hacia el oeste, atardecer, que está a la derecha. La regla en el limbo marca la hora solar, las XVI (16) horas equinociales. En el panel derecho de la misma figura se muestra el dorso del astrolabio. Altura del sol o una estrella medida con la alidada, 17° ; graduaciones de los signos zodiacales 360° ; graduaciones en $365 \frac{1}{4}$ días del año para obtener la longitud eclíptica del sol; ecuación del tiempo; horas desiguales; y cuadrado de sombra.

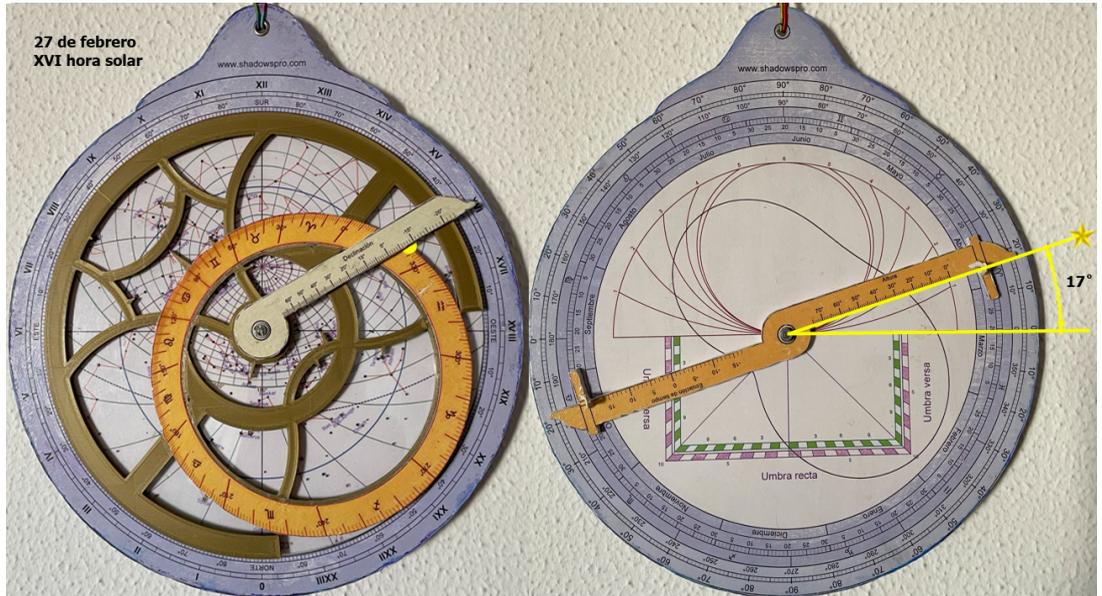


Figura 6. Astrolabio planisférico de Blateyron – Shadows (“Shadows software, ©François Blateyron, www.shadowspro.com”).

3.4. Construcción del astrolabio (Almagesto)

De la Composición Matemática, de Claudio Ptolomeo, Libro V, Capítulo I:

Tomando dos círculos bien formados alrededor, con cuatro caras perpendiculares, de las mismas proporciones en su tamaño, perfectamente iguales y parecidos entre ellos, los arreglamos de una manera que se cruzan en ángulo recto con un diámetro común. Uno representa la eclíptica, y el otro el meridiano que pasa por los polos de la eclíptica y por aquellos del ecuador. En este meridiano, tomando con el lado del cuadrado inscrito, los puntos que fijan los polos de la eclíptica; y poniendo en estos puntos, unos cilindros que salen afuera y adentro, por aquellos de afuera pasamos otro círculo cuya concavidad se adapta perfectamente a la curvatura convexa de los dos círculos en el mismo encerrado, y que puede moverse en la dirección de la longitud, girando sobre los polos de la eclíptica. A los cilindros del interior, también adjuntamos otro círculo cuya convexidad se abraza por la concavidad de los dos primeros, y que también gira en longitud alrededor de los mismos polos con el círculo exterior. Este círculo exterior y el que representa la eclíptica, dividida en 360 grados de circunferencia ordinaria, y cada uno de estos grados en tantas subdivisiones como ella puede recibir, hemos adaptado dentro de este círculo interno, otro círculo más pequeño, que se desliza por su borde convexo en la concavidad de este círculo interno, y que lleva dos pínulas prominentes y diametralmente colocadas, para que se

pueda poner en movimiento en el plano del círculo interior hacia cualquier polo para observación de las latitudes. Todo esto así dispuesto, en el círculo que se concibe para pasar por los polos de la eclíptica, tomando después desde cada uno de los polos del zodiaco, el intervalo que se ha mostrado entre polos de la eclíptica y del ecuador, los puntos extremos de estos intervalos diametralmente también opuestos el uno al otro, los fijamos, como al principio de este tratado en un meridiano similar para las observaciones del arco del meridiano entre los trópicos, de modo que nuestro astrolabio siendo puesto en la misma posición que este instrumento, es decir perpendicular al plano del horizonte, y erigido siguiendo la altura del polo para la supuesta localización terrestre, y todo a la vez paralelo al plano del meridiano natural, los círculos internos podrían dar la vuelta a los polos del ecuador de oriente a occidente, de acuerdo con el primer movimiento del universo.

Estando el instrumento así colocado, todas las veces que el sol y la luna pudieron ser vistos al mismo tiempo por encima del horizonte, ponemos el círculo exterior en el grado donde encontramos más o menos que el sol estaba en ese instante, y hacemos girar el círculo que pasa por los polos, de manera que la intersección de los círculos siendo girada justo hacia el grado del sol, los dos círculos, a saber, el de la eclíptica y el que pasa por los polos de esta, se hacen sombra; o de manera que si fuera una estrella que viéramos, aplicando uno de los ojos en uno de los lados del círculo exterior dirigido hacia el grado en cuestión de la eclíptica, esta estrella se nos aparecería en el lado opuesto y en el mismo plano del círculo, como pegada a las superficies de los dos círculos. Entonces dirigimos el círculo interno hacia la luna, o hacia el astro, en cuestión, podríamos ver al mismo tiempo, la luna o el astro, objeto de nuestras investigaciones, por los dos pináculos del círculo más pequeño incrustado en el círculo interno.

Así encontramos el lugar que el sol u otro astro ocupa en longitud sobre la eclíptica, hasta el punto de la intersección de este círculo con el círculo interior del astrolabio correspondiente en el punto análogo del círculo externo; y en grados desde este círculo, la distancia desde la luna o el otro astro sobre la eclíptica, ya sea hacia las osas o hacia el mediodía, como sobre el círculo exterior, por medio de la división del círculo interno del astrolabio y por el intervalo desde el medio del pináculo del círculo más pequeño que hacemos deslizar en este círculo interno hasta la mitad de la línea de intersección de este círculo y de la eclíptica.

3.5. Método para describir las estrellas fijas (Almagesto)

De la Composición Matemática, de Claudio Ptolomeo, Libro VII, Capítulo IV:

Observaciones semejantes hechas sobre estas estrellas y sobre otras más notables por su brillo, las comparaciones entre ellas, y las distancias reconocidas constantes entre las que hemos examinado y todo lo demás de las fijas, nos hacen ver como cierto el movimiento de la esfera de las fijas al oriente de los puntos trópicos (solsticiales y equinocciales), tanto como este espacio de tiempo nos puede asegurar; y que este movimiento tiene lugar alrededor de los polos del círculo oblicuo medio del zodiaco, y no alrededor de los del ecuador, es decir no alrededor de los del primer móvil (de oriente a occidente). Hemos, por lo tanto, considerado conveniente informar las observaciones de cada una de estas estrellas y de todas las demás fijas, así como sus descripciones, y sus lugares en longitud y latitud marcadas tal como son en nuestro tiempo relativamente, no al ecuador, sino al círculo medio del zodiaco, en los círculos máximos que pasan por los polos de este último y por cada una de estas estrellas, por medio de las cuales, en consecuencia a la hipótesis del movimiento que he expuesto, los lugares de estas estrellas en latitud relativas al círculo medio del zodiaco, se verán necesariamente siempre los mismos; y por sus progresiones en longitud según la secuencia de constelaciones, describirán arcos iguales en tiempos iguales. Sirviéndonos, también, del mismo instrumento, cuyos círculos giran alrededor de los polos de la oblicua, observamos tantas estrellas como nos ha sido posible ver, hasta aquellas de sexta magnitud. Y fijando siempre al punto adecuado uno de estos círculos dirigidos a una de las estrellas comparadas con la luna apuntábamos el otro, que está graduado, y puede moverse en el sentido de la latitud, al

mismo tiempo que puede girar por medio del primero alrededor de los polos de la oblicua, hacia la estrella que era el objeto de nuestra observación, hasta que la veíamos a través de los agujeros de las pínulas de este segundo círculo. Por este medio, el astrolabio nos hacía pronto conocer las progresiones de la estrella observada; porque el lugar de esta estrella se encontraba determinado en longitud por la intersección del primer círculo y el oblicuo contiguo, y en latitud por el arco incluido en este mismo primer círculo, entre esta intersección y el punto donde podíamos ver esta estrella.

Para exponer, de acuerdo con esto, las constelaciones de la esfera sólida, hemos hecho de todas las estrellas fijas, una tabla en cuatro columnas: hemos establecido para cada una de las constelaciones en la primera columna, sus figuras; en la segunda, los lugares de los doce signos del zodiaco en longitud, reducidos según observaciones, al principio del reinado de Antonino, siendo el zodiaco dividido en cuatro partes iguales que comienzan en los puntos trópicos y equinocciales; la tercera columna contiene las latitudes respectivas de las estrellas, tanto meridionales como boreales, y la cuarta, los órdenes de magnitud de cada estrella. Las latitudes siempre permanecen iguales, pero los lugares en longitud pueden encontrarse fácilmente para otros tiempos, a razón de un grado por 100 años, restaremos el número apropiado de grados, del que está marcado en la tabla, en proporción al tiempo transcurrido entre la época de esta tabla y el momento en el cual buscamos el lugar, si se trata de encontrarlo para un tiempo pasado y lo sumaremos, al contrario, si se trata de obtenerlo para un tiempo futuro.

Es preciso saber que hemos distinguido las partes de las figuras, según la posición de las constelaciones, y según los lugares que ocupan en cuanto a los polos del zodiaco; porque decimos que una estrella es siguiente o anterior, dependiendo de si está más o menos avanzado (hacia el oriente); y decimos que es boreal o austral dependiendo del polo del cual está más cerca.

Para las estrellas no hemos seguido exactamente las distinciones de lugares que les asignaron nuestros predecesores, del mismo modo que ellas mismas no estaban sujetas a las que estaban en uso antes que ellas; pero les dimos otros más adaptados a la conformación regular de las figuras. Así, las que Hiparco puso en los hombros de la Virgen, las llamamos estrellas de sus costados, porque nos parecían más alejadas de las de la cabeza que de las de las extremidades de las manos; y por lo tanto como se ajustan a los costados, no se ajustan bien a los hombros. Además, comparando las ubicaciones descritas de estas estrellas será fácil reconocer aquellas que tienen una configuración diferente. Aquí ahora está la tabla de estas estrellas.

4. Metodología y desarrollo

4.1. Constelaciones Ptolemaicas - Proyección Plate Carrée

Se han obtenido los gráficos mostrados en el [Material Suplementario 2](#), a partir de las 1022 coordenadas (al contarlas nos salen 1028), longitudes y latitudes eclípticas, y las 48 constelaciones, de los textos del Almagesto que figuran en la Bibliografía, monitorizándolas en su totalidad en hoja de cálculo Excel, por medio de gráficos de burbujas. Las longitudes y latitudes eclípticas ptolemaicas se exponen en el [Material Suplementario 3](#).

4.2. Constelaciones Ptolemaicas - Proyección Azimutal Equidistante

El gráfico de la Fig. 7 se ha hecho con un programa en Python/Cartopy, procesando un fichero con las longitudes y latitudes eclípticas ptolemaicas (ver código en GitHub). La longitudes eclípticas son crecientes desde el primer punto aries, abajo, al centro, hacia la izquierda. Las figuras representan, de forma aproximada, las constelaciones, con el polo eclíptico en el centro.

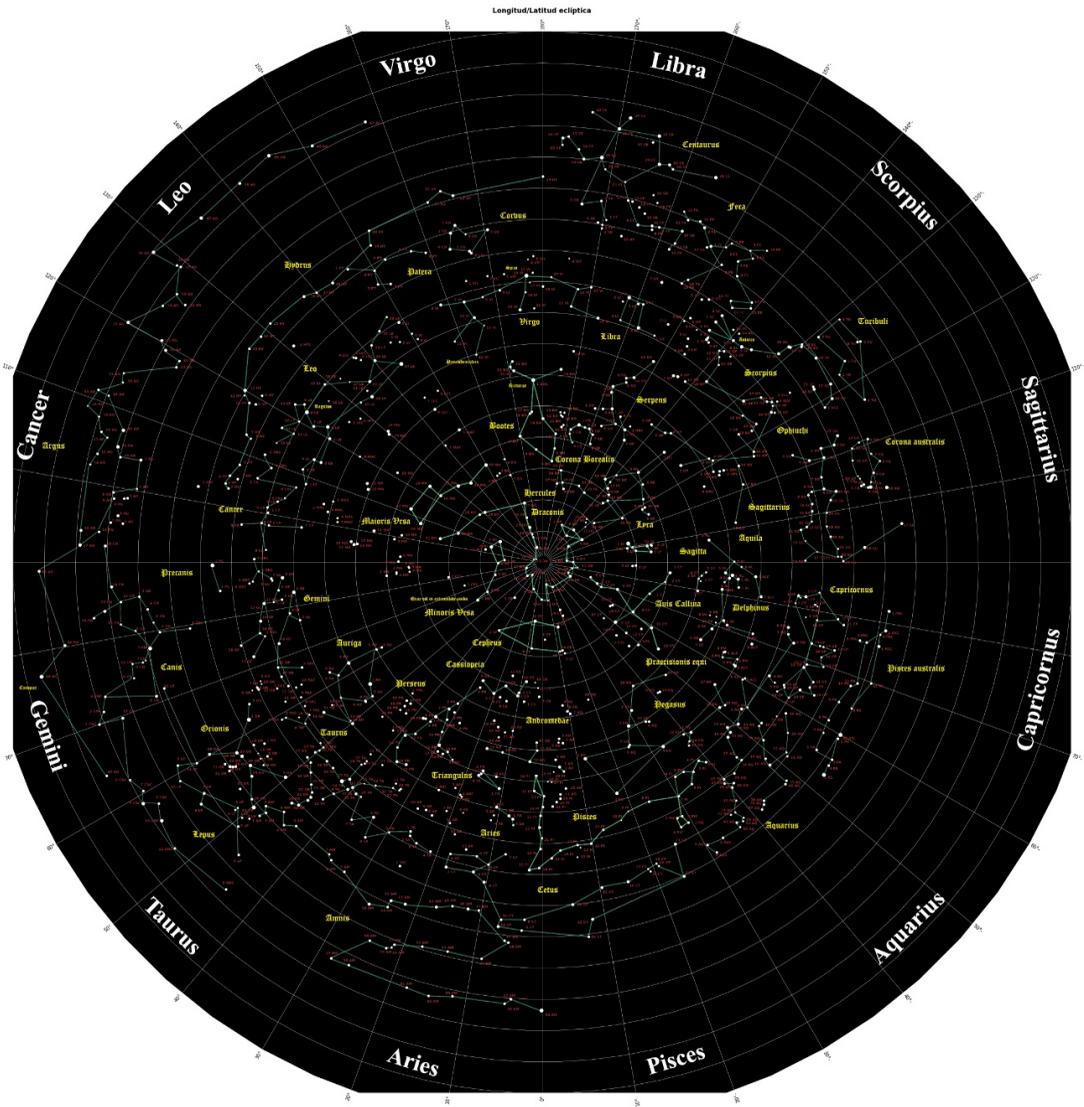


Figura 7. Representación de las constelaciones Ptolemaicas realizada en Python/Cartopy.

4.3. Lugares de las fijas de los doce signos, hasta 10° de latitud, y a la cuarta magnitud, de Teón de Alejandría - Proyección Plate Carrée

Se han realizado (ver [Material Suplementario 4](#)), por el mismo método y monitorizando las 175 estrellas, las doce figuras de las constelaciones y estrellas (Libra y Escorpión aparecen agrupadas) de los Lugares de las fijas de los doce signos, Hasta diez grados de latitud, y a la cuarta magnitud, que aparecen en los “Comentarios de Teón de Alejandría sobre el libro III del Almagesto de Ptolomeo. (Seguido de) Tablas manuales de los movimientos de los astros” ([Material Suplementario 5](#)), en proyección Plate Carrée. Estas fueron realizadas por Teón (e Hipatia) de Alejandría, unos doscientos cincuenta años después de Ptolomeo. Ambos son simples comentaristas de Ptolomeo, y sus cálculos están basados en los de este, pero tomaron como origen de coordenadas para la ubicación de sus estrellas Cor Leonis

(Regulus), igualmente en coordenadas longitudes y latitudes eclípticas. Esto tal vez lo hicieron porque se consideraba una estrella fácil de localizar e iban dirigidas fundamentalmente a los astrólogos, para facilitar su trabajo.

4.4. Ruedas de estrellas de los “Libros del Saber de Astrología” de Alfonso X

Dice el Prólogo del Libro de las Estrellas de Alfonso X de Castilla (el sabio):

En nombre de Dios amen. Este es el libro de las figuras de las estrellas fixas que son en el ochauo cielo, que mandó trasladar de caldeo et de arábigo en language castellano el Rey D. Alfonso. fijo del muy noble Rey Don Fernando, et de la noble Reyna Donna Beatryz. et Sennor de Castiella. de Toledo, de Leon, de Gallicia. de Seuilla. de Córdoba, de Murcia, de Jahen. Et dell Algarbe; et trasladólo por su mandado Yhuda el Coheneso. su alphaquin. et Guillen Arremon Daspa. so clérigo. Et fué fecho en el quarto anno que reyno este Rey sobredicho, que andaua la era de César en mil et doszientos et nouenta et quatro annos.

Et después lo endreçó. et lo mandó componer este Rey sobredicho. et tolló las razones que entendió eran soueianas. et dobladas, et que non eran en castellano drecho. et puso las otras que entendió que complian. et quanto en el language endreçólo él por sise. Et en los otros saberes ouo por ayuntadores. á maestre Joan de Mesina. et á maestre Joan de Cremona. et á Yhuda el sobredicho. et á Samuel; et esto fue fecho en el anno 30 del su reinado. y en la era de Cesar en 1314 años. Y la de nuestro Señor JesuCristo en 1276 años.

Y en cada una de las ruedas de estrellas, donde se representan las estrellas de cada constelación, repartidas en 46 constelaciones, dice:

Rueda de las estrellas fixas que son en la ossa menor con enadimiento de .XVII. Grados Et .VIII. Menudos sobre las del almaieste en longura.

El decir, las Ruedas de Estrellas de Alfonso X de Castilla no constituyen un verdadero catálogo de estrellas, sino que son las mismas que las del Almagesto de Ptolomeo, aunque en realidad son 1017 estrellas, unas pocas menos, giradas en longitud eclíptica $17^{\circ} 8'$, que es lo que se suponía, en esos tiempos, que era el giro en longitud eclíptica, por la precesión de los equinoccios, en los 1138 años que median, aproximadamente, entre la publicación del Almagesto y la publicación de los “Libros del Saber de Astrología”. Las coordenadas (ver [Material Suplementario 6](#)) se representan igualmente en longitudes y latitudes eclípticas. Al lado aparecen anotaciones astrológicas.

En Toledo había varias esferas armilares eclípticas. Uno de los Libros trata de las armillas, escrito por Rabicag, y en él se explica como debe realizarse su construcción. Aparece dibujada una esfera armilar eclíptica, con gran precisión y minuciosidad, incluso por piezas. También se explica con detalle su funcionamiento. El diámetro de sus armillas era de metro y medio a dos metros de longitud. También tenían un notable conocimiento de la teoría y construcción de los distintos tipos de astrolabios; plano, redondo, etc. Se explican las decenas de funcionalidades que tenían cada uno de estos aparatos. Las figuras de las constelaciones alfonsíes son, practicamente, las mismas que las ptolemaicas, siendo su número de 46, dos menos que las de Ptolomeo, porque agrupa, en dos grupos, cuatro de ellas. Las coordenadas de las estrellas (obviando el giro en longitud eclíptica) son casi las mismas, con pequeñas diferencias. Hay algunos errores en la copia. Se citan “las estrellas nublosas et cárdenas que non nombró Ptolomeo”, que son cinco, entre ellas la galaxia de Andrómeda (en el hombro izquierdo de la mujer encadenada), y la nebulosa de Orión (en la cabeza). Se hicieron mediciones, con las esferas armilares que había en Toledo, rectificando la posición de catorce estrellas, “hacia el año de 1260 de la Era Cristiana”. Es de notar que en la latitud de Toledo, de 39° aprox., no son visibles algunas de las estrellas que

aparecen en el Catálogo de Estrellas del Almagesto, ya que Alejandría tiene una latitud más al sur, 31°. Esto sucede en algunas estrellas, como Canopus, de la Constelación del Navío, que no es posible ver, en ningún momento del año, desde Toledo, pero si aparece en la correspondiente Rueda de Estrellas.

Se ha monitorizado la totalidad de las constelaciones de las Ruedas de Estrellas de Alfonso X de Castilla, pero no se reproducen, porque se considera que es innecesario hacerlo.

4.5. Constelaciones J2000 – Proyección Plate Carrée

En los gráficos de burbujas del [Material Suplementario 7](#), generados con hojas de cálculo Excel, se representan veinte constelaciones bastante características en coordenadas eclípticas J2000, longitudes y latitudes, con las estrellas que son más representativas de las mismas. Asimismo se incluye una figura que representa las doce constelaciones zodiacales J2000, en coordenadas ascensiones rectas y declinaciones.

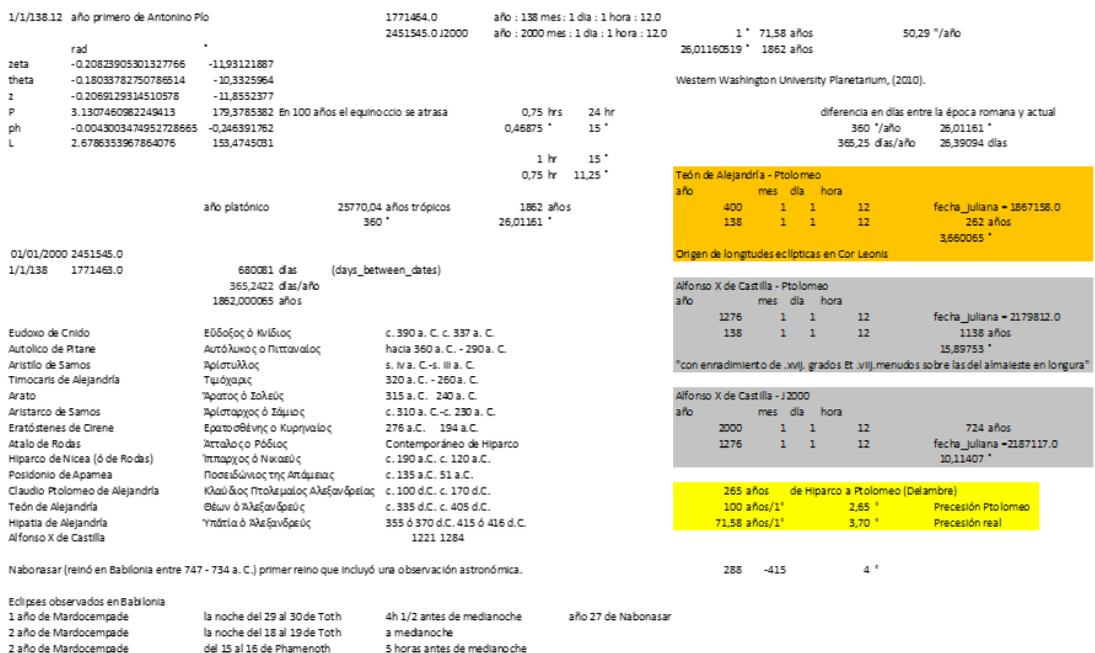


Figura 8. Cálculos del efecto de la precesión de los equinoccios.

4.6. Giro debido a la precesión de los equinoccios

Tomamos como Época, o Era, de los cálculos de Ptolomeo, la del año primero de Antonino Pío, año 138 d.C., primer día del primer mes, a las 12 hrs. La época J2000, es del primer día del primer mes del año 2000, a las 12 hrs. La precesión tiene un valor actual de 1° cada 71.58 años, o bien 50.29/año, aproximadamente, suponiéndola constante en todo el tiempo hasta la épocas romana (y griega). Esto supone un giro de 26.01160519° en los 1862 años que median entre ambas épocas, puesto que el año platónico es de 25770.03591 años trópicos, y la precesión terrestre se completa en 360°. La diferencia de precesión, en días, entre la época romana y J2000 es 26.3909411 días, ya que 360°/año y 365.25 días/año.

La precesión de Hiparco a Ptolomeo, 265 años, es de

2.65°, 100 años/1°, según Ptolomeo.

3.70°, 71.58 años/1°, Precesión real.

Según el Almagesto, el primer reino en el que se realizó una observación astronómica, que haya quedado registrada, fue el de Nabonasar (reinó en Babilonia entre 747 y 734 a.C.).

Con el paso del tiempo, se produce el movimiento, o precesión, de los puntos solsticiales y equinocciales en dirección de las longitudes eclípticas decrecientes, con el consiguiente crecimiento de las longitudes eclípticas de las estrellas. Las posiciones relativas de las mismas se mantienen estacionarias, salvo en lo que se refiere al movimiento propio, que se realiza en direcciones dispares, característico de cada una de las estrellas, aunque es posible reunir las en grupos, afectados por movimientos semejantes. Esto produce pequeñas variaciones tanto en longitud, como en latitud, eclípticas. Véase la Fig. 8 para más detalles.

4.7. Constelaciones Ptolemaicas/J2000 - Proyección Plate Carrée

Se ha realizado una comparación, por medio de un programa en Python/Cartopy de las coordenadas eclípticas, longitudes y latitudes, de veinte constelaciones ptolemaicas (en color blanco) con otras tantas en coordenadas J2000 (en color azul), giradas 26.01° (1862 años), hacia tiempos más antiguos. Se observa el error sistemático antes mencionado de 1.05°. Ver [Material Suplementario 8](#).

4.8. Constelaciones Ptolemaicas/J2000 - Proyección Azimutal Equidistante

La Fig. 9 muestra una comparación, en proyección azimutal equidistante, de las estrellas, en coordenadas ptolemaicas, longitudes y latitudes eclípticas, en color blanco, con respecto a las estrellas de las veinte constelaciones J2000 elegidas, giradas las longitudes eclípticas 26.01° (1862 años), hacia tiempos más antiguos, es decir, llevadas hacia la derecha, longitudes eclípticas menores, en color azul. Las líneas solsticiales y equinocciales serían las correspondientes a la época J138, supuestamente las correspondientes al Catálogo de Estrellas del Almagesto.

5. Discusión y resultados

5.1. Error sistemático en las longitudes eclípticas de las estrellas del Almagesto

Owen Gingerich, en “Was Ptolemy a fraud?” (1980), dice que:

...Ahora podemos imaginar que Ptolomeo fue un excelente teórico pero un observador torpe; sin embargo, se despiertan nuestras sospechas cuando descubrimos que la época informada por Ptolomeo concuerda precisamente con una extrapolación de una observación anterior realizada por Hiparco 278 años antes, una extrapolación que depende de la ligeramente larga duración del año a la que llegó Hiparco de manera bastante arbitraria. ¿Inventó Ptolomeo su supuesta observación del equinoccio? Tal vez.

Ptolomeo seleccionó de un gran banco de datos sólo aquellas observaciones que se ajustaban a la teoría. Ptolomeo ajustó su teoría a unas pocas observaciones preferidas. Ptolomeo ‘corrigió’ sus observaciones para que estuvieran de acuerdo con una teoría establecida a partir de numerosas observaciones no mencionadas en su obra.

Robert R. Newton, en “The crime of Claudius Ptolemy” (1977), dice que:

...La sintaxis ha hecho más daño a la astronomía que cualquier otro trabajo jamás escrito, y la astronomía estaría mejor si nunca hubiera existido. Así pues, Ptolomeo no es el mayor astrónomo de la antigüedad, sino algo aún más insólito: es el fraude más exitoso de la historia de la ciencia.

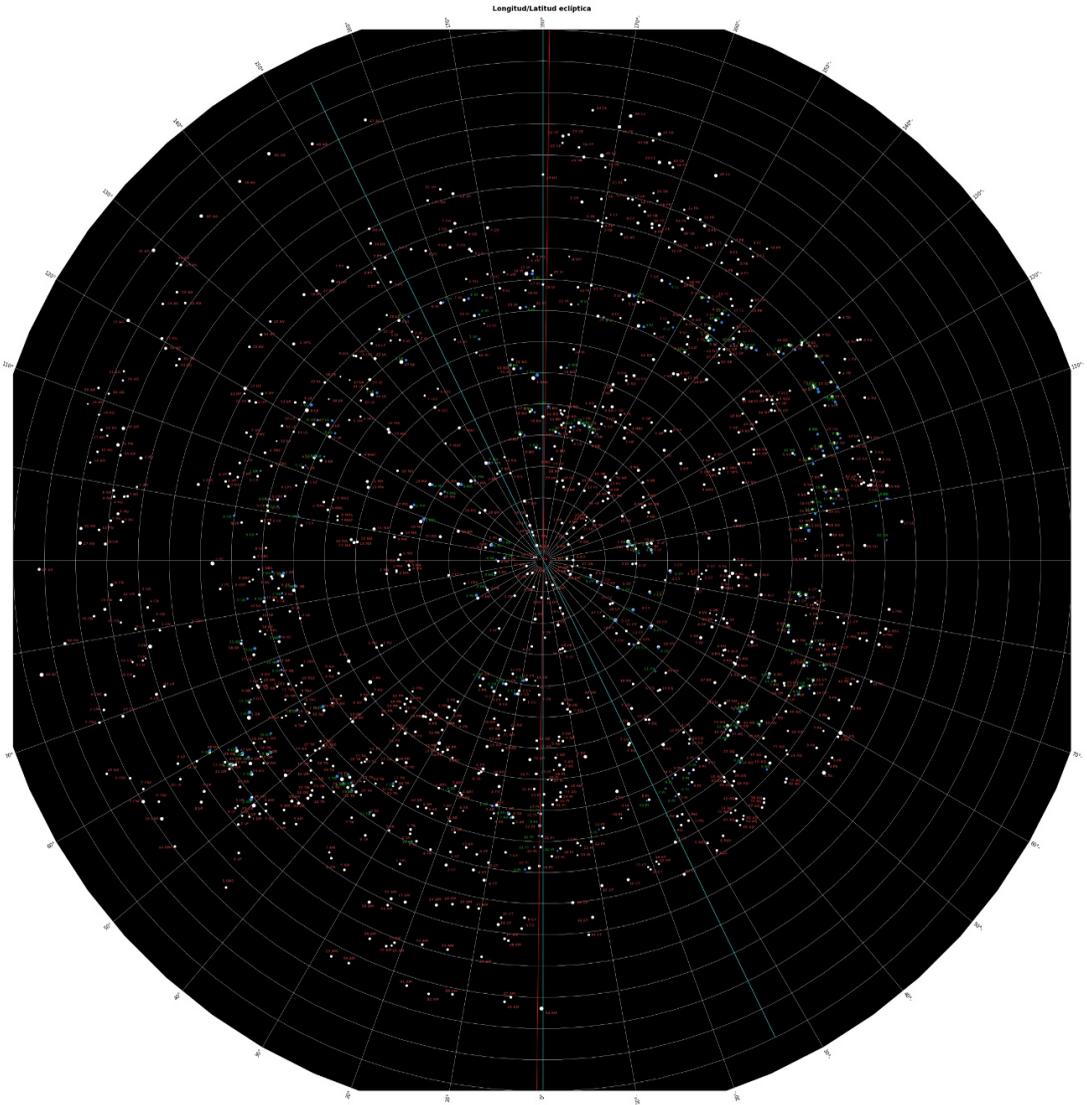


Figura 9. En blanco las estrellas ptolemaicas. En azul las estrellas J2000 giradas $26,01^\circ$ hacia tiempos más antiguos. Se ve que estas últimas tienen longitudes eclípticas mayores que las estrellas ptolemaicas, que corresponderían a fechas más antiguas.

Robert R. Newton, en *Comments on Was Ptolemy a fraud by Owen Gingerich* (1980), dice que:

...antes de presentar el catálogo de estrellas, Ptolomeo determina la precesión de los equinoccios, que fue supuestamente descubierta por Hiparco 265 años antes, por tres métodos de observación independientes. Cada método lleva a una precesión de exactamente 1° por siglo, sin embargo, el valor correcto es aproximadamente 1.4° por siglo.

Hiparco preparó un catálogo de estrellas cuya época fue aproximadamente 265 años antes de la época de Ptolomeo; Hay un sesgo de aproximadamente $1,1^\circ$ en las longitudes en el catálogo de Ptolomeo; si se multiplican 265 años por el error en el valor de la precesión de Ptolomeo, se obtiene un sesgo en

o 4° equinocciales), el punto aries estaba en 1 arietis. 792 años antes (11°), con el primer punto de la constelación de Libra en el equinoccio de otoño.

Ptolomeo calcula unas longitudes eclípticas 1.05° menores, en promedio, que las que corresponden, de acuerdo con los cálculos teóricos. Para el año 138 d.C., año primero del emperador Antonino Pío, de acuerdo con la precesión real, a razón de 1°/72 años, serían las longitudes eclípticas de las estrellas unos 75 años antes, año 63 d.C. Por esta época era Nerón emperador de Roma. Ptolomeo dice, en el Almagesto, que la precesión de los equinoccios es de 1° cada 100 años, menor que la real. Esto presupone una posición de las líneas de los solsticios y de los equinoccios corridas 1.05°, unos 75 años, hacia tiempos más antiguos, lejos de los 265 años que le separan de los cálculos de Hiparco. Sólo avanza, desde esta época, 190 años.

5.2. *El catálogo de estrellas de Hiparco - Proyección Azimutal Equidistante*

En el gráfico de la Fig. 11 tenemos las constelaciones y estrellas ptolemaicas giradas hacia tiempos más antiguos, tiempo de Hiparco, 127 a.C., restituyendo los puntos solsticiales y equinocciales a la posición que les corresponde en esta fecha. Esta es la posición de los puntos equinocciales y solsticiales del verdadero Catálogo de Estrellas de Hiparco, retrocediendo en el tiempo mediante un giro de 2.65° desde los puntos equinocciales y solsticiales del mapa de estrellas del Almagesto, en sentido de las longitudes eclípticas decrecientes, para corregir el error de Claudio Ptolomeo. 19 piscium en punto aries. La precesión de Ptolomeo es de 1°/100 años, pero la precesión de Hiparco es de 1°/72 años (más o menos 50"/año según Delambre – Comentarios Aratus latinus), ajustada a la precesión real. Se ha sustituido también el nombre del signo zodiacal, o dodecatemoria, de Libra, que no existía en la época de Hiparco, por el signo zodiacal de Ophiucus, que estaba en su lugar, en la época griega, y en tiempos de Hiparco. Julio César fue el que hizo sustituir el signo de Ophiucus de los griegos por el de Libra, que representaba con la balanza el equilibrio de la ley, la justicia y el civismo de Roma, aunque ya los griegos habían tenido la idea que la parte delantera, las pinzas del Escorpión, representaba una Balanza.

5.3. *Conclusión*

El error detectado en las longitudes eclípticas del Catálogo de Estrellas del Almagesto es de, aproximadamente, 1.05°, menores que las que les corresponde en realidad. Sería la longitud de la estrella unos 75 años antes del año primero de Antonino Pío (138 d.C.), lo que nos lleva al año 63 d.C. Ptolomeo dice, reiteradamente, y sin mucho fundamento, en el Almagesto, que la precesión de los equinoccios es de 1° cada 100 años, 34"/año, y no de 1° cada 72 años, unos 50"/año, que era el dato que había calculado Hiparco, coherente con el valor aceptado en la actualidad. Esto presupone una posición de la línea de los equinoccios corrida 1.05° hacia tiempos más antiguos, unos 75 años, lejos de los 265 años que le separan de los cálculos de Hiparco. Es decir, Claudio Ptolomeo se limitó a tomar el Catálogo de Estrellas de Hiparco, con sus longitudes y latitudes eclípticas, calculadas para el año 127 a.C., y girar las longitudes eclípticas un ángulo de 2.65°, obtenido multiplicando el número de años que median entre las observaciones de ambos, 265 años, por el valor que suponía de la precesión de 1° cada 100 años. Ese giro nos lleva no a su año, de 138 d.C., sino al año 63 d.C., con una falta de 75 años, lo que delata su falsedad. Haciéndolas girar, ese ángulo, en sentido contrario, se llevan las longitudes eclípticas del Almagesto al Catálogo de Estrellas de Hiparco.

El Catálogo de Estrellas de Ptolomeo es el verdadero Catálogo de Estrellas de Hiparco, girado 2.65°, que da posiciones estelares, en longitud eclíptica, correspondientes al año 63, no al año 138 d.C., puesto que para llegar a este tendría que haberlas girado 3.69°. Las líneas solsticiales y equinocciales son correspondientes al año 127 a.C., restituyendo las longitudes a este año, sin más que girar 2.65° sus longitudes hacia tiempos más antiguos. La Fig. 12 resume los cálculos.

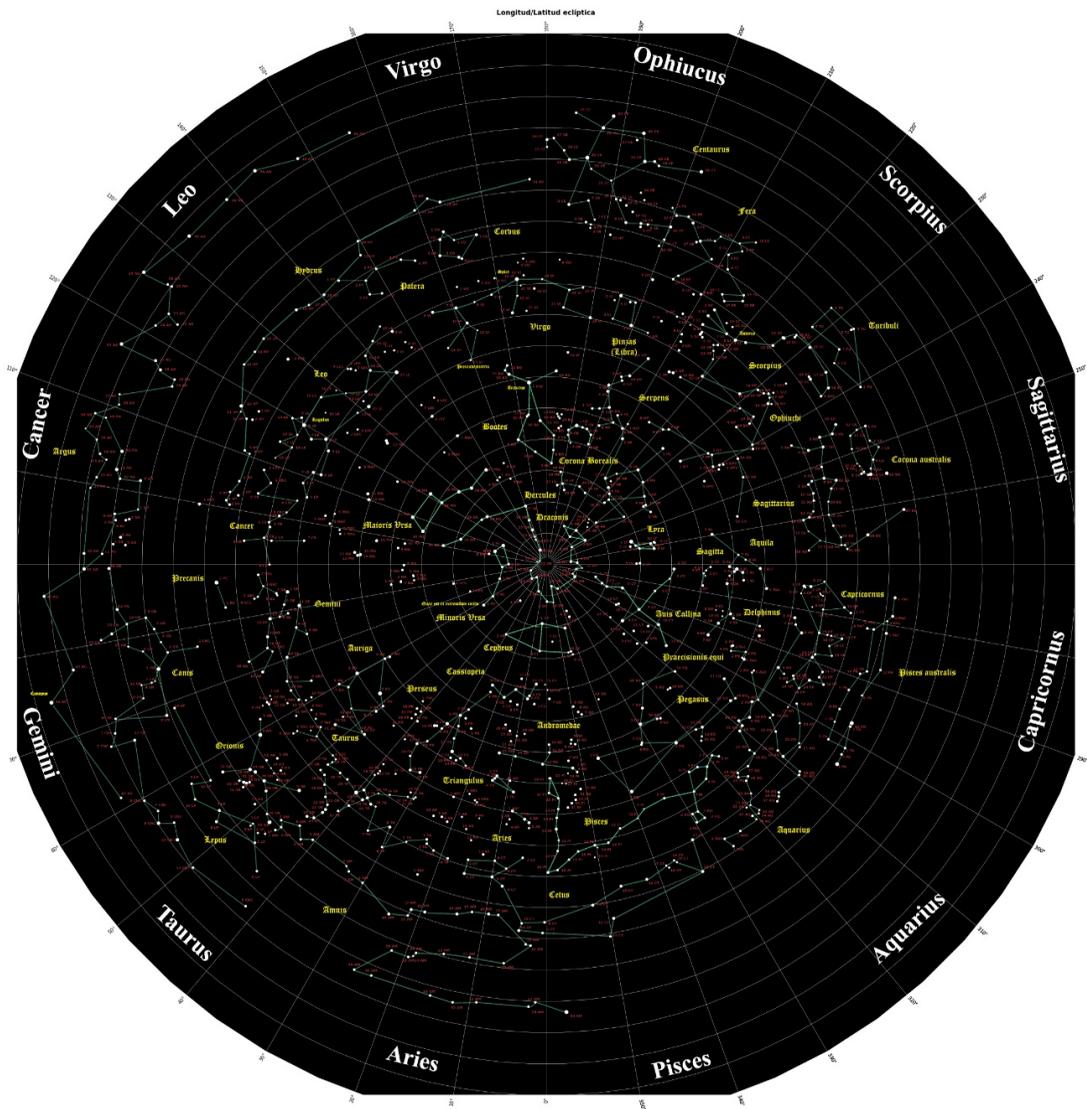


Figura 11. El verdadero Catálogo de Estrellas de Hiparco, con las líneas solsticiales y equinocciales restituidas al año 127 a.C., por medio de un giro de $2,65^\circ$, hacia longitudes eclípticas de tiempos más antiguos.

De la misma manera, y, puesto que para construir un Catálogo de Estrellas, con las coordenadas de las mismas en longitudes y latitudes eclípticas, sólo se puede realizar con una esfera armilar eclíptica o meteoroscopio, y no con un astrolabio plano, es lógico pensar que este aparato debe atribuirse a Hiparco, y no a Claudio Ptolomeo.

265 años	median entre las observaciones de Hiparco y Ptolomeo (Almagesto)
1 °	100.00 años precesión del almagesto
1 °	71.58 años precesión real
1.05 °	75 años error de Ptolomeo

Alfonso X	era de Antonino Pío	era de Nerón (9 año)	época de Hiparco
1276	138	63	-127
1276 - 63 =	1213 años	16,95 °	precesión real entre 1276 y 63
1276 - 138 =	1138 años	15,90 °	precesión real entre 1276 y 138
		1,05 °	diferencia = error de Ptolomeo
17 °	8 '	17,13 °	añadimiento sobre las del almagesto en longitud (Ruedas de las estrellas de los libros del saber de astrología)
		1,24 °	error de Alfonso X (se aproxima a la precesión real entre 1276 y 63)

El añadido sobre las del almagesto en longitud de Alfonso X se acerca mas a la precesión entre 1276 y 63 que 138

Figura 12. Resumen de los cálculos.

Agradecimientos

A Enrique Velasco, director del Curso de Cálculo Astronómico de la Federación de Asociaciones Astronómicas de España (FAAE); a Joaquín Álvaro, presidente de la misma; a los otros participantes en el curso, especialmente a Sergio Díaz, y a Hugo González. Gracias a todos por las conversaciones mantenidas, e ideas aportadas, a lo largo de estos dos años.

Referencias

- [1] Alfonso X de Castilla “El Sabio”. Libros del saber de astrología (Siglo XIII). Compilados, anotados y comentados por Manuel Rico y Sinobas (1864). ANGELUS, JACOBUS. (1.406). Claudius Ptolemæus Cosmographia. Latin 4804. BnF – Gallica.
- [2] Blateyron, F. (2014-2020). Cuadrantes Solares & Astrolabios. Manual de usuario y programa Shadows (1997-2021).
- [3] Claudii Ptolemæi, Almagestum, seu Magnæ constructionis mathematicæ opus plane divinum, latina donatum lingua ab Georgio Trapezunt... per Lucam Gauricum,... recognitum anno salutis M.D.XXVIII labente. Regiomontanus, Johannes (1436-1476). Éditeur: Luceantonii Junta (Venise) Date d’édition: 1496-1528. BnF – Gallica.
- [4] Claudii Ptolemæi Alexandrini. Geographiæ Enarrationis, Libri octo. Latín traducido del griego por Bilibaldi Pirckeymheri. Editor Michæle Villanuouano (1525, 1535, 1541 y 1585). BnF – Gallica.
- [5] Claudii Ptolemæi Alexandrini. Geographia. Griego y latín por Carolus Müllerus. Editor Alfredo Firmin Didot (1.883). BnF – Gallica.
- [6] Dambis, A. K.; Efremov, Yu. N. (2000). “Dating Ptolemy’s star catalogue through proper motions: the Hipparchan epoch”. Journal for the History of Astronomy **31**, 115-134 (2000).
- [7] Deakin, M. A. B. “Hypatia and her Mathematics”. The American Mathematical Monthly, March 1994, Volume 101, Number 3, pp. 234–243.
- [8] Delambre, J.-B. J. (1817). Histoire de l’astronomie ancienne. Paris. BNF - Gallica.
- [9] Dobler, H. R. “The dating of Ptolemy’s Star Catalogue”. Journal for the History of Astronomy **33**, Part 3, No. 112, p. 265 - 277 (2002).
- [10] Gentili, G. Dipartimento di Matematica e Informatica “U. Dini”, Università di Firenze viale Morgagni, 67/A, 50134 Firenze, Italy. Simonutti, L. Istituto per la storia del pensiero filosofico e scientifico moderno C.N.R. Area 3 - Bicocca Milano, via Cozzi, 53, 20125 Milano, Italy. Struppa, D. C. Schmid College of Science & Technology, Chapman University One University Drive, Orange,

- CA 92866, USA. *Journal of Humanistic Mathematics*. Volume 10 | Issue 1 January 2020. "The Mathematics of the Astrolabe and Its History". 2020/1.
- [11] Geus, K. (Freie Universität, Berlin, Deutschland); Tupikova, I. (Lohrmann Observatory, Technische Universität Dresden, Deutschland). *Astronomy and Geography Some Unexplored Connections in Ptolemy*. 2017/1/13.
- [12] Gingerich, O. (abr. 1986). *Astronomía Islámica*. *Revista Investigación y Ciencia* N.º 115.
- [13] Gingerich, O. "Was Ptolemy a fraud?". Harvard Smithsonian Center for Astrophysics, Cambridge, Massachusetts, 02138, USA (1980).
- [14] González Crespán, C. (2023). *La constelación de la osa menor en la época romana (El cielo en tiempos de los romanos)*. Asociación Astronómica de Vigo. 2016.
- [15] González Crespán, C. (2023). *La Geographia Geométrica de Claudio Ptolomeo de Alejandría*. XXV Congreso Estatal de Astronomía (FAAE), Zaragoza, 28-30 de abril de 2023.
- [16] Gysembergh, V; Jones, A. Zingg, E. Cotte, P. Apicella, S. "Recuperado el tratado de Ptolomeo sobre el meteoroscopia". *Archive for History of Exact Sciences* (2023).
- [17] Gysembergh, V., CNRS, UMR 8061, Francia; Williams, P. J., Tyndale House, Reino Unido; Zingg, E., Universidad de la Sorbona, Francia. "Nueva evidencia para el catálogo de estrellas de Hiparco revelada por imágenes multiespectrales" (2022).
- [18] Halma, N. *Traité de Géographie de Claude Ptolémée d'Alexandrie*. (1828). BnF – Gallica.
- [19] Halma, N. *Composition mathématique de Claude Ptolémée*. Tome 1 / Tome 2, traduite pour la première fois du grec en français sur les manuscrits originaux de la Bibliothèque impériale de Paris, par M. Halma et suivie des notes de M. Delambre, ... – 1813-1816. BnF – Gallica.
- [20] Halma, N. *Théon d'Alexandrie (0335? - 0405?)*. *Commentaire de Théon d'Alexandrie sur le livre III de l'“Almageste” de Ptolémée*. (Suivi des) *Tables manuelles des mouvemens des astres* [Claude Ptolémée]; trad. du grec par M. l'abbé Halma, 1822-1825. BnF – Gallica.
- [21] Hernández Pérez, A. (2017). *Arte y ciencia en al-andalus: el astrolabio nazarí de alcalá la real*. Departamento de Historia del Arte I (Medieval). Universidad Complutense de Madrid.
- [22] Lewis, M.J.T. *Surveying instruments of Greece and Rome*. University of Hull. Cambridge University Press. (2001).
- [23] Llamazares Gil, A. (abr. 2020). *El Astrolabio*.
- [24] Martínek, J. & Létal, A. (2023) *Astronomically determined localities, the core part of Ptolemy's Geography*, *Journal of Maps*, 19:1. 2195563.
- [25] Newton, R. R. "The strange case of Claudius Ptolemy". Volume 16, Number 2. (1973).
- [26] Newton, R. R. "The crime of Claudius Ptolemy". (1977). Baltimore.
- [27] Newton, R. R. "Comments on Was Ptolemy a fraud by Owen Gingerich". (1980).
- [28] Ponce de León Álvarez, J. M. (1999). *El Astrolabio, un instrumento astronómico de las Edades Media y Moderna*. *Revista de Estudios Provinciais*. Excma. Diputación Provincial de Pontevedra. N.º 14.
- [29] Sidoli, N. & Berggren, J. L. (2007). *The Arabic version of Ptolemy's Planisphere or Flattening the Surface of the Sphere: Text, Translation, Commentary*. Department of Mathematics Simon Fraser University.
- [30] Struppa, D.C. Schmid College of Science & Technology, Chapman University One University Drive, Orange, CA 92866, USA. *Journal of Humanistic Mathematics*. Volume 10 | Issue 1 January 2020. "The Mathematics of the Astrolabe and Its History". 2020/1.
- [31] Surroca, A. (2019). *Azarquiel, el astrolabio y la azafea. su aportación a la ciencia astronómica y a la navegación del renacimiento*. *Real Sociedad Geográfica* (2019). *Revista de Historia Naval* Núm. 144, págs. 9-34.
- [32] Swerdlow, N. M. "The Enigma of Ptolemy's Catalogue of Stars". *Journal for the History of Astronomy*, Vol.23, NO. 3/AUG, P.173, August 1992.
- [33] Toomer, G. J. (1984). *Ptolemy's Almagest Translated and Annotated by*. Duckworth, London.

- [34] Vicente Maroto, M. I. (ago. 1993). Instrumentos matemáticos del siglo XVI. Revista Investigación y Ciencia n.º 207.
- [35] Włodarczyc, J. “Observing with the armillary astrolabe”. Polish Academy of Science. (1987).