

El retorno del cometa Halley en el 837 d.C.



Detalle del tapiz de Bayeux, mostrando su paso el año de 1066

Resumen

El Halley es sin duda el cometa de periodo corto más famoso de la historia, no sólo por ser el primero en ser prevista su vuelta por su descubridor E. Halley, sino también por sus características intrínsecas y por haber sido representado y registrado su paso por diversas culturas de todo el mundo, ya desde la Edad Antigua hasta llegar a nuestros días.

De entre todos los retornos del Halley por la proximidad de nuestro planeta Tierra (la última fue en el año 1986), la del año 837 a.C. fue la más espectacular, ya que en esa ocasión pasó a la mínima distancia de todas cuantas veces lo ha hecho, pues lo hizo a sólo 0,0356 U.A. correspondiente a una 13,8 veces la distancia media Tierra - Luna.

En ese momento su cola o colas debían tener unas dimensiones espectaculares, superando los cien grados de distancia angular en el cielo. Es natural que el cometa quedara grabado en las mentes de los hombres de ese tiempo, sobre todo teniendo en cuenta los maleficios y supersticiones que solían acompañar al paso de estos cuerpos celestes.

Uno de los testigos fue " El Astrónomo ", un cronista de la corte del rey carolingio Luis el Piadoso, dejando constancia por escrito de su paso por el cielo de la capital, la ciudad de Aachen (Aquisgrán), en su obra " Vita Hludovici Imperatoris ".

No fue el único pues tanto los chinos, coreanos, japoneses y musulmanes también lo hicieron.

El objetivo general de este trabajo fue calcular todas las características que tuvo el evento astronómico y así poder recrear lo que se pudo ver en los cielos de todo el mundo, especialmente desde la corte carolingia y la correspondiente de nuestro reino asturiano, en la ciudad de Oviedo, donde reinaba Alfonso II el Casto, para de esta manera poder interpretar más acertadamente lo narrado por escrito en los diversos textos contemporáneos.

El retorno del cometa Halley en el año 837 d.C.

Introducción

Creo que el presente trabajo sobre el cometa Halley estaba destinado a realizarlo, ya desde hace mucho tiempo, sólo esperaba que se presentara una causa que me sirviera de motivación, como normalmente me ocurre con toda investigación que me planteo realizar, para que lo abordara inmediatamente.

Anteriormente ya había tomado contacto con él, pero sirviendo para unos distintos objetivos de los que ahora se dan. La primera vez ocurrió cuando estaba preparando una sencilla maqueta tridimensional de su órbita en el espacio, respecto al plano de la Eclíptica, con el propósito de presentarla, junto a otros " cacharros astronómicos ", en el espacio destinado al zoco de materiales que se montó durante los XI Encuentros organizados por ApEA, en el año 2015 en la ciudad de La Coruña. La segunda fue dentro del grupo de maquetas del Aula de Astronomía de Fuenlabrada, cuando nos propusimos hacer una, utilizando esta vez mejores materiales para su fabricación y persiguiendo un mejor acabado final de la misma. La idea era buena, pues en el Aula ya había espacios y materiales para la representación y estudio de

otros cuerpos celestes, pero todavía no existía ninguno que tratara sobre los cometas y que permitiera a los alumnos que la visitan visualizar qué es un cometa y cómo puede ser su órbita en el espacio. El resultado final del proyecto, que se puede ver en la foto de al lado, presentaba un sensacional aspecto, ya que, además de la buena madera que sirvió como material base, las ilustraciones, leyendas y fotos que adornaban los lados de la estructura, junto con las bombillas led que se encendían consecutivamente, formando parte de un circuito eléctrico, y que servían para señalar las posiciones del cometa en su órbita, a intervalos regulares de cinco años, hacían que las aplicaciones didácticas de la maqueta fueran evidentes.



Pasó el tiempo, y yo seguía alimentando mi pasión por la Historia - esta Ciencia siempre está presente en mis pensamientos y reflexiones diarias - a través de la lectura de los distintos textos históricos que siempre tengo entre manos. Esta vez se trataba de un periodo fascinante de la misma y, a la vez, de difícil estudio : la Alta Edad Media.

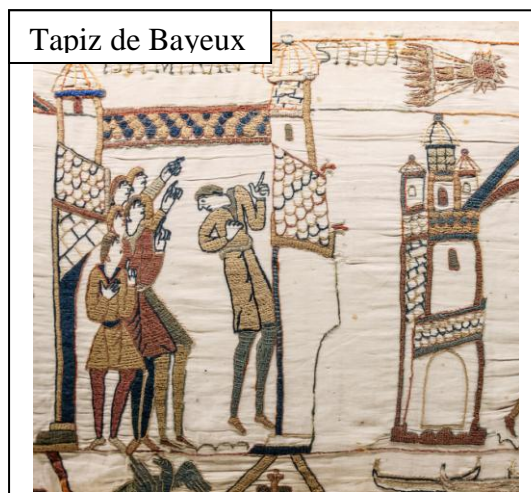
Esta época es conocida en la historia europea como los Siglos Oscuros, y no es de extrañar, ya que después del esplendor clásico que representó el Imperio Romano, con una amplia y trascendental historia que contar durante sus casi cinco siglos de existencia, su desintegración progresiva, ocurrida a lo largo del S. V, sumió en el caos y la barbarie sólo a las pro-

vincias occidentales del mismo, pero no a la parte oriental, que continuó como Imperio Bizantino hasta mediados del S. XV, cuando cayó Constantinopla en manos de los turcos. Estos dos espacios, diferenciados entre sí, surgieron a la muerte del emperador Teodosio en el año 395, después de la repartición de todo el solar imperial entre sus hijos, quedando la parte oriental en manos de Arcadio, mientras que la occidental correspondió a Honorio. Fue entonces cuando me encontré con el relato que el cronista, conocido como " El Astrónomo ", funcionario en la corte del emperador carolingio Luis el Piadoso, hizo de la aparición en el cielo del cometa Halley en la primavera del año 837, y de la honda impresión que su contemplación causó en el rey, y no era para menos, ya que en esta ocasión su acercamiento a la Tierra ha sido el menor nunca alcanzado, explicando esto la espectacularidad del fenómeno, aumentado por la gran velocidad relativa del desplazamiento del cometa por el cielo en esos días del mes de abril, consecuencia directa de su movimiento retrógrado, respecto al directo de la Tierra. Si a estos hechos físicos y objetivos, de su visión, se le une la carga apocalíptica presente en los augurios que todo paso de un cometa originaba sobre las mentes supersticiosas de estas gentes medievales, entonces el sentimiento de la preocupación real estaba más que justificado.

El Halley no fue observado sólo en la corte carolingia, sino que en otras varias cancillerías reales, tan alejadas del espacio geográfico del reino franco, como eran la corte imperial china de la dinastía Tang, con capital en al actual ciudad de Xian, y la correspondiente japonesa contemporánea, emplazada en la moderna ciudad de Kyoto, donde también el fenómeno celeste quedó registrado en las crónicas de sus astrónomos reales del momento.

Estos registros, a veces tan detallados en cuanto a la anotación de las posiciones diarias del cometa en el cielo, han resultado ser de gran ayuda para los astrónomos modernos en la determinación de sus elementos orbitales, así como para conocer su evolución con el tiempo, en función de las potenciales perturbaciones gravitacionales que los planetas del sistema solar, fundamentalmente los gigantes Júpiter y Saturno, tienen sobre su trayectoria cada vez que se acerca al Sol durante su perihelio.

Lo cierto es que el Halley, de nombre oficial 1P/Halley, siempre ha estado de actualidad por ser el cometa de periodo corto más espectacular, y la prueba la tenemos en la gran cantidad de representaciones artísticas que su paso siempre ha dejado, sirviéndonos como ejemplos el Tapiz de Bayeux, que describe la conquista normanda de Inglaterra por parte del rey Guillermo I, tras su victoria sobre el rey anglosajón Harold II en la batalla de Hastings (1066), y el fresco de la Adoración de los Reyes Magos, pintado por Giotto en la Capilla de la Arena de Padua, en el que se puede ver el cometa en su paso del año 1301.



Más recientemente, durante su acercamiento del año 1986, si bien su observación no fue tan espectacular como lo había sido en otras ocasiones, como consecuencia de las posiciones relativas en el espacio de la Tierra, el Sol y el Halley en esos momentos, sí que sirvió para que se enviaran a su encuentro las primeras sondas espaciales, estando entre ellas la europea de Giotto.

En el momento de escribir estas líneas, el Halley se localiza pasada la órbita de Neptuno, a punto de alcanzar su máximo alejamiento del Sol, en el afelio, para comenzar a partir de ese punto su regreso, el cual se espera sea en el año 2061.

Para terminar esta introducción creo conveniente indicar cuáles son los objetivos que pretendo conseguir con este estudio sobre el paso del cometa en el año 837 d.C.

1°.- Calcular las coordenadas ecuatoriales (α , δ) que tuvo el cometa para unas fechas dadas, correspondientes a ciertos días, anteriores y posteriores a su perihelio.

2°.- Hallar los ángulos que conformaban en el espacio el sistema Tierra - Sol - Halley, es decir, su elongación y fase para cada fecha elegida, así como las distancias respectivas entre los distintos cuerpos de este sistema.

3°.- Representar sobre el fondo de constelaciones de estrellas la trayectoria seguida por el cometa en el intervalo de tiempo elegido, correspondientes tanto a la época de estudio, como a la actual (J2000).

4°.- Hallar las coordenadas horizontales del cometa (h , A) para cada uno de los días elegidos, cuando fue visto desde las capitales del reino carolingio, en Aquisgrán, y desde Oviedo en el reino asturiano, para ser posteriormente representadas en un gráfico del horizonte local respectivo.

5°.- Proyectar sobre el plano de la Eclíptica la trayectoria seguida por el Halley, señalando sobre ella su posición para cada fecha elegida, así como señalar también las posiciones correspondientes de los planetas interiores del Sistema Solar y de la Tierra, en el momento de su máximo acercamiento a nuestro planeta.

6°.- Realizar una interpretación de los distintos textos que nos informan sobre su observación en el cielo, así como de la problemática asociada a este evento celeste, dentro de un contexto general más amplio, en relación con otros hechos astronómicos que también se pudieron ver ese mismo año.

I.- El cometa Halley

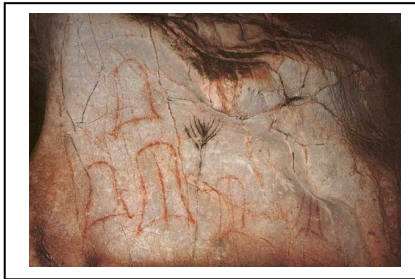
Antes de desarrollar los contenidos propios del trabajo, necesarios para el logro de los objetivos anteriormente propuestos, es conveniente conocer al objeto celeste de estudio, analizando cuantos aspectos sobre el Halley añadan luz y nos permitan hacer una idea lo más completa posible sobre él.

a) La historia del cometa Halley

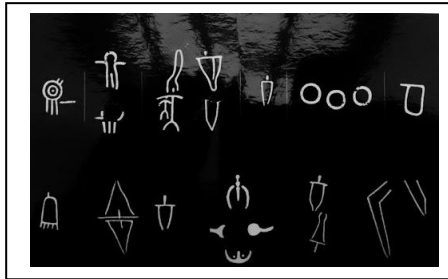
¿ Es el Halley un cometa más, o tiene algo que le hace especial ? Si se formulara esta pregunta al lector, probablemente respondería que no es un cometa más, que tiene muchas cosas que le hacen especial, que no es un cometa común, sino que es el cometa por antonomasia, que es el primero en muchos aspectos, que es el cometa 1P/Halley, el primero en el catálogo de cometas periódicos, cuya órbita fue descubierta por Edmund Halley a finales del siglo XVII.

¿ Cuándo el hombre se fijó en el paso de un cometa por el cielo, dejando constancia de ello ? Es imposible decir quién fue el primero en hacerlo, puede que ya desde la prehistoria queda-

ra representado en las paredes rupestres de las cavernas de una forma simbólica, formando parte de algún tipo de tectiforme pintado, con forma de escoba o grabado en los ortostatos verticales de los dólmenes. Lo único cierto es que el primer registro del Halley lo encontramos en una tablilla cuneiforme mesopotámica, registrando su paso del año 164 a.C.



Cueva del Castillo (Santander)



Dolmen de Soto (Huelva)



British Museum

Lo escrito anteriormente, respecto al significado del arte prehistórico y sus representaciones, son sólo suposiciones, no así en cuanto a la tablilla cuneiforme, pues esta escritura está descifrada y sabemos leer sus textos.

De lo que no hay duda posible es que el hombre se ha fijado en el pasado en otros astros como pueden ser las estrellas, en sus constelaciones más llamativas en el cielo, en los planetas visibles o " estrellas errantes ", como se conocían en el mundo antiguo y, por supuesto, en las dos luminarias más importantes, el Sol y la Luna. Todos ellos han sido representados desde hace mucho tiempo y han formado parte de todas las cosmologías pertenecientes a diferentes culturas, asimilándolos en numerosas ocasiones con su panteón divino o sirviéndose de ellos también, a modo de relojes astronómicos, para medir el tiempo, o señalando y registrando fenómenos celestes singulares y muy espectaculares, como pudieron ser los eclipses, tanto de sol como de luna. Los ejemplos son abundantes y ampliamente conocidos por todos, por lo que no los voy a detallar, ya que no son relevantes respecto al tema aquí tratado. Antes se comentó que el hombre medieval era, por naturaleza, supersticioso y temeroso de todas aquellas fuerzas y fenómenos naturales que no podía explicar. Toda su comprensión del mundo venía de la mano de Dios y del destino que Éste tuviera dispuesto para cada ser humano.

Por consiguiente, no es extraño que los cometas causaran temor y malos presagios en las personas. Aparecen y desaparecen sin poderlos prever, sus movimientos son difíciles de entender, pueden pasar varios seguidos, más o menos brillantes, o no pasar ninguno en muchos años; y lo que no se entiende, por lo general se teme, y más en unas épocas precientíficas como lo eran la Alta Edad Media y todas las anteriores.

Con anterioridad al medievo también los escritores clásicos habían dejado constancia de toda esta carga siniestra que portaban los cometas. Lo he podido comprobar leyendo y rele- yendo (a veces esto es necesario) la obra " La vida de los doce césares ", de Gayo Suetonio, escritor romano de los siglos I- II d.C. En ella, al final de algunas de sus biografías sobre los emperadores, se refleja como la aparición de un cometa presagiaba algún acontecimiento nefasto. Esto lo podemos encontrar en la vida de, para mí, el más grande de todos ellos, Gayo Julio César, asesinado en los idus de marzo del año 44 a.C. Al final de su biografía Suetonio nos cuenta:

"Murió a los cincuenta y seis años, y se le colocó en el número de los dioses, no solamente

por una decisión del Senado, sino por ser este el parecer unánime. En efecto, en el transcurso de los primeros juegos que se celebraron en su honor, tras su apoteosis, por orden de Augusto, su heredero, un cometa que apareció durante la onceava hora brilló durante siete días consecutivos, y se creyó que sería el alma de César admitida en el cielo: esta es la razón por la que se le representa con una estrella encima de la cabeza. Tapiaron la sala donde fue asesinado, llamose a los idus de marzo " Día parricida " y prohibiose para siempre al Senado reunirse en esa fecha " .

Esta misma reseña cometaria se puede leer en las vidas de Claudio, Nerón y Vespasiano, pudiendo corresponder la de Nerón al cometa Halley en su visita del año 66 d.C. Por tanto, cualquier desastre que ocurriera, con posterioridad o anterioridad al paso de un cometa, se le imputaría a él como causante del mismo.

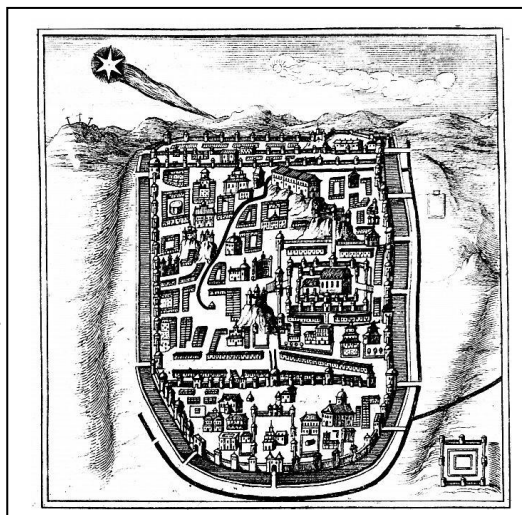
Ya vimos que eso ocurrió en el 1066 y la conquista normanda de Inglaterra, mientras que en el 66 tuvo lugar la primera guerra judeo- romana que originaría la destrucción del Templo de Jerusalén en el año 70 d.C, de tan honda significación para la tradición judía; sin olvidarnos de la trascendencia que tuvo para la cristiandad la caída de la ciudad de Constantinopla a manos del sultán turco Mehmed II en el 1453, relacionada a posteriori con el paso del Halley en el año 1456.

Dejando a un lado la labor de los cronistas chinos, que ya asignaban distintas denominaciones para cada tipo de cometa - " po " para el cometa difuso y sin cola y " hui " para el cometa con cola - y relacionaban la dirección de su cola como opuesta al Sol; no es hasta el Renacimiento cuando se empieza a estudiarlos más científicamente, apoyándose en un nuevo paradigma que se iba abriendo paso poco a poco y que había revolucionado la visión que se tenía hasta entonces del mundo; me estoy refiriendo a la teoría copernicana, publicada en el año 1543.

Es entonces cuando surge la imponente figura de Tycho Brahe, quien al observar el cometa del año 1577 e ir anotando, noche tras noche, su posición en el cielo, sin apreciar en el mismo ningún paralaje respecto a las estrellas, apoyándose para hacer esta afirmación en las posiciones registradas del mismo cometa en otras partes de Europa, llegó a la conclusión de que estos cuerpos se encontraban relativamente distantes de la Tierra.

Los siguientes avances vinieron de la mano de otras dos personas fundamentales para la ciencia, y en particular para la astronomía, como fueron Johannes Kepler y Galileo Galilei. El primero de ellos, al fijarse en el cometa del año 1607, que aunque cometiera el error de asignarle una trayectoria rectilínea y una procedencia exterior al Sistema Solar, sí que interpretó correctamente la naturaleza de las colas cometarias al asociarlas a materia desprendida de su núcleo.

Galileo, al presentar su telescopio en sociedad en agosto del año 1609, puso en manos de los astrónomos una nueva herramienta que permitía ver los objetos celestes, incluyendo los cometas, como nunca antes se habían visto.



Cometa Halley sobre Jerusalén

Pero no fue hasta que Newton publicó sus " Principia " en 1687 cuando se dispuso de una teoría científica que explicara el movimiento de los cometas. A pesar de que al principio compartía con Kepler la trayectoria rectilínea de los mismos, al ir avanzando en su investigación sobre el cometa del año 1680 abandonó esta idea, sustituyéndola por otra trayectoria parabólica con el Sol en uno de sus focos. Se había dado cuenta que el cometa visible, incluso durante el día, del mes de noviembre y que luego desapareció, para volver a aparecer en



Cometa de 1680 sobre la ciudad de Amsterdam

diciembre del mismo año, eran el mismo cuerpo celeste, que había dado la vuelta al Sol, según ya había propuesto antes el Astrónomo Real John Flamsteed. Este cometa lo descubrió el alemán Gottfried Kirch, poniéndole su nombre, aunque también lleva el de Newton. Fue extraordinariamente brillante y desarrolló una enorme cola después de su paso por el perihelio, que abarcaba gran parte del cielo, cubriendo unos 70° del mismo.

mo.

Es este cometa el que pone en relación a Newton con Edmond Halley, quien en 1682 comienza sus estudios sobre las órbitas de los planetas alrededor del Sol, llegando a la conclusión de que éstas deben ser elípticas, de acuerdo a la tercera ley de Kepler. Fue Newton el que solicitó información a Halley sobre este cometa, surgiendo de esta colaboración entre los dos la Ley de la Gravitación Universal, que medía la atracción entre dos planetas en función del inverso del cuadrado de la distancia entre los mismos. Mientras que había discrepancias al principio respecto a las trayectorias que los cometas seguían en el espacio (luego corregidas por parte de Newton), no ocurría lo mismo sobre la naturaleza de esa atracción, asignándole al Sol su causa, por ser el cuerpo central con mayor masa del Sistema Solar, así como también estaban de acuerdo en la asunción de las leyes de Kepler, en cuanto a la dinámica del movimiento de los planetas.

Com. An.	Noda Ascend.	Inclin. Orbita.	Perihelion.	Distan. Perihelia a Sol.	Log. Dift. Perihelia a Sol.	Temp equat. Perihelia	Perihelion a Noda.
	gr. ° ' "	gr. ° ' "	gr. ° ' "			d. h. m.	gr. ° ' "
1337	♄ 24.21.0	♄ 2.11.0	♄ 7.59.0	40666	9.809236	June 2. 6.25	46.22.0 Retrog.
1472	♄ 11.46.20	♄ 5.20.0	♄ 15.33.30	54273	9.734584	Feb. 28.22.23	123.47.10 Retrog.
1531	♄ 19.25.0	♄ 17.56.0	♄ 1.39.0	56700	9.753583	Aug. 23.21.183	107.46.0 Retrog.
1532	♄ 20.27.0	♄ 12.36.0	♄ 21.7.0	50910	9.706803	Oct. 19.22.12	30.40.0 Direct.
1546	♄ 25.42.0	♄ 2.6.30	♄ 8.50.0	46390	9.666123	Apr. 21.20.3	103.8.0 Direct.
1577	♄ 25.52.0	♄ 74.32.45	♄ 9.22.0	18342	9.263447	Feb. 26.18.45	103.30.0 Retrog.
1580	♄ 18.57.20	♄ 54.40.0	♄ 19.5.50	59628	9.775450	Nov. 28.15.00	90.8.30 Direct.
1585	♄ 7.42.30	♄ 6.4.0	♄ 8.51.0	109358	9.038850	Sept. 27.19.20	28.51.30 Direct.
1590	♄ 15.30.40	♄ 39.40.40	♄ 6.54.30	57661	9.760882	Jan. 29.3.45	51.23.50 Retrog.
1590	♄ 12.12.30	♄ 55.12.0	♄ 18.16.0	51293	9.710058	July 31.19.55	83.56.30 Retrog.
1607	♄ 20.21.0	♄ 17.2.0	♄ 2.16.0	58680	9.768490	Feb. 16.3.50	108.05.0 Retrog.
1618	♄ 16.1.0	♄ 37.34.0	♄ 2.14.0	37975	9.579498	Oct. 20.12.23	72.47.0 Direct.
1651	♄ 28.10.0	♄ 79.28.0	♄ 28.18.40	84750	9.928140	Nov. 2.15.40	59.51.20 Direct.
1661	♄ 22.30.30	♄ 32.35.50	♄ 25.58.40	44851	9.651772	Jan. 16.23.41	33.28.10 Direct.
1664	♄ 21.14.0	♄ 21.18.30	♄ 10.41.25	1025753	9.011044	Nov. 24.11.52	49.27.25 Retrog.
1665	♄ 18.02.0	♄ 76.05.0	♄ 11.54.30	10649	9.027300	Apr. 14.5.13	156.7.30 Retrog.
1672	♄ 27.30.30	♄ 83.22.10	♄ 16.59.30	69739	9.843476	Feb. 20.8.37	109.29.0 Direct.
1677	♄ 26.49.10	♄ 79.03.15	♄ 17.37.5	28059	9.448072	Apr. 26.00.375	99.12.5 Retrog.
1680	♄ 2.2.0	♄ 60.56.0	♄ 22.39.30	006123	7.787106	Dec. 8.00.6	9.22.30 Direct.
1682	♄ 21.15.20	♄ 17.56.0	♄ 2.52.45	58228	9.765877	Sept. 4.07.39	108.23.45 Retrog.
1683	♄ 23.23.0	♄ 33.11.0	♄ 25.29.30	56020	9.748343	July 3.2.50	87.54.30 Retrog.
1684	♄ 28.15.0	♄ 55.28.40	♄ 28.52.0	96015	9.982339	May 29.10.16	29.23.00 Direct.
1686	♄ 20.34.40	♄ 11.21.40	♄ 17.00.30	32500	9.511883	Sept. 6.14.33	86.25.50 Direct.
1698	♄ 27.44.1	♄ 11.46.0	♄ 00.11.15	69129	9.830660	Oct. 8.16.57	2.7.0 Retrog.

Tabla con los veinticuatro cometas estudiados por E. Halley

planetas.

A partir del estudio minucioso sobre las trayectorias parabólicas seguidas por veinticuatro cometas en el pasado, Halley llegó a la conclusión que el cometa que vio en 1682 presentaba muchas coincidencias con los que pasaron en los años 1607 y 1531, observados respectivamente, por Kepler y por Petrus Apianus; sugiriendo que se trataba del mismo cometa y prediciendo que volvería a pasar de nuevo en el año de 1758, asignándole por

consiguiendo una órbita elíptica con un periodo de 76 años. Para hacer esta predicción tuvo en cuenta las perturbaciones que afectarían a su trayectoria por parte de los grandes planetas del Sistema Solar, Júpiter y Saturno.

Esta predicción fue realizada en el 1705 y se hizo realidad cuando el cometa fue visto el 25 de diciembre de 1758, confirmando los cálculos realizados por Halley, aunque su paso por el perihelio ocurrió el 13 de marzo de 1759. Para entonces su descubridor llevaba muerto más de dieciséis años.

Una vez se había descubierto que el cometa tenía una órbita elíptica y que, por tanto, era periódico su acercamiento al Sol y a la Tierra, el interés estuvo centrado en calcular su periodo con la mayor exactitud posible.

Así, durante el siglo XVIII, los trabajos en equipo de A. Clairaut (1758), de J. Lalande (1759) y de la astrónoma N. Lepaute, llevados a cabo un poco antes del retorno predicho por E. Halley, con la intención de calcular las perturbaciones de Júpiter y Saturno sobre el cometa de una forma más exacta, les llevaron a la conclusión de que pasaría por su perihelio el 13 de abril de 1759, aproximándose mucho en sus cálculos, pues la fecha exacta fue un mes antes. Una mayor perfección en el cálculo de dichas perturbaciones fue logrado por J. L. Lagrange en 1783, mediante su método de Cuadraturas Mecánicas. Todos estos trabajos diferían en cuanto a la ampliación progresiva del número de planetas que causaban estas alteraciones sobre los elementos de la órbita y sobre las sucesivas rectificaciones llevadas a cabo sobre la elipse de referencia, como consecuencia de estas perturbaciones.

El descubrimiento por W. Herschel del planeta Urano el 13 de marzo de 1781 permitió al astrónomo francés M. Damoiseau (1829) añadir a este nuevo planeta en la lista de perturbadores planetarios del Halley, junto con la producida por la Tierra, para el cálculo del siguiente paso por el perihelio del cometa, que él fijó para el día 4 de noviembre de 1835.

A esta carrera por encontrar el tiempo exacto de paso por el perihelio para el año 1835 se unió O. Rosenberger, quien teniendo en cuenta los efectos perturbadores de los siete planetas conocidos en la época, estudiándolos en el intervalo comprendido entre 1682 y 1835, le llevó a situar el perihelio el 12 de noviembre, cuatro días antes de la fecha correcta.

Ya en el siglo XX, Cowell y Crommelin estudiaron de nuevo su retorno, previsto para el año 1910, teniendo en cuenta al nuevo planeta de Neptuno, descubierto por J. Galle el 23 de septiembre de 1846, señalando el 17,5 de abril como fecha probable de paso, desviándose sólo un de poco más de dos días sobre la fecha exacta, el 20 de ese mes.

Este retorno fue especial por varias razones, ya que era la primera vez que se le podía fotografiar y también analizar espectroscópicamente su luz; además, se acercó lo suficiente a la Tierra como para que su visión resultara espectacular en el cielo. Las trazas de gas cianuro detectadas en su cola sembró el pánico entre la gente, ya que la Tierra pasó a través de la cola del cometa el 19 de mayo. El Halley no fue el único gran cometa de ese año, pues en enero cruzó otro más, conocido como " el gran cometa de 1910 ", que era visible de día.

La última aparición sucedió, como ya dijimos, en el año de 1986, pero pasó sin pena ni gloria, ya que la Tierra y el Halley se hallaban bastante separados en el momento de su perihelio, el 9 de febrero, y cuando pudo ser más visible, durante el post-perihelio, no permitió una buena observación nada más que en el Hemisferio Sur.

b) Edmond Halley,(1656 - 1742)

Ha llegado el momento de hacer una breve reseña biográfica sobre su descubridor y homónimo de nuestro cometa de estudio.

E. Halley nació y murió en la ciudad de Londres. Hijo de un comerciante, desde pequeño demostró un especial interés en las matemáticas y de modo especial en la astronomía.

Desarrolló su actividad científica en numerosos campos del saber, aparte de las antes citadas, como fueron la meteorología, geología y magnetismo terrestre.

Se convirtió en el segundo astrónomo Real de Inglaterra, al suceder en este cargo a John Flamsteed en el año 1720.

Muy joven, en 1676, viajó a la isla de Santa Elena en el Atlántico sur, desde donde llegó a catalogar más de trescientas estrellas del Hemisferio Sur,

misión que le había encargado Flamsteed con el objetivo de sumarlas a las catalogadas por él del Hemisferio Norte, y plasmarlas todas ellas en un Atlas Celeste, presentado mediante veintiséis mapas, que abarcaran las principales constelaciones formadas por las más de tres mil estrellas que lograron reunir.

Esta estancia en la isla le sirvió también para observar un tránsito de Mercurio por el Sol, lo cual le sirvió de idea para extender también esta observación al correspondiente tránsito de Venus, con el objetivo de calcular la distancia de la Tierra al Sol y el tamaño relativo del planeta.

Estos trabajos le abrieron la puerta de entrada a la Royal Society cuando solo contaba veintidós años de edad.

Las leyes del movimiento planetario, enunciadas por Kepler, le sirvieron de motivación para adentrarse en el tema de la gravedad y, de paso, para ponerle en contacto con Isaac Newton, hasta convertirse en su mecenas y valedor ante la comunidad científica cuando en 1687 publicó sus " Principia ".

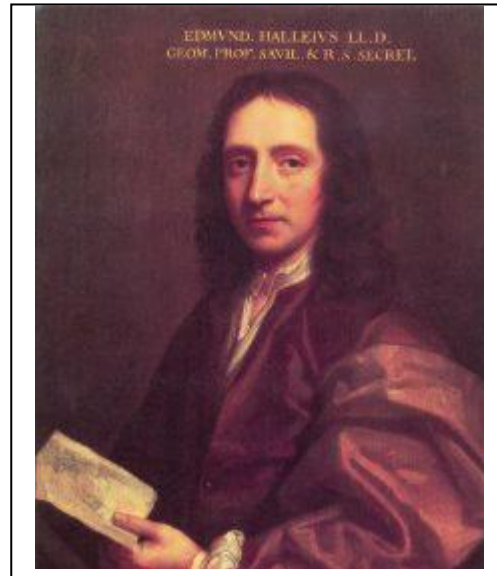
Después de haber estado estudiando las órbitas de los cometas durante la década de los años ochenta, posteriormente su atención se volvió hacia las ciencias de la Tierra ya anteriormente mencionadas.

En 1704 lo encontramos como profesor de geometría en la universidad de Oxford, publicando al año siguiente su " Sinopsis de Astronomiae Cometicae " en la que reflejaba su famosa predicción sobre el cometa que llevaría su nombre.

Como mera anécdota, comentar que su polifacética actividad le llevó a intentar datar mediante magnetismo en el 1720 el conjunto megalítico de Stonehenge, obteniendo unos resultados bastante erróneos.

c) Elementos orbitales y características generales.

En nuestro Sistema Solar los cometas se clasifican según su periodo orbital, cortos son aquellos cuyo periodo es menor de 200 años y largos los de mayor periodo. Los cometas de periodo corto proceden generalmente del Cinturón de Kuiper - o del Disco Disperso que se en-



cuentra más allá -, una región situada en el plano del Sistema Solar que se compone de cuerpos o restos helados, del tiempo en el que se formó el Sol, y que se extiende en el espacio desde más allá de la órbita de Neptuno hasta una distancia de 50 UA. Su más famoso representante es el planeta enano Plutón.

Los de largo periodo proceden de lo que se conoce como Nube de Oort, una nube esférica, situada entre 5.000 UA y un año luz de distancia, en los límites del Sistema Solar, que alberga billones de cuerpos helados. Su parte más externa está débilmente ligada a la atracción gravitatoria del Sol, por lo que las alteraciones causadas por otras estrellas de la Vía Láctea pueden hacer que algunos de los cuerpos que la habitan, salgan despedidos hacia el interior de nuestro Sistema Solar, convirtiéndolos en cometas de periodo largo. El reciente cometa Hale-Bopp nos puede servir de ejemplo.

El cometa Halley puede ser adscrito a los dos tipos de cometas, pues se cree que su origen se encontraba en la Nube de Oort, para posteriormente ser afectado gravitacionalmente por los grandes planetas gaseosos de nuestro Sistema Solar y quedar atrapado como cometa de corto periodo. Lo que resulta incuestionable es la asignación a este cometa de las cualidades de: más brillante, más famoso y más conocido y estudiado de entre todos sus compañeros de ciclo corto.



En las dos fotografías de arriba tenemos al Halley, visto con un telescopio y desde la sonda Giotto, durante su acercamiento al mismo, en marzo de 1986.

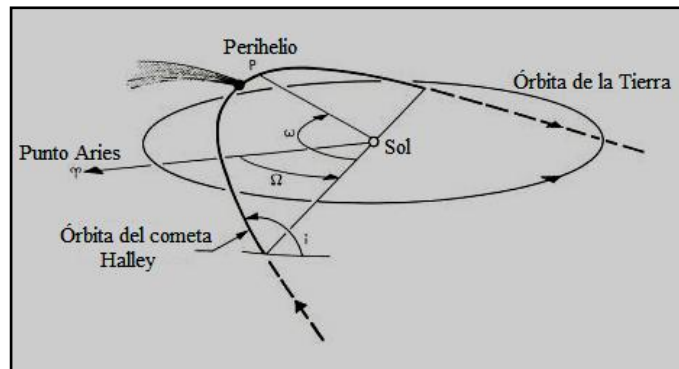
La órbita del Halley es muy elíptica encontrándose el Sol en uno de sus focos. La distancia durante su perihelio es de 0,6 UA, mientras que en su afelio se halla a 35 UA. Su órbita es retrógrada, porque el sentido es contrario al seguido por los planetas del Sistema Solar (visto desde el polo norte de la Eclíptica).

Hoy en día se encuentra más allá de la órbita de Neptuno, cerca de alcanzar su afelio y comenzar de nuevo su regreso. (Gráfico a la derecha).



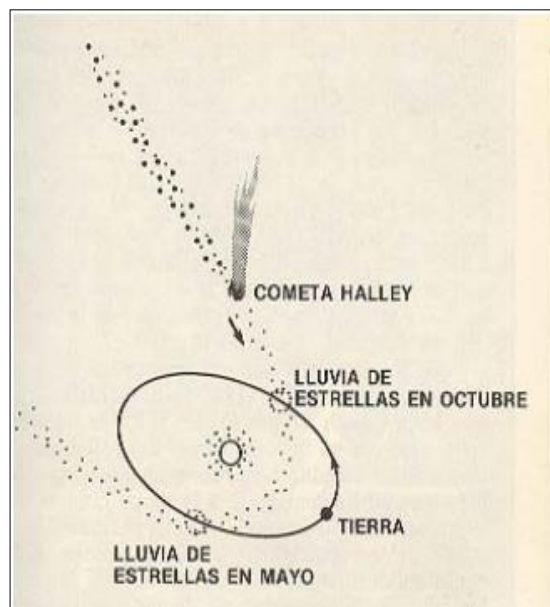
En las siguientes dos figuras se pueden ver las principales características orbitales y físicas del cometa, así como una representación esquemática de sus elementos orbitales, correspondientes a la época de 1994.

Características del Halley	
Época 17 febrero 1994 (2449400.5)	
Afelio	35.082 AU
Perihelio	0.586 AU
Último perihelio: 9 febrero 1986	
Próximo perihelio: 28 julio 2061	
Semieje mayor	17.834 AU
Excentricidad	0.96714
Periodo orbital	75.32 años
Anomalia media	38.38°
Inclinación	162.26°
Longitud nodo ascendente	58.42°
Próximo perihelio	28 julio 2061
Argumento perihelio	111.33°
Mínima distancia a la Tierra	0.0638 AU (9.54 Mill. km)
Características físicas	
Tamaño	15 km × 8 km
Diámetro medio	11 km
Masa	2.2×10^{14} kg
Densidad media	0.6 g/cm ³
Veloc. escape	~0.002 km/s
Periodo rotación	2.2 d (52.8 h)
Albedo	0.04
Magnitud aparente	28.2 (en 2003)



Respecto a los elementos volátiles que expulsa al acercarse al Sol encontramos agua, dióxido de carbono, monóxido de carbono y otros hielos, que se subliman desde su superficie. Este proceso también libera polvo que viaja con el gas, el cual se proyecta en sentido opuesto al movimiento, generando una larga cola que se extiende por el espacio.

Su albedo o porcentaje de luz que refleja de toda la recibida es del 4%, funcionando casi como lo hace el carbón.



Este polvo que libera el cometa a su paso está asociado con dos lluvias de meteoros que se producen todos los años: las Eta Acuáridas, que se pueden observar en el mes de mayo y que parecen tener su radiante en la estrella η de la constelación de Acuario y las Oriónidas que se ven en octubre y parecen proceder de la constelación de Orión.

II.- El contexto histórico

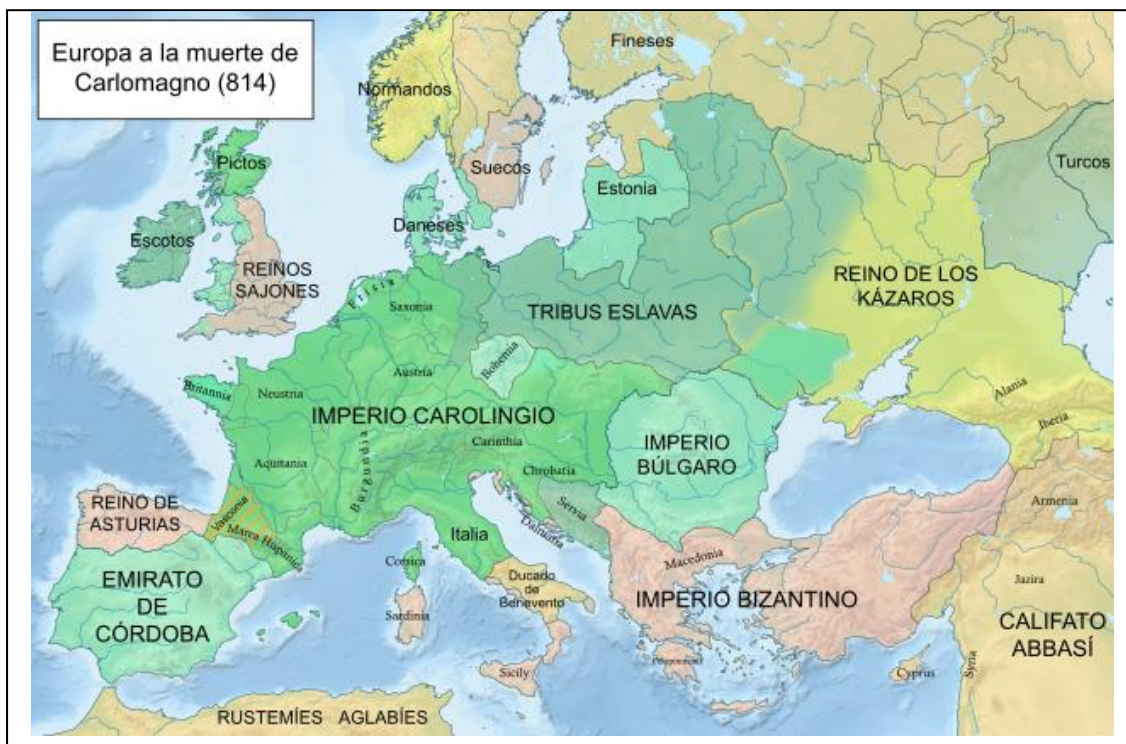
El retorno del cometa Halley del año 837 se enmarca temporalmente en la primera mitad del siglo IX d.C. , y este siglo ocupa la parte central del periodo conocido como la Alta Edad Media que va desde la caída del Imperio Romano (S.V) y la posterior formación de los rei-

nos bárbaros - territorios embrionarios de los futuros estados nacionales en el occidente europeo como pudieron ser, entre otros, los francos en Francia, los visigodos en España y los anglosajones en Inglaterra -, hasta la formación de las primeras monarquías consolidadas, respecto al poder de la nobleza en cada territorio, coincidente en el tiempo con otro gran fenómeno social y religioso, que cierra esta época legendaria en las respectivas conciencias nacionales, como fueron las Cruzadas de finales del S. XI y XII.

Si la Alta Edad Media está caracterizada por una sociedad regida por las relaciones de vasallaje, conocida como sociedad feudal, con una población estructurada en forma de pirámide, con una amplia base formada por los siervos y campesinos adscritos a la tierra y, por encima de ella, la nobleza y el clero, con la cúspide ocupada por el rey; en la Baja Edad Media asistimos al ascenso de una nueva clase social, nacida en las ciudades, que fue la burguesía, la cual traerá cogida de la mano el desarrollo del comercio, de los artesanos organizados en gremios y también del nacimiento de un nuevo arte que la represente, el Gótico.

Si a grandes rasgos, y con todas las reservas que una aseveración de este tipo conlleva, esta época medieval se caracteriza por lo anteriormente dicho, respecto a su primera mitad (la Alta), el panorama que se aprecia en la Europa occidental está marcado por una decadencia cultural (salvo en los monasterios y en las escuelas palatinas), por el abandono de la actividad comercial, la falta de moneda en las transacciones comerciales, sustituidas por el pago en especie, por la inseguridad en los caminos y por el hábitat rural dominante respecto a las ciudades.

Aclarar que esta descripción general solo afecta a esta zona europea, ya que en el resto del mundo encontramos otras grandes culturas viviendo momentos de esplendor como podemos observar en China, el Islam y el Imperio Bizantino.



La única y relativa excepción que podemos encontrar en este panorama europeo, un tanto desolador, lo encontramos en el Imperio Carolingio, a modo de fugaz brote verde de la sen-

da pérdida de aquel mundo clásico, ya tan lejano en el tiempo, y presente cual visión borrosa aún en las mentes de las personas de aquella época.

La figura que emerge poderosamente sobre las demás y que da su nombre a este momento tan difícil para la cristiandad es la de Carlomagno, rey de los francos entre los años 768 y 814, coronado emperador en la navidad del año 800 por el Papa León III, en la ciudad de Roma.

Como se puede ver en el mapa histórico de la época, su imperio se extendía desde el río Elba por el este hasta el Atlántico y los Pirineos por el oeste, estando defendidas ambas fronteras mediante la implantación de unas Marcas territoriales, al mando de un marqués, que servían a modo de estado tapón contra los pueblos que presionaban en las fronteras, como eran los eslavos en la Oriental y los musulmanes sobre la Marca Hispánica. En la península Itálica el emperador controlaba toda la región norte más la isla de Córcega, antiguo solar del reino lombardo desde finales del siglo VI hasta su conquista del año 774, llevada a cabo por Carlomagno. Existían otras marcas, como eran la Bretona y Panónica, para hacer frente al peligro bretón y ávaro, respectivamente.

En la periferia de este gran imperio se está librando una cruenta batalla entre el cristianismo, encarnado en el Imperio, y el paganismo bajo sus distintas formas culturales y étnicas.

Si nos fijamos en la Península Ibérica, encontramos dos zonas bien diferenciadas: en el norte, y de oeste a este, están el Reino Asturiano, el de Pamplona, los Condados Aragoneses y la Marca Hispánica carolingia; el resto del territorio se encuentra bajo el dominio del Emirato Independiente de Córdoba, fundado por el príncipe omeya Abderramán I, único superviviente de la revuelta abasí del año 750 en Damasco, en la que toda la dinastía omeya fue masacrada. La situación en Inglaterra no era mucho mejor, pues en ella se enfrentan también paganos contra reinos cristianos. En su parte central y sur encontramos la llamada Heptarquía anglosajona, con los reinos de Mercia y Wessex disputándose la hegemonía entre ellos, a la vez que hacían frente a las sucesivas oleadas de los pueblos daneses del norte, que asolaban las zonas del este de la isla, hasta llegar a formar reinos como el Danelaw, fundado por el rey danés Guthrum en la segunda mitad del siglo IX. En su parte occidental encontramos distintos reinos de origen celta, desde Gales en el suroeste, hasta llegar a las tierras altas escocesas con su reino britano de Strathclyde y los residuales pictos prerromanos.

En Italia, quitando la mitad norte de la península vinculada a los reyes carolingios durante gran parte del siglo IX y a los territorios del Papa alrededor de la ciudad de Roma; en su mitad sur encontramos distintos principados y ducados de tradición lombarda (Benevento, Nápoles, Salerno) y los vestigios del imperio bizantino, en dura disputa con la expansión musulmana, sobre todo a partir de su conquista de la isla de Sicilia, en su región más meridional.

Un acontecimiento, que condicionó la existencia de todos estos reinos del occidente europeo, fueron las sucesivas invasiones y ataques de los vikingos, contingentes de guerreros, fundamentalmente daneses, noruegos y suecos que, desde finales del siglo VIII, empezaron a asolar las costas, primero las inglesas (Monasterio de Lindisfarne, 793), con el fin de saquear sus riquezas, para después realizar incursiones al continente en expediciones de pillaje y también con intenciones de apropiarse de la tierra, como ocurrió en la región de Frisia, en disputa entre daneses y francos.

En Francia los normandos remontaron los ríos Sena, Loira y Garona, asediando la ciudad de Paris en varias ocasiones durante el siglo IX, mientras que en Inglaterra, Londres fue saquea-

da en el año 841 y posteriormente, junto con Canterbury, en el 851.

El pago de tributos, por lo general, era la mejor solución al problema, aunque después se intentó asentar a estos pueblos dentro del territorio invadido, mediante alianzas matrimoniales con las casas reales, entrega de terrenos y la cristianización progresiva de estas gentes del norte. En general, los reyes carolingios no encabezaron la resistencia contra las invasiones normandas, dando con ello lugar a las autodefensas campesinas, ayudados por algunos nobles, lo cual propició una paulatina desafección hacia los reyes en favor de la nobleza. En Inglaterra los monarcas hicieron frente militarmente a estas invasiones, fundamentalmente en sus dos principales reinos de Mercia y Wessex.

En la Península Ibérica, en el 844 recorrieron las costas del Cantábrico, atacaron las ciudades de La Coruña, Lisboa, Cádiz y remontaron el río Guadalquivir, llegando hasta las ciudades de Sevilla y Córdoba, donde son derrotados por el emir Abderramán II.

Un año antes, en el 843, tuvo lugar uno de los acuerdos más trascendentales para el destino europeo de toda la Edad Media. Me refiero al Tratado de Verdún, llevado a cabo por los hijos

de Luis el Piadoso, muerto en el 840, mediante el cual se llega a una paz momentánea entre los mismos. En el Tratado se acuerda repartir el territorio imperial entre ellos, (los tres hijos vivos que quedaban, ya que el cuarto, Pipino de Aquitania, había muerto en el 840) de la siguiente manera : Carlos el Calvo, fruto de su segundo matrimonio con Judith de Bavaria, se queda con la parte occidental del imperio, es decir la región al oeste de los ríos Mosa, Escalda y Ródano, a Luis el Germánico le correspondió la región al este del río Rin y al noreste de los Alpes y a Lotario I, que recibió el título de Em-



perador, estando así un peldaño por encima en la jerarquía respecto a sus hermanos, se le asignó el territorio que se extendía desde Frisia, en el norte, hasta la frontera con los Estados Pontificios, en el sur.

Con este tratado, el poder central había dejado de existir, ascendiendo el de la nobleza. La causa de este desmoronamiento del poder real hay que buscarlo en el modelo de sociedad feudal que imperaba en Europa y, en el caso del Imperio Carolingio, en las disputas y guerras civiles que habían tenido lugar durante el reinado de Luis el Piadoso. Con el fin de mantener la fidelidad de los nobles hacia cada uno de los hijos enfrentados en esta lucha fratricida por el poder, se les entregaba un feudo, el llamado " beneficio " en las relaciones de vasallaje, territorio perteneciente al patrimonio de la Corona y que en principio se daba solo en usufructo. Con el tiempo, esta posesión pública real adquirió carácter hereditario, pasando de padres a hijos y fortaleciendo de esta manera, las aspiraciones de las grandes familias nobiliarias. Pero el Tratado de Verdún no trajo estabilidad sobre el territorio imperial, pues continuaron los enfrentamientos entre los descendientes de cada uno de los reyes surgidos de dicho tratado, más

aún después de la muerte de Lotario I (855), y después las de sus hermanos, Luis el Germánico (876) y Carlos el Calvo (877).

Como resultado de ello surgieron nuevos pequeños reinos y Principados y, lo que es más importante, nuevas dinastías que tomaron el poder. Los nobles alemanes eligieron como rey germano a Arnulfo de Carintia, mientras que la nobleza francesa eligió como soberano al conde Eudón de París, heroico combatiente en la defensa de la ciudad contra los normandos.

Como se cuenta en los Annales de la abadía de Fulda para el año 888 : " en el tiempo del rey Arnulfo de Carintia surgieron numerosos reinos pequeños. Berenguer, hijo de Eberhardo de Friul, se proclamó a sí mismo rey de Italia. Rodolfo, hijo de Conrado, comenzó a reinar en la Alta Borgoña. Luis, hijo de Bosón, gobernó la Provenza, y Guido, hijo del duque Lamberto de Spoleto, aspiraba al dominio de la Francia occidental (Galia belga). Eudón, hijo de Roberto el Fuerte, se hizo con el poder real en la región situada al norte del Loira, y Ranulfo se proclamó rey de una parte de Aquitania " .

En el resto de territorios europeos, periféricos respecto al antiguo solar imperial, la segunda mitad del siglo IX está marcada por los reinados de dos " Grandes " monarcas en los reinos de Asturias y de Inglaterra. En el primero brilla el último rey del reino de Asturias, Alfonso III el Grande, que llevó la frontera hasta la línea del río Duero; en el segundo surge la figura irreplicable del rey de Wessex, Alfredo el Grande, que se enfrentó al poder danés en la isla y sentó las bases para la unificación de todos los reinos anglosajones de Inglaterra, la cual fue llevada a cabo después por su nieto Athelstan en el año 927.

III.- El retorno del cometa Halley en el año 837 d.C.

En este apartado se va a desarrollar, de forma detallada, el soporte matemático necesario para lograr los objetivos enunciados en la introducción, en sus puntos 1º, 2º, 3º, 4º, y 5º.

Aunque el objetivo general - y 6º de la introducción - consiste en realizar una interpretación personal de los textos que recogen el paso del cometa, redactados por los distintos observadores, siempre me planteo en mis trabajos sobre arqueoastronomía que éstos tengan también un componente didáctico para el lector, que le permita acceder a los recursos matemáticos necesarios para que resuelva cuantas preguntas se formule en investigaciones similares que desee abordar, sobre otros hechos astronómicos sucedidos en el pasado y que despierten su interés. Antes de entrar en el proceso detallado de cálculo para la consecución de lo enunciado en esos puntos, creo necesario presentar el contexto astronómico general en el que nos moveremos de ahora en adelante, respecto a algunos importantes puntos celestes de referencia y otros datos útiles para el conocimiento de dicho contexto.

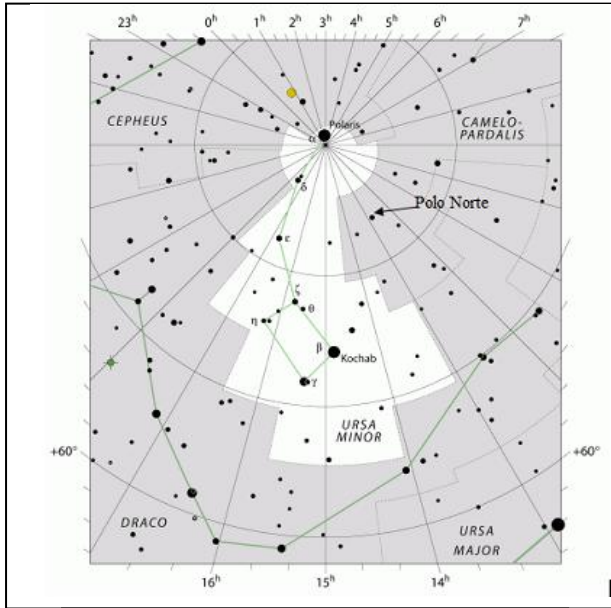
a).- El contexto astronómico general de la época.

Para ilustrar mejor el contexto de la época suelo hallar los puntos sobre la bóveda celeste que en cada momento correspondían a los Polos Celestes, el Punto Aries y también la inclinación de la Eclíptica.

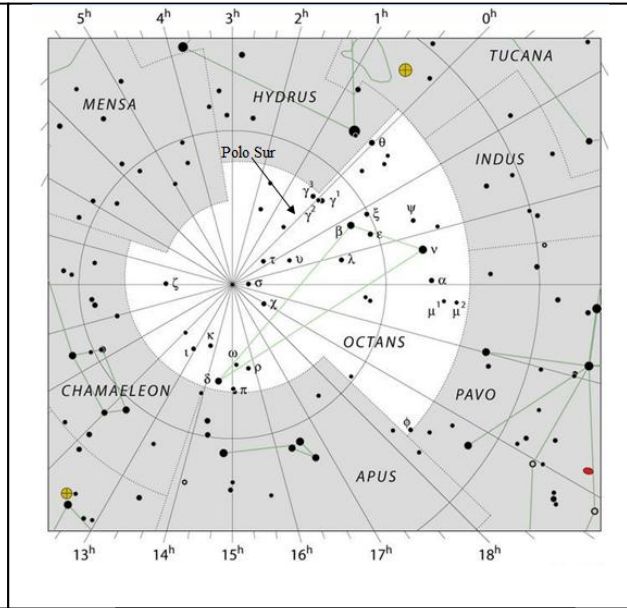
Ya que el Halley siguió una trayectoria en el cielo tanto por el Hemisferio Norte como por el Sur, voy a dar los Polos Celestes correspondientes a ambos hemisferios, respecto al marco de referencia J2000.

Las coordenadas ecuatoriales (α , δ) de los dos puntos eran :

Polo Celeste	Ascensión recta (α)	Declinación (δ)
Norte	$\alpha = 187^{\circ},126563 = 12 \text{ h } 28 \text{ m } 30 \text{ s}$	$\delta = 83^{\circ},756824 = 83^{\circ} 45' 24''$
Sur	$\alpha = 7^{\circ}126563 = 0 \text{ h } 28 \text{ m } 30 \text{ s}$	$\delta = - 83^{\circ},756824 = - 83^{\circ} 45' 24''$

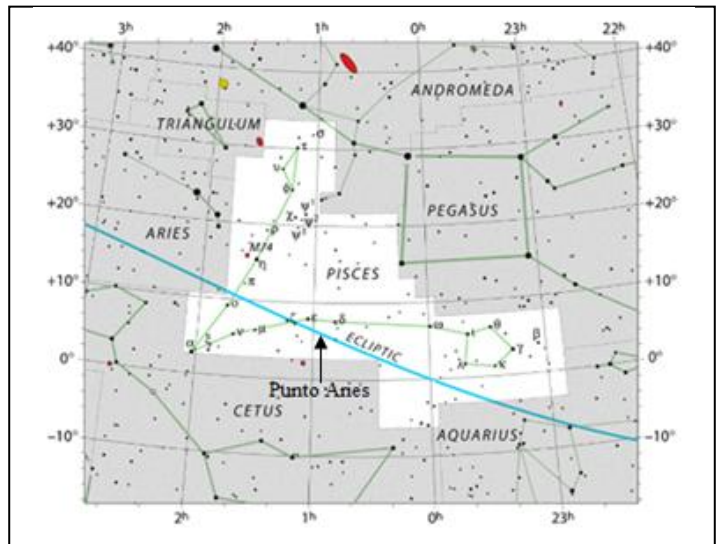


Polo celeste del Hemisferio Norte



Polo celeste del Hemisferio Sur

Ya que uno de los objetivos propuestos era representar la trayectoria seguida por el cometa en el cielo, tanto en el año en el que pasó, 837, como en el correspondiente a nuestra época, J2000, se hace necesario calcular dónde se encontraba el Punto Aries, es decir, el punto donde se cortaban el plano de la Eclíptica con el Ecuador Celeste en ese momento. Este punto cambia con el tiempo a consecuencia de la precesión de los equinoccios, dando una vuelta de 360° en un periodo de unos 25.770 años; según el valor actual de su desplazamiento anual por la Eclíptica, de $50,290966''/\text{año}$.



Punto Aries

Respecto a la inclinación de la Eclíptica en ese momento, ésta se ha calculado a partir de la siguiente expresión polinómica, debida a J. Laskar :

$$\epsilon = 23^\circ 26' 21'',448 - 4,680'',93 U - 1'',55 U^2 + 1,999'',25 U^3 - 51'',38 U^4 - 249'',67 U^5 - - 39'',05 U^6 + 7'',12 U^7 + 27'',87 U^8 + 5'',79 U^9 + 2'',45 U^{10}$$

Aquí la variable $U = 1$ corresponde a un periodo de 10.000 años, contado a partir de la época J 2000, + hacia adelante en el tiempo y - hacia atrás. Esta fórmula posibilita una exactitud de segundos de arco para periodos de 10.000 años, es decir para $U = 1$. Para periodos más largos su eficacia pierde valor paulatinamente.

Como desde el año 837 han pasado 1.163 años hasta la época J2000, entonces $U = 0,1163$ y sustituyendo este valor en el polinomio anterior nos da que $\epsilon = 23^\circ,589630 = 23^\circ 35' 22'',6$

b).- Elementos orbitales del Halley en la época de su observación.

Los elementos orbitales que se dan a continuación estarán referidos al equinoccio medio del momento de paso, en la primavera del año 837. Los datos para este retorno del cometa están tomados del " Catálogo de órbitas cometarias 2001 " elaborados por B.G. Marsden y G. W. Williams del Smithsonian Astrophysical Observatory.

Aunque estrictamente hablando, los elementos son solo válidos para un instante de tiempo dado, al que se le conoce como Época, ya que cuanto más se aleje en el tiempo de de la Época estos elementos orbitales cambian, bajo la influencia de las perturbaciones planetarias.

Cuando no se necesita una gran exactitud en los resultados, como sucede en este caso, los elementos pueden considerarse invariables durante algunas semanas, e incluso meses. Ya que el intervalo temporal sobre el que se va a trabajar abarca desde el 24 de enero del 837 hasta el 8 de mayo del mismo año, es decir un poco más de tres meses, voy a considerarlos por consiguiente como invariables.

Decir que estas fechas, por ser anteriores a la reforma gregoriana del calendario llevada a cabo en el año 1582, se refieren pues al calendario juliano, de uso en la Alta Edad Media.

Elemento orbital	
Instante de paso por el perihelio	28,27 febrero, ~ 2.026.830,5 DJ
Distancia del perihelio (q)	0,5823 U.A.
Periodo	76,92 años
Semieje de la elipse (a)	18,0838509 U.A.
Excentricidad (e)	0,9678
Inclinación (i)	163,34°
Longitud del nodo ascendente (Ω)	28,35°
Argumento del perihelio (ω)	99,71°

c).- Cálculo de las coordenadas ecuatoriales (α' , δ') del Halley en el intervalo temporal.

En la introducción de este trabajo se dejó constancia que el primer objetivo propuesto era el cálculo de las coordenadas ecuatoriales absolutas (α' , δ') que tuvo el cometa en unas fechas concretas, antes de su paso por el perihelio y también para después. Es necesario decir que, en general, los cometas son más visibles y brillantes después del perihelio que antes, y el Halley no iba a ser un caso especial. Las fuentes chinas atestiguan que el cometa fue visible en el cielo desde el 22 de marzo hasta el 28 de abril, no obstante en este trabajo se van a calcular las coordenadas para unas cuantas fechas antes de su perihelio, desde el 24 de enero, hasta que ya no era visible, como ocurrió ya el 8 de mayo.

Para cada una de las fechas elegidas se han calculado las coordenadas correspondientes a las 0 h de T.U. y también las correspondientes a sus crepúsculos astronómicos matutino y vespertino, entendiendo este crepúsculo como el momento en el que el Sol se encontraba 18° por debajo del horizonte ($h = - 18^\circ$) y por tanto todas las estrellas, y el cometa en particular, eran totalmente visibles en el cielo.

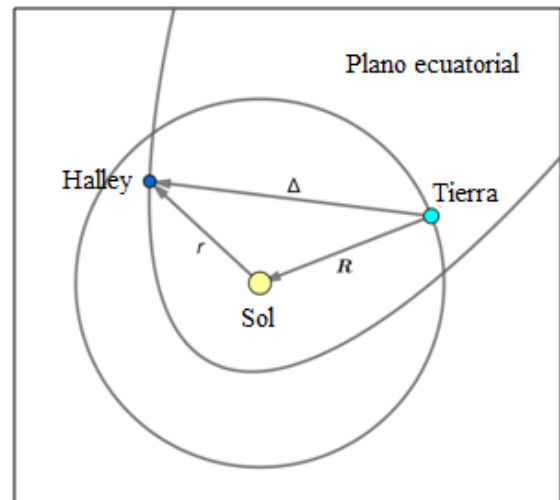
El método de cálculo que se va a seguir, para cada uno de esos momentos de cada día y para cada día del intervalo, es el siguiente.

1°.- Calcular las coordenadas ecuatoriales del Sol (α , δ), conocidas éstas, se sacarán sus coordenadas rectangulares ecuatoriales geocéntricas (X , Y , Z), referidas al equinoccio medio de la época, y la distancia Tierra-Sol (R)

2°.- Calcular las coordenadas rectangulares ecuatoriales heliocéntricas del cometa (x , y , z), pertenecientes a los mismos momentos que los calculados para el Sol, así como las distancias Sol - Halley (r) y Tierra - Halley (Δ).

3°.- Calcular las coordenadas rectangulares ecuatoriales geocéntricas del cometa, (ξ , η , ζ). Conocidas estas coordenadas se pueden hallar las coordenadas ecuatoriales absolutas del cometa, (α' , δ').

Como muestra el gráfico de la derecha, al trabajar sobre el mismo plano en el espacio, el plano ecuatorial, entonces se pueden sumar las coordenadas rectangulares halladas en los puntos 1° y 2°, para poder hallar las rectangulares del cometa (ξ , η , ζ). Es la suma de los vectores \mathbf{R} y \mathbf{r} para hallar su vector resultante $\mathbf{\Delta}$, en función de sus componentes rectangulares, $\mathbf{R} + \mathbf{r} = \mathbf{\Delta}$.



Distancias en el sistema Sol - Tierra - Halley

c.1- Coordenadas ecuatoriales del Sol (α , δ).

Aunque son veinte las fechas presentes en el intervalo elegido, el tiempo en días transcurrido entre una fecha y otra no es constante, ya que el movimiento del cometa en el cielo tampoco era constante, pues a medida que su proximidad a la Tierra fue haciéndose cada vez más pequeña, hasta alcanzar su mínima distancia de 0,035685509 U.A. el día 10 de abril a las 12 h de T.U., entonces su movimiento era paulatinamente más rápido y recorría grandes distancias angulares en el cielo en poco tiempo.

Es por ello que en el entorno del día 10 de abril, las fechas elegidas son diarias, haciéndose durante esos días más necesaria la elección de los momentos del día correspondientes a los crepúsculos matutino y vespertino, con el objetivo de poder llenar con más puntos su trayectoria entre las constelaciones celestes.

Ya que me he referido al 10 de abril como la fecha más reseñable de entre todas ellas, por la razón antes comentada, el ejemplo que va a ser desarrollado en todo este apartado, de una forma detallada, va a corresponder a este día y en sus tres momentos: las 0h TU y los respectivos crepúsculos astronómicos, aunque para los crepúsculos no se detallará el proceso de cálculo tanto como se ha hecho para las 0h T.U.

•Día juliano del 10 de abril del 837 d. C a las 0h T.U.

Antes de hallar el día juliano que le corresponde a este momento hay que decir que, en esta forma de contar el tiempo los días y las fracciones de día se expresan mediante un número, sin que haya saltos o discontinuidades en el cómputo. Esta escala de tiempo tiene su comienzo al mediodía del 1 de enero del año 4713 a.C. (-4.712 astronómico). Por acuerdo, el día juliano (JD) comienza siempre en el momento del mediodía solar medio en Greenwich, a las 12 horas de Tiempo Universal (TU).

Como ejemplo de aplicación para el cálculo del día juliano, voy a desarrollar el que se halla presente en mi trabajo " La vuelta al mundo de Magallanes - Elcano y la navegación astronómica de la época ", para el día 17 de septiembre del 1492 a las 21 horas, 10 minutos y 34 segundos.

- Datos :

Año (A) = 1.492...Mes (M) = 9 (septiembre)...Día (D) = 17 ...Hora = 21 h 10 m y 34 s = 21,176111 h.

..entonces el día y su fracción de día es:

Día (D) = 17 + (21,176111 / 24) = 17,8823379

- Cálculos previos :

Siglos, (S) = entero (año / 100)..... (B) = 2 - S + entero (año / 4) . (B) solo se necesitará si la fecha es una en el calendario gregoriano (año > 1.582) , si el año es anterior a 1.582, entonces B = 0

Si el mes (M) es enero o febrero, es decir, M = 1 y M = 2, entonces al año se le resta una unidad y al mes se le suma doce (si la fecha es de enero o febrero se considerará como si fuera el mes decimotercero o decimocuarto del año anterior),

- Fórmula para el día juliano (DJ)

$DJ = \text{entero} [365,25 \cdot (A + 4.716)] + \text{entero} [30,6001 \cdot (M + 1)] + D + B - 1.524,5$

En este caso..... A = 14 B = 0 M = 9 D = 17,882337 y sustituyendo.....

$DJ = 2.267.472 + 306 + 17,882337 - 1.524,5 = 2.266.271,3823$

A modo ilustrativo doy algunos ejemplos de día juliano :

- 1 de enero del 2.000 a las 12 h de TU (día 1,5)..... 2.451.545,0 (DJ)

- 27 de mayo de 1.988 a las 0 h de TU (día 27,0)..... 2.447.308,5 (DJ)

- 31 de diciembre del 1.600 a las 0 h T U (día 31,0)..... 2.305.812,5 (DJ)

- 12 de julio del - 1.000 a las 12 h TU (día 12,5)..... 1.356.001,0 (DJ)

- 1 de enero del - 4.712 a las 12 h TU (día 1,5)..... 0 (DJ)

Como el proceso parece un poco laborioso para aplicarlo a cada fecha y momento, es más práctico utilizar una aplicación informática. En mi caso ha sido:

<https://www.ugr.es/~eaznar/conversorFecha.htm>

Llevando estos datos a la aplicación informática, vemos que la fecha juliana que nos da para el 10 de abril del 837 d.C. a las 0 h T.U.es : 2.026.871,5

Aclarar que para el año 837 d. C. ya se había acumulado un retraso en el calendario, de tal manera que el 10 de abril en esa época correspondía al 14 de abril del calendario gregoriano, que acumula menos error y se aproxima, con más exactitud, al momento astronómico a estudiar.

Para calcular los días que hay que adelantar una fecha dada en el calendario juliano, para expresarla en el gregoriano, se hace así:

$(365,25 - 365,242189) \cdot (\text{año juliano} - 325) = \text{número de días}$

• **Tiempo transcurrido hasta la época J2000**

Una vez que conocemos el día juliano de la fecha de estudio, entonces el tiempo (T), transcurrido hasta la época actual (1 de enero del 2000, a las 12 h), medido en centurias de 36.525 días, es igual a:

$T = (JD - 2.451.545,0) / 36.525 = - 11,62692676 \text{ centurias}$

Esta cantidad debe llevar el suficiente número de decimales, ya que al estar expresado en centurias, a un error de 0,00001 en T correspondería un error de 0,37 días, lo cual es mucho tiempo, si se quiere un mínimo de exactitud.

• **Longitud media geométrica del Sol**

La longitud media (L_o), referida al equinoccio medio de la fecha, se halla mediante la siguiente expresión:

$L_o = 280^{\circ},46646 + 36.000^{\circ},76983 T + 0^{\circ},0003032 T^2$ sustituyendo el valor de T hallado en el punto anterior y dividiendo entre 360° $L_o = - 1.161,938352$ vueltas... y expresando esta medida en el intervalo $[0^{\circ} - 360^{\circ}]$ y con signo positivo da : $L_o = 22^{\circ},1932415$

• **Anomalía media del Sol**

Por definición, la anomalía media (M) del Sol es igual a la de la Tierra, siendo ésta la distancia angular recorrida por la Tierra, a contar desde su perihelio, sobre una circunferencia ficticia, de radio el semieje mayor (a) de la elipse de su órbita y con una velocidad angular constante. Por tanto, la anomalía media del Sol será :

$M = 357^{\circ},52911 + 35.999^{\circ},05029 T - 0^{\circ},0001537 T^2$... sustituyendo el valor de T y dividiendo entre 360° $M = -1.161^{\circ},668925$ y expresando esta medida, al igual que se hizo con L_o , en el intervalo $[0^{\circ} - 360^{\circ}]$ y positivo da: $M = 119^{\circ},1870909$

• **Excentricidad de la órbita de la Tierra**

La excentricidad (e) se halla mediante la expresión:

$e = 0^{\circ},016708634 - 0^{\circ},000042037 T - 0^{\circ},0000001267 T^2$... sustituyendo T obtenemos la excentricidad de la época $e = 0^{\circ},017180267$

• **Ecuación de centro del Sol**

Ya que el Sol no recorre la Eclíptica con velocidad constante, pues su trayectoria es una elipse, un Sol ficticio con velocidad constante y el verdadero no coinciden excepto en momento del apogeo y el perigeo de la Tierra; por tanto, la ecuación de centro (C) es la diferencia entre la longitud media del Sol, L_o , y su longitud verdadera Θ .

La ecuación de centro, en función de la anomalía media M , la hallamos mediante la expresión:

$C = + (1^{\circ},914602 - 0^{\circ},004817 T - 0^{\circ},000014 T^2) \cdot \text{sen } M + (0^{\circ},019993 - 0^{\circ},000101 T) \cdot \text{sen } 2M + 0^{\circ},000289 \cdot \text{sen } 3M$ sustituyendo el valor de M da: $C = 1^{\circ},70071621$

• **Longitud verdadera del Sol**

$\Theta = L_o + C$... sustituyendo valores $\Theta = 23^{\circ},89395771$

• **Anomalía verdadera del Sol**

La anomalía verdadera (v) es el ángulo, en el espacio y sobre el plano de la eclíptica, que tiene como lados la dirección hacia el perihelio y hacia el punto que ocupa el Sol en ese momento, y de vértice el centro de la Tierra. Su valor es igual a la suma de la anomalía media y de la ecuación de centro.

$v = M + C = 119^{\circ},1870909 + 1^{\circ},70071621 = 120^{\circ},8878071$

• **Módulo del radio vector del Sol**

Es la distancia (R) entre el centro del Sol y de la Tierra, expresada en unidades astronómicas (U.A.) La siguiente expresión nos da su valor en función de la excentricidad (e) y de la anomalía verdadera (v).

$R = [1,000001018 (1 - e^2)] / (1 + e \cos v)$ y sustituyendo los valores de e y v
 $R = 1,008601356$ U.A.

•**Ascensión recta y declinación del Sol**

Aunque la latitud eclíptica del Sol no es exactamente igual a 0°, debido a la acción sobre la Tierra de la Luna y los planetas, esta latitud nunca supera el valor de 1,2 arcosegundos. Si se desprecia este pequeño valor de la latitud solar y ésta la hacemos igual a 0°, entonces la ascensión recta (α) y la declinación (δ) del Sol pueden ser calculadas, en función de la inclinación de la eclíptica (ε) y de las longitud verdadera (Θ).

$\text{tang } \alpha = (\cos \epsilon \text{ sen } \Theta) / \cos \Theta$ sustituyendo los valores de ε y de Θ , y hallando el arco tangente.... $\alpha = 22^{\circ},09678599 = 1 \text{ h } 28 \text{ m } 23 \text{ s}$

$\text{sen } \delta = \text{sen } \epsilon \text{ sen } \Theta$ sustituyendo.... $\delta = 9^{\circ},328359666 = 9^{\circ} 19' 42''$

•**Coordenadas rectangulares ecuatoriales geocéntricas del Sol**

Conocidas la ascensión recta (α) y la declinación (δ) del Sol, además del módulo de su distancia (R), se pueden calcular sus coordenadas geométricas cartesianas X, Y , Z, expresadas en U.A.

$X = \cos \alpha \cdot \cos \delta \cdot R$ sustituyendo valores..... $X = 0,922160866 \text{ U.A.}$

$Y = \text{sen } \alpha \cdot \cos \delta \cdot R$ sustituyendo..... $Y = 0,374390441 \text{ U.A.}$

$Z = \text{sen } \delta \cdot R$ sustituyendo..... $Z = 0,163486478 \text{ U.A.}$

c.2- **Coordenadas rectangulares ecuatoriales heliocéntricas del cometa (x , y , z)**

A continuación se van a hallar las coordenadas rectangulares ecuatoriales heliocéntricas del Halley, para la misma fecha (10 de abril), a la misma hora (0 h), y referidas al mismo equinoccio medio de la época.

Ya que la órbita del Halley es elíptica, el método aplicado es el mismo utilizado para otros cuerpos con el mismo tipo de órbita, como pueden ser los planetas mayores y menores, y otros cometas de corto periodo. Remarcar que el plano de referencia es el ecuador terrestre. Primero vamos a calcular unas constantes específicas de la órbita del cometa (a , b c), en función de la longitud del nodo ascendente (Ω), su inclinación (i) y la de la Eclíptica (ε); y después los ángulos A, B, C, también constantes. Previamente se necesitan conocer ciertos valores, que son :

$F = \cos \Omega = 0,880063298$

$G = \text{sen } \Omega \cos \epsilon = 0,435175096$

$H = \text{sen } \Omega \text{ sen } \epsilon = 0,190029541$

$P = - \text{sen } \Omega \cos i = 0,454923285$

$Q = \cos \Omega \cos i \cos \epsilon - \text{sen } i \text{ sen } \epsilon = - 0,887394751$

$R = \cos \Omega \cos i \text{ sen } \epsilon + \text{sen } i \cos \epsilon = - 0,074668339$

Sabiendo estos valores ya podemos calcular las constantes a, b , c y los ángulos A , B , C

$a = \sqrt{F^2 + P^2} = 0,990689964$

$b = \sqrt{G^2 + Q^2} = 0,988355608$

$c = \sqrt{H^2 + R^2} = 0,204172935$ se tomarán los valores positivos de a, b y c.

$\text{tang } A = \frac{F}{P} = 1,934531223 = 62^{\circ},66460366$

$\text{tang } B = \frac{G}{Q} = - 0,490396293 = 153^{\circ},8768391$

$\text{tang } C = \frac{H}{R} = - 2,544981503 = 111^{\circ},4513607$

Para discernir cuál es el cuadrante correcto de los ángulos A, B y C se tendrán en cuenta las siguientes normas :

El seno de A tiene el mismo signo que el $\cos \Omega$

El seno de B y el seno de C tienen el mismo signo que el $\sin \Omega$

Lo siguiente a calcular son la anomalía media (M), la anomalía excéntrica E y la anomalía verdadera v para el momento elegido.

•**Anomalía media**

Para poder calcular la anomalía media (M) del Halley el día 10 de abril a las 0h de T.U. necesitamos conocer la velocidad angular media (n) que se halla mediante la siguiente expresión:

$$n = 0,9856076686 / (a \cdot \sqrt{a}) = 0^{\circ},012816448$$

El numerador es el valor de la constante de gravitación gaussiana, expresada en grados, y a es el semieje mayor de la órbita, $a = 18,0838509$ U.A.

Lo siguiente que necesitamos conocer es el tiempo en días que han transcurrido desde el perihelio (positivo), o faltan para llegar al perihelio (negativo), recordando que el perihelio tuvo lugar el 28,27 febrero, aproximadamente el Día Juliano : 2.026.830,5

Siendo el 10 de abril el Día Juliano 2.026.871,5 entonces el número de días transcurridos desde el perihelio es igual a : $2.026.871,5 - 2.026.830,5 = 41$ días

De esta forma, la anomalía media del Halley ese día era :

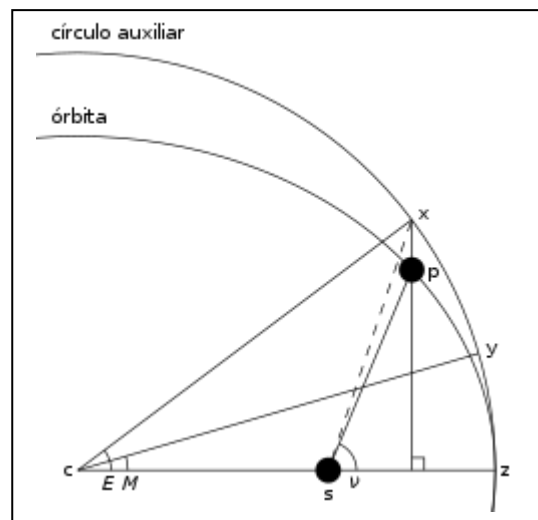
$$M = 0^{\circ},012816448 \cdot 41 = 0^{\circ},525474388$$

•**Anomalía excéntrica**

La anomalía excéntrica (E) es el ángulo, medido desde el centro de la elipse, que forman la proyección del planeta sobre la circunferencia principal y el eje de la elipse, a contar desde su perihelio, y en sentido directo.

En el dibujo de la derecha se pueden ver representadas las tres anomalías : la media, la excéntrica y la verdadera, junto con el círculo auxiliar.

Si se desea conocer la posición de un cuerpo en su órbita elíptica alrededor del Sol y en un momento dado, como ocurre en este caso con el cometa Halley, tenemos que ayudarnos de sus elementos orbitales y se hace necesario conocer su anomalía verdadera (v) en ese momento.



Para ello se introduce un ángulo auxiliar, la anomalía excéntrica (E), que la hallamos a través de la Ecuación de Kepler, una vez que, tanto la anomalía media, M, como la excentricidad, e , son conocidas.

Cuando el cometa está en su perihelio, los ángulos v, E y M son todos igual a 0°, mientras que cuando se encuentra en su afelio son igual a 180°.

Cuando la excentricidad de la órbita es mayor de 0,4 o 0,5 (en el Halley, $e = 0,9678$) se hace necesario usar la siguiente expresión para lograr la convergencia buscada - en nuestro caso de hasta ocho cifras decimales -, de una forma rápida.

$$E_1 = E_0 + [(M + e \cdot \sin E_0 - E_0) / (1 - e \cdot \cos E_0)]$$

En esta ecuación E_0 es el último valor obtenido para E. Si se desea trabajar en grados, entonces en el numerador de la fracción, y sólo en él, la excentricidad, e , debe ser reemplazada por su valor modificado, $e_0 = 180 \cdot e / \pi$

Como ejemplo se va a calcular la anomalía excéntrica del Halley el 10 de abril a las 0 h de T.U.

- Valor en grados de e_0 : $e_0 = 180 \cdot 0,9678 / \pi = 55^\circ,45085541$
- Primera iteración: en la primera iteración $E_0 = M = 0^\circ,525474388$
 $E_1 = 0^\circ,525474388 + [(0^\circ,525474388 + 55^\circ,45085541 \cdot \text{sen } 0^\circ,525474388 - 0^\circ,525474388) / (1 - 0,9678 \cdot \text{cos } 0^\circ,525474388)] = 16^\circ,29892099$
- Segunda iteración :
 $E_2 = 16^\circ,29892099 + [(0^\circ,525474388 + 55^\circ,45085541 \cdot \text{sen } 16^\circ,29892099 - 16^\circ,29892099) / (1 - 0,9678 \cdot \text{cos } 16^\circ,29892099)] = 13^\circ,32770161$
- Tercera iteración :
 $E_3 = 13^\circ,32770161 + [(0^\circ,525474388 + 55^\circ,45085541 \cdot \text{sen } 13^\circ,32770161 - 13^\circ,32770161) / (1 - 0,9678 \cdot \text{cos } 13^\circ,32770161)] = 12^\circ,98987676$
- Cuarta iteración :
 Siguiendo los modelos anteriores..... $E_4 = 12^\circ,98600874$
- Quinta iteración : $E_5 = 12^\circ,98600824$
- Sexta iteración : $E_6 = 12^\circ,98600824$

En la sexta iteración observamos que el valor de la excentricidad coincide con la anterior en ocho cifras decimales, aproximación que consideramos lo suficientemente exacta para tomarla como verdadera, por tanto $E = 12^\circ,98600824$

•Anomalía verdadera

Una vez conocida la anomalía excéntrica, se puede calcular la anomalía verdadera (v) mediante la siguiente expresión :

$$\text{tang } v/2 = \sqrt{\frac{(1+e)}{(1-e)}} \cdot \text{tang } (E/2) = \sqrt{\frac{(1+0,9678)}{(1-0,9678)}} \cdot \text{tang } (12^\circ,98600824 / 2) =$$

$$= 7,817403741 \cdot \text{tang } 6^\circ,49300412 = 0,8897137593 \text{entonces arc tang } v/2 =$$

$$= 41^\circ,65992983 \text{ y.... } v = 41^\circ,65992983 \cdot 2 = 83^\circ,31985966$$

•Distancia Sol - Halley

El módulo del radio vector Sol-cometa se puede calcular mediante la siguiente expresión:
 $r = a \cdot (1 - e \cdot \text{cos } E) = 18,0838509 \cdot (1 - 0,9678 \cdot \text{cos } 12^\circ,98600824) = 1,029902703$ en U. A.

Después de realizar todos los cálculos anteriores, ahora ya podemos abordar el cálculo de las coordenadas rectangulares ecuatoriales heliocéntricas (x , y z), que era el objetivo marcado para esta apartado del trabajo. Para ello, nos serviremos de las cantidades auxiliares constantes A, B, C, a, b, c, halladas anteriormente, junto con la anomalía verdadera (v), el argumento del perihelio (ω) y el módulo del radio vector (r).

$$x = r \cdot a \cdot \text{sen } (A + \omega + v) \text{sustituyendo valores..... } x = - 0,929877192 \text{ U.A.}$$

$$y = r \cdot b \cdot \text{sen } (B + \omega + v) \text{ sustituyendo valores..... } y = - 0,399254448 \text{ U.A.}$$

$$z = r \cdot c \cdot \text{sen } (C + \omega + v) \text{ sustituyendo valores..... } z = - 0,191373642 \text{ U.A.}$$

c.3 - Coordenadas rectangulares ecuatoriales geocéntricas del Halley

Ha llegado el momento de realizar la suma de las respectivas componentes rectangulares Tierra-Sol (X, Y, Z) y las correspondientes al Sol- Halley, que tendrá como resultante las componentes rectangulares (ξ , η , ζ) del vector Tierra-Halley.

$$\xi = X + x = 0,922160866 + (- 0,929877192) = - 0,007716326 \text{ U.A.}$$

$$\eta = Y + y = 0,374390441 + (- 0,399254448) = - 0,024864007 \text{ U.A.}$$

$$\zeta = Z + z = 0,163486478 + (- 0,191373642) = - 0,027887164 \text{ U.A.}$$

•Distancia Tierra - Halley

Para saber la distancia Tierra - Halley (Δ), conocidas sus coordenadas rectangulares, se utiliza la siguiente expresión:

$\Delta^2 = \xi^2 + \eta^2 + \zeta^2$ sustituyendo valores y tomando el signo positivo de la raíz, al tratarse de una distancia, se tiene que $\Delta = 0,038150418 \text{ U.A.}$

Como se puede comprobar, el día 10 de abril, a las 0 h de T.U. el Halley se encontraba a una distancia increíblemente cercana a la Tierra de.....

$$0,038150418 \text{ U.A.} \cdot 149.597.870 \text{ Km/U.A.} = 5.707.221,3 \text{ Km.}$$

Comparando esta distancia con la distancia media Tierra - Luna , $d = 384.400 \text{ Km}$, vemos que ese día el Halley se hallaba a una distancia de 14,84 veces la distancia media a la Luna, por lo que ahora se entiende que su cola se viera extraordinariamente larga y brillante.

Recordar que su mínima distancia a la Tierra ese día la alcanzó a las 12 h T.U., cuando se encontraba a una distancia aún menor de $0,035685509 \text{ U.A.} = 13,88$ veces la distancia media a la Luna.

c.4 - Coordenadas ecuatoriales absolutas geocéntricas del Halley (α' , δ').

Conocidas las componentes rectangulares ecuatoriales geocéntricas del cometa y su distancia a la Tierra, halladas anteriormente, es posible ya calcular sus coordenadas ecuatoriales absolutas (α' , δ'), planteadas como objetivo para todo el punto c, mediante las siguientes expresiones :

Para la ascensión recta :

$$\text{tang } \alpha' = \eta / \xi \text{sustituyendo valores y hallando el arcotangente obtenemos}$$

$$\alpha' = 252^\circ,7587303 = 16 \text{ h } 51 \text{ m } 2,1 \text{ s}$$

El cuadrante correcto en el que se encuentra α' lo sabemos porque el signo del seno α' tiene el mismo signo que η , es decir, en este caso es negativo y como la tang α' es positiva ($-/-$), llegamos a la conclusión que α' se encuentra en el tercer cuadrante, en el intervalo de [$180^\circ - 270^\circ$].

Para la declinación :

$$\text{sen } \delta' = \zeta / \Delta \text{ sustituyendo valores y hallando el arco seno tenemos que.....}$$

$$\delta' = - 46^\circ,96855006 = - 46^\circ 51' 2,1''$$

Como vemos, el Halley ese día transitaba por el Hemisferio Sur celeste, con una declinación negativa y de valor absoluto intermedio. Esto es importante porque ésto limitaba su visibilidad en el Hemisferio Norte para las altas latitudes, como sucedió este día (y el 9 de abril también) para la latitud del palacio de Luis el Piadoso, en la localidad de Aachen (Aquisgrán), haciendo que se encontrara por debajo del Horizonte esa noche.

c.4 - Coordenadas ecuatoriales del Halley (α' , δ') en los crepúsculos astronómicos matutino y vespertino.

Aunque como ya se mencionó con anterioridad, los cálculos correspondientes a hallar las coordenadas ecuatoriales (α' , δ') en los momentos correspondientes a los dos crepúsculos astronómicos, para cada uno de los días del intervalo de tiempo a estudio en este trabajo, han sido realizados, hay que matizar que la opción de concretar tanto en una fecha dada se ve sólo como una necesidad clara en los días anteriores y posteriores a su máximo acercamiento a la Tierra, por ejemplo entre los días 5 y 15 de abril.

El método para calcular dichas coordenadas es el mismo llevado a cabo para las 0h de T.U. y por tanto se seguirán los mismos pasos llevados a cabo para esa hora cero.

Si recordamos, el primer paso a dar era encontrar la fracción de Día Juliano del momento elegido, que en este caso será el correspondiente a los dos crepúsculos, pero ¿ cuándo se producían en cada uno de los días ? ,ya que para una misma latitud varía el momento en función de la declinación solar de ese día.

El objetivo a lograr es saber el ángulo horario (H) que tiene el Sol un día cualquiera cuando éste se encuentra 18° por debajo del horizonte, antes del orto y después del ocaso, ya que el ángulo horario nos dará también la hora local en la que se produce el crepúsculo.

En este punto se seguirá aplicando el modelo sobre el mismo día, el 10 de abril, pero sólo se detallará la forma de hallar la fracción de DJ para cada crepúsculo. También decir que, aunque en primavera la declinación del Sol varía con rapidez - como se verá a posteriori del desarrollo matemático - esta variación aquí no se tendrá en cuenta y se tomará la declinación solar como constante a lo largo del día. En este caso será la que tenía a las 0h de T.U., que como hallamos antes era $\delta = 9^\circ,328359666 = 9^\circ 19' 42''$

El lugar geográfico de observación de esos crepúsculos será la capital del imperio carolingio, la ciudad de Aquisgrán (Aachen en alemán), que tiene la siguiente latitud geográfica : $\varphi = 50^\circ,7746$ N y una longitud $\lambda = 6^\circ,0843$ E = 0 h 24 m 20 s

Para hallar el ángulo horario, H , nos servimos de la siguiente expresión:

$\cos H = (\sin h - \sin \varphi \cdot \sin \delta) / (\cos \varphi \cdot \cos \delta)$ sustituyendo valores y hallando el arccoseno de H obtenemos : $H_1 = 134^\circ,1418889 = 20$ h 56 m 34 s (c. vespertino) y $H_2 = 225^\circ,8581111 = 3$ h 3 m 26 s (c. matutino) ; siendo ambas horas locales de Aquisgrán.

Como nosotros necesitamos saber cuál era la hora en T.U. restamos su longitud geográfica, expresada en tiempo, al estar Aquisgrán al este del meridiano de Greenwich. Esto nos da:

$H_1 = 20$ h 32 m 14s y $H_2 = 2$ h 39 m 6 s de horas en T.U. para los respectivos crepúsculos.

Volviendo a hacer uso de la aplicación informática para saber la fracción de Día Juliano que corresponde a cada crepúsculo vemos que es:

Crepúsculo matutino..... 2.026.871,6105 DJ

Crepúsculo vespertino 2.026.872,35572 DJ

Siguiendo los mismos pasos dados para las 0h T.U. obtenemos los siguientes resultados:

cuerpo celeste	crepúsculo	coordenadas ecuatoriales absolutas	
Sol	matutino	$\alpha = 22^\circ,19753569$	$\delta = 9^\circ,36803327$
	vespertino	$\alpha' = 22^\circ,87752905$	$\delta' = 9^\circ,634815887$

cuerpo celeste	crepúsculo	coordenadas ecuatoriales absolutas	
		matutino	$\alpha' = 243^{\circ},9960115$
Halley	12 h	$\alpha' = 210^{\circ},0502425$	$\delta' = -45^{\circ},43670896$
	vespertino	$\alpha' = 186^{\circ},804763$	$\delta' = -36^{\circ},63781904$

Se ha incluido también las coordenadas que tenía a las 12 h, con el objetivo de visualizar el gran movimiento angular en el cielo que alcanzó ese día el cometa.

c.5 - Distancias lineales en el sistema Sol - Tierra - Halley.

Crepúsculo matutino.

cuerpos celestes	Tierra - Sol (R)	Sol - Halley (r)	Tierra - Halley (Δ)
Distancia (U.A.)	1,008629366	1,031609635	0,036803515

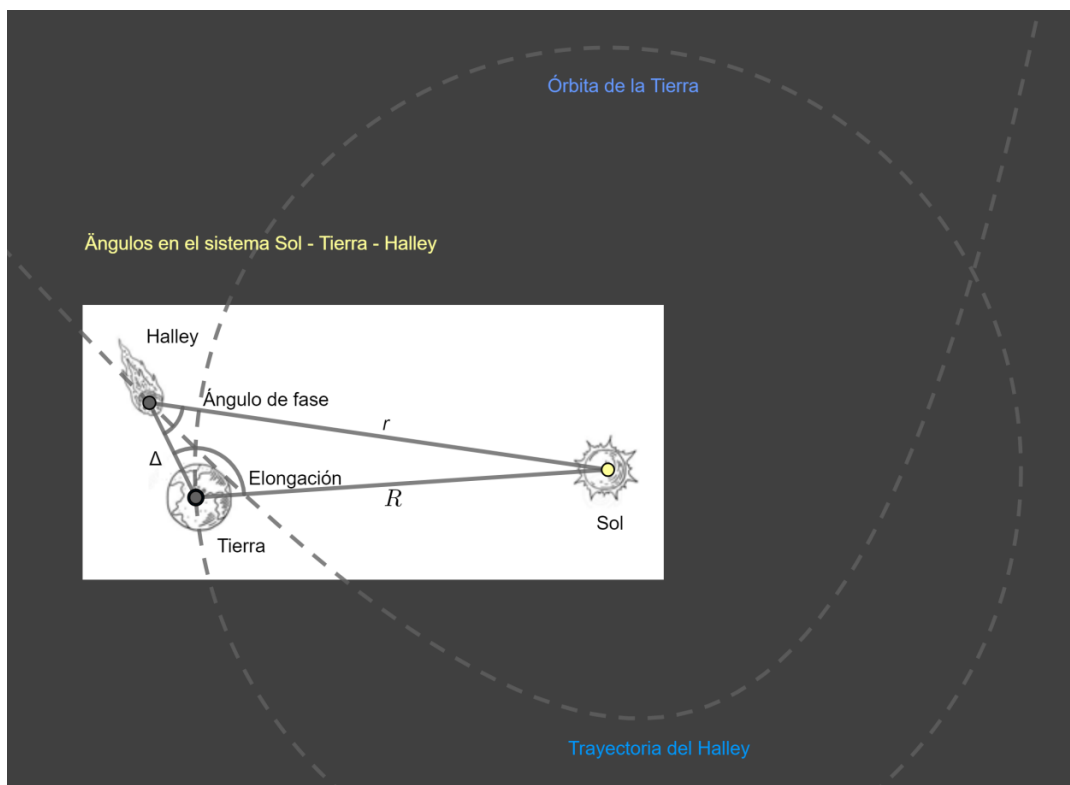
Mediodía (12 h).

cuerpos celestes	Tierra - Sol (R)	Sol - Halley (r)	Tierra - Halley (Δ)
Distancia (U.A.)	1,008727862	1,037630024	0,035685509

Crepúsculo vespertino.

cuerpos celestes	Tierra - Sol (R)	Sol - Halley (r)	Tierra - Halley (Δ)
Distancia (U.A.)	1,008817468	1,043131952	0,039669509

d).- Distancias angulares en el sistema Sol - Tierra - Halley.



En el dibujo de arriba se pueden ver los ángulos que formaban en el espacio los tres astros el día 10 de abril, junto con los lados del triángulo del sistema (el lado Δ , Halley- Tierra se encuentra aumentado a efectos de claridad).

Son dos los ángulos que están representados : el de fase (β) y el de elongación (ψ).

El ángulo de fase es el que forman los lados Halley - Tierra y Halley - Sol y como vértice el propio cometa. Se puede decir que sería la amplitud angular con que se vería, desde el cometa, la Tierra y el Sol.

El ángulo de fase se mueve en el intervalo [0° - 180°], estando el cometa al otro lado de la Tierra y del Sol cuando su valor es 0° , y entre el Sol y la Tierra cuando vale 180° , siendo entonces no visible. El valor que adquiere influye en el tamaño con el que es vista su cola desde la Tierra.

Se llama elongación a la separación angular entre el cometa y el Sol, vistos desde la Tierra. Cuanto mayor sea la elongación, el cometa se verá con más nitidez si el valor de la magnitud es grande y la proximidad a nuestro planeta se hace cada vez menor.

Las expresiones que nos hallan el ángulo de fase y la elongación son:

$\cos \psi = (R^2 + \Delta^2 - r^2) / (2 \cdot R \cdot \Delta)$ sustituyendo los valores correspondientes a las 0h T.U. del 10 de abril y hallando el arcocoseno de ψ tenemos que $\psi = 123^\circ,0475714$

$\cos \beta = (r^2 + \Delta^2 - R^2) / (2 \cdot r \cdot \Delta)$... sustituyendo valores y hallando su arcocoseno..... tenemos que $\beta = 55^\circ,1731147$.

Como se puede apreciar, tanto ψ como β se obtienen aplicando la ley del coseno sobre el lado apropiado del triángulo Halley - Tierra - Sol.

$r^2 = R^2 + \Delta^2 - 2 \cdot R \cdot \Delta \cdot \cos \psi$ para el ángulo de fase.

$R^2 = r^2 + \Delta^2 - 2 \cdot r \cdot \Delta \cdot \cos \beta$ para el ángulo de fase

e).- **Magnitud visual del cometa Halley.**

Cuando hablamos de magnitud visual de un cometa hay que distinguir entre :

- Magnitud absoluta (m_0) : es con la que se observaría el cometa situado a una distancia de una U.A. del observador y del Sol.

- Magnitud aparente : viene determinada tanto por el brillo real del cometa como por su distancia al observador

Además, existe un factor fotométrico intrínseco del cometa, que informa del brillo del cometa conforme cambia su distancia al Sol.

En este punto se va a calcular la magnitud que tuvo el Halley el 10 de abril a las 0 h de T.U. utilizando una fórmula debida a John Bortle y Charles Morris y reflejada en " Sky and Telescope ", vol. 67 , nº 1 (enero 1984) :

$m = 3,1 + 5 \cdot \log \Delta + 7,75 \cdot \log r$... sustituyendo los valores de Δ y de r tenemos

$m = 3,1 + 5 \cdot \log 0,038150418 + 7,75 \cdot \log 1,029902703 = - 3,893333$

Con objeto de poder comparar esta magnitud decir qu, el planeta Venus, en su fase de mayor brillantez, tiene una magnitud aparente de $- 4,9$ y la estrella más brillante de nuestro cielo, Sirio, presenta una magnitud aparente de $- 1,47$.

f).-**Fase de la Luna.**

Otro factor importante a tener en cuenta para poder imaginarse la mayor o menor brillantez del cometa y, por tanto, su espectacularidad en el cielo para un observador, es conocer la fase en la que se encontraba la Luna ese día 10 de abril a las 0 h T.U. Una Luna llena restaría brillo aparente al cometa, mientras que una Luna nueva haría que su magnitud visual aparente, hallada antes, resaltara más sobre un cielo oscuro estrellado.

Para conocer su fase, y otros datos relativos a la Luna en este momento, nos servimos del programa " Efemeridesastronomicas.dyndns.org ", el cual nos brinda los datos buscados para un observador situado ese día en el palacio de Aquisgrán.

Los datos topocéntricos eran:

LUNA

Datos OCO Mapa localización Gráfica de visibilidad Generar efemérides

UTC: 10/04/0837 00:00:00 (Tiempo fijo)

AAAAMMDDHHmmSS.SS Fijar UTC | - 1 hora + | Tiempo real ?

Luna

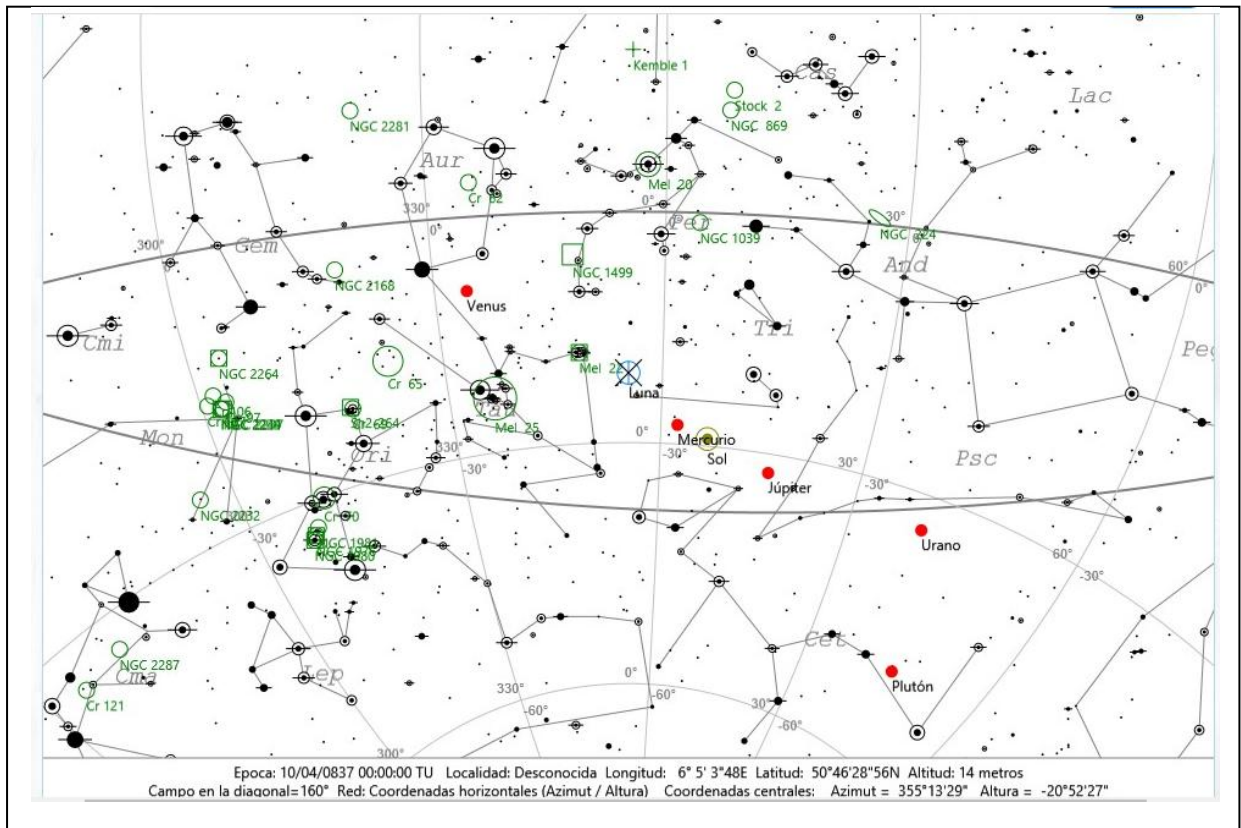
Luna nueva -> Cuarto creciente

Datos topocéntricos

Ángulo de fase	:166.562°
Ángulo de posición del limbo iluminado	:233.038°
Iluminación	:1.4%
Distancia (Km)	:388036 Km
Distancia (Radios terrestres)	:60.838 r
Semidiámetro	: 0°15'23"54
Libración óptica:	
Libración en longitud	:4.643°
Libración en latitud	:-5.552°
Ángulo de posición del eje	:339.969°
Longitud selenográfica terrestre	:4.629°
Latitud selenográfica terrestre	:-5.555°
Ángulo de posición del eje de rotación	:339.953°

Interpretando estos datos, vemos que la Luna se encontraba en un cuarto creciente de un día (siendo su edad aproximada de un día), por lo que la fracción de disco iluminado era muy pequeño (1,4 %).

La tarde anterior - día 9 de abril - el Sol tuvo su ocaso a las 18 h 44 m, hora local de Aquisgrán, encontrándose entonces la Luna sobre el horizonte oeste-noroeste a una altura de 10° y 42'. A las 19 h 54 m la Luna tuvo su ocaso y a las 0 h del día 10 se encontraba ya 20° y 52' por debajo del horizonte, por lo que no era visible. Estos datos nos llevan a afirmar que el cometa Halley sería visible en todo su esplendor para las latitudes más bajas del Hemisferio Norte, pero no desde el palacio real, atravesando muy rápidamente el cielo por la constelación austral del Telescopio, cercana a la zodiacal de Sagitario.



g).- Velocidad instantánea del Halley.

Si consideramos la órbita del cometa como no perturbada, entonces su velocidad en km/s. se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$V = 42,1219 \cdot \sqrt{(1 / r) - (1/2 \cdot a)}$, donde r es la distancia del cometa al Sol y a es el semieje mayor de la órbita, ambos expresados en unidades astronómicas (U.A.).

Sustituyendo valores ..

$$V = 42,1219 \cdot \sqrt{(1 / 1,029902703) - (1 / (2 \cdot 18,0838509))} = 40,910677 \text{ km/s} = 147.278,44 \text{ km/h}$$

Esta sería la velocidad instantánea del Halley, pero la velocidad aparente con la que se movería sería un poco mayor en unos 1.669 km/h, al sumarle la velocidad lineal de rotación de la Tierra, ya que su órbita es retrógrada respecto al seguido por nuestro planeta.

Con este último apartado se finaliza la descripción detallada de los cálculos a realizar para hallar las coordenadas ecuatoriales del Halley para un día determinado , el 10 de abril del 837 , y a una hora concreta, las 0 h T.U.

Es el momento de hallar el resto de las coordenadas ecuatoriales correspondientes al intervalo temporal de estudio (24 de enero - 8 de mayo). Conocidas estas coordenadas se podrá abordar la representación de la trayectoria del cometa sobre el fondo de estrellas para las dos épocas, la de estudio del 837 d. C. y la correspondiente a la época J2000, y así cumplir con el objetivo nº 3, marcado en la introducción del trabajo.

h).- Trayectoria seguida por el Halley entre las constelaciones de estrellas.

Como ya dejamos claro anteriormente al tratar sobre el contexto general astronómico de la época, tanto los Polos Celestes como el punto Aries eran otros respecto a la época actual, debido al movimiento de precesión de los equinoccios. Este movimiento hace que no sólo esos puntos celestes concretos varíen con el paso del tiempo, sino que también a las estrellas les ocurre lo mismo, cambiando sus coordenadas ecuatoriales, al estar referenciadas respecto

al equinoccio medio de la época. Se hace necesario entonces conocer la variación sufrida por cada una de las estrellas de los dos hemisferios celestes, y así poder insertar entre las mismas las posiciones alcanzadas por el Halley. Aunque, si se quisiera conseguir una mayor exactitud en los resultados obtenidos, habría que calcular y añadir también el cambio propiciado por el movimiento propio de cada estrella, y después hacer una composición con el cambio debido a la precesión, se ha considerado suficiente sólo trabajar con la precesión. ya que el movimiento propio estelar es insignificante dado el poco tiempo, hablando en términos de vida de las estrellas, transcurrido desde el año de estudio hasta la actualidad. Sólo las estrellas más próximas al Sol, como puedan ser Alfa Centauri, Sirio, Proción y Altair, serían susceptibles de actuación en este sentido.

El método a seguir va a ser el siguiente:

1°.- Elaborar un catálogo de estrellas con las principales constelaciones correspondientes a los dos hemisferios terrestres, en el que, entre otros datos, figuren las coordenadas ecuatoriales (α , δ) para la época J2000.

2°.- Realizar los cálculos necesarios para corregir de precesión cada estrella del catálogo y hallar después sus coordenadas ecuatoriales para el año 837 d.C.

3°.- Comparar las coordenadas ecuatoriales del Halley (α' , δ'), correspondientes a cada día del intervalo temporal de estudio, para las 0 h T.U. y para cada uno de los crepúsculos astronómicos, con las constelaciones de estrellas, corregidas ya de precesión, para localizar por cuáles de ellas iba atravesando el cometa en cada fecha, y dentro de ésta en cada momento crepuscular, sobre todo entre los días 5 y 15 de abril.

4°.- Dibujar sobre papel milimetrado, representando en ordenadas la declinación (δ') y en abscisas la ascensión recta (α), las constelaciones por las que pasaba el cometa y la trayectoria seguida por el mismo entre dichas constelaciones, concretando el día y, en su caso, el crepúsculo correspondiente.

5°.- Corregir de precesión las coordenadas ecuatoriales del Halley (α' , δ'), hasta llevarlas a las correspondientes para la época actual J2000.

6°.- Señalar los puntos correspondientes a estas coordenadas J2000 dentro de una carta de estrellas o planisferio de nuestra época.

Respecto al catálogo de estrellas decir que, aunque los datos necesarios para la corrección precesional son sólo la ascensión recta y la declinación de la estrella, el catálogo elaborado por mí recoge otros datos, como son la velocidad radial (V_r), el paralaje (π), el movimiento propio en ascensión recta (μ_α) y en declinación (μ_δ), expresados ambos en arcosegundos y por último su distancia en parsecs (pc).

Como ejemplo se van a reflejar en el cuadro siguiente los datos de la constelación de Capricornio, una de las que atravesó el Halley.

Estrella	α°	δ°	V_r (km/s)	π (")	μ_α ("/año)	μ_δ ("/año)	pc
α	304,4125	-12,50833	-25,79	0,003741	0,0218	0,002222	267,3
β	305,25416	-14,78138	-19	0,0058729	0,061593	0,02085	170,27
γ	325,02083	-16,6622	-31,2	0,02077	0,18756	-0,02245	48,14
δ	326,75833	-16,12722	-3,4	0,08427	0,2617	-0,2967	11,87
ϵ	324,27083	-19,46611	-23,7	0,00309	0,01279	0,00028	323,6
ζ	321,66666	-22,41138	2,1	0,00846	-0,00223	0,0181	118,2

θ	316,4875	-17,23277	-10,9	0,02011	0,07933	-0,06201	49,7
ι	320,5625	-16,83444	12,271	0,01658	0,03	0,00452	60,3
ω	312,95416	-26,91916	9,1	0,0031381	-0,00926	-0,00159	318,66
ψ	311,525	-25,27083	25,6	0,06813	-0,05196	-0,15656	14,68

A la derecha se puede ver una representación de Capricornio, con sus estrellas dispuestas según sus coordenadas ecuatoriales (α_0 , δ_0) para la época J2000. Para hallar cuáles eran sus coordenadas (α , δ) en el 837 d.C., primero debemos saber el número de siglos julianos transcurridos desde ese año:

$$T = (837 - 2000) / 100 = -11,63 \text{ siglos}$$

Una vez tenemos este dato temporal podemos hallar los ángulos auxiliares de precesión para la fecha (ζ , Z , θ), haciendo uso de las siguientes expresiones matemáticas:

$$\zeta = 2.306'' + 2181 T + 0'' \cdot 30188 T^2 + 0'' \cdot 017998 T^3 \dots \text{en este caso } \zeta = -7^{\circ},446887968$$

$$Z = 2.306'' + 2181 T + 1'' \cdot 09468 T^2 + 0'' \cdot 018203 T^3 \dots \dots \dots Z = -7^{\circ},417190968$$

$$\theta = 2.004'' + 3109 T - 0'' \cdot 42665 T^2 - 0'' \cdot 041833 T^3 \dots \dots \dots \theta = -6^{\circ},472788399$$

Una vez conocemos estos ángulos precesionales, las coordenadas ecuatoriales en la fecha de destino se pueden hallar mediante las siguientes fórmulas matemáticas:

La declinación (δ): $\text{sen } \delta = \cos (\alpha_0 + \zeta) \text{ sen } \theta \cos \delta_0 + \cos \theta \text{ sen } \delta_0$

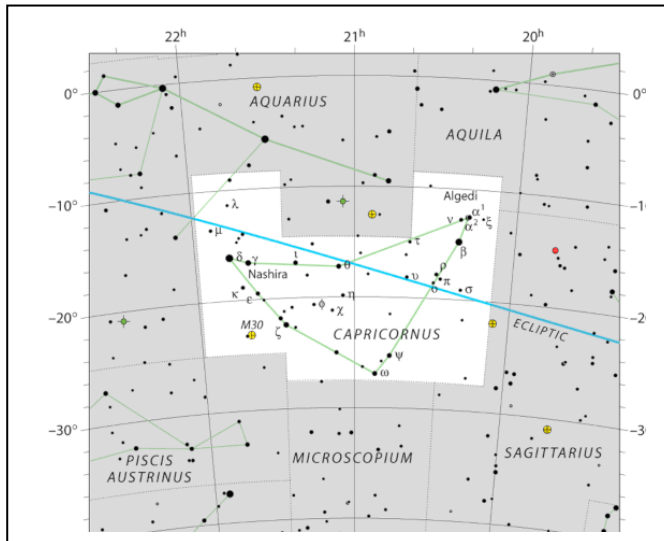
Primero se halla la declinación δ .

La ascensión recta (α) se determina, en el cuadrante adecuado, según los signos del seno y el coseno del ángulo ($\alpha - z$), a partir de las expresiones:

$$\text{sen } (\alpha - z) = \text{sen } (\alpha_0 + \zeta) \cos \delta_0 / \cos \delta$$

$$\cos (\alpha - z) = [\cos (\alpha_0 + \zeta) \cos \theta \cos \delta_0 - \text{sen } \theta \text{ sen } \delta_0] / \cos \delta$$

Realizados los cálculos indicados, se obtienen las coordenadas ecuatoriales (α , δ) de cada una de las estrellas de Capricornio en el 837 d.C., respecto al equinoccio medio de la época, es decir, su punto Aries en ese momento.



Estrella	Ascensión recta (α)	Declinación (δ)
α	288°,105731 = 19 h 12 m 25 s	- 15°,37326827 = - 15° 22' 24"
β	288°,7066647 = 19 h 14 m 49 s	- 17°,71929645 = - 17° 43' 9"
γ	308°,6276494 = 20 h 34 m 30s	- 21°,38415754 = - 21° 23' 3"
δ	310°,4555669 = 20 h 41 m 49 s	- 20°,98458154 = - 20° 59' 4"
ϵ	307°,604502 = 20 h 30 m 25 s	- 24°,11915174 = - 24° 7' 9"
ζ	304°,6350228 = 20 h 18 m 32 s	- 26°,84033359 = - 26° 50' 25"
θ	299°,8455654 = 19 h 59 m 23 s	-21°,23441825 = - 21° 14' 4"
ι	304°,0466022 = 20 h 16 m 11 s	- 21°,19283538 = - 21° 11' 34"
ω	295°,1459884 = 19 h 40 m 35 s	-30°,54583971 = - 30° 32' 45"
ψ	293°,8794978 = 19 h 35 m 31 s	- 28°,77015888 = - 28° 46' 12"

Extendiendo los cálculos realizados para Capricornio al resto de las 88 constelaciones, hasta las 634 estrellas que conforman el catálogo, hallamos las coordenadas ecuatoriales para cada una de las estrellas.

Con objeto de abordar el punto 3º del punto h y poder cotejar las coordenadas ecuatoriales de las estrellas halladas anteriormente con las ecuatoriales del Halley, necesitamos hallar estas últimas coordenadas. El modelo a seguir es el mismo utilizado para calcular sus coordenadas (α' , δ') para el día 10 de abril, a las 0 h T.U. y también para cada momento crepuscular diario.

En la tabla siguiente se recogen estas coordenadas ecuatoriales para cada momento del día elegido y para cada uno de los días del intervalo temporal objeto de estudio, respecto a la localidad de Aachen (Aquisgrán), donde se encontraba entonces la corte carolingia durante el reinado de Luis el Piadoso.

0 h T.U.	Crepúsculo matutino	Crepúsculo vespertino
----------	---------------------	-----------------------

Día	Coordenadas ecuatoriales absolutas (α' , δ')					
	(α')°	(δ')°	(α')°	(δ')°	(α')°	(δ')°
24 - I	337,001286	-5,847160	336,931925	-5,849198	336,759009	-5,854428
3 - II	333,753491	-5,972076	333,684953	-5,975685	333,498951	-5,985950
13 - II	330,257218	-6,238454	330,184532	-6,246055	329,971415	-6,268290
23 - II	326,413042	-6,750475	326,341451	-6,762344	326,105101	-6,802163
28 - II	324,467090	-7,105986	324,400098	-7,119493	324,166170	-7,167446
10 - III	320,959872	-7,962306	320,909675	-7,977411	320,712122	-8,037947
20 - III	318,239537	-9,014980	318,204189	-9,033291	318,042382	-9,119357
22 - III	317,760775	-9,278423	317,726664	-9,298530	317,565091	-9,396351
1 - IV	314,796020	-11,698108	314,735569	-11,757269	314,367327	-12,120944
5 - IV	311,703306	-14,810995	311,543159	-14,972523	310,392306	-16,126119
7 - IV	307,571093	-18,882655	307,178750	-19,256658	303,879893	-22,301091
8 - IV	302,964110	-23,113126	302,187797	-23,789860	294,582795	-29,841489
9 - IV	292,184825	-31,531700	290,046027	-32,952890	262,717900	-44,908971
10 - IV	252,758730	-46,968550	243,996011	-47,983323	186,804763	-36,637819
12 T.U.	210,050242	-45,436709	--	--	--	--
11 - IV	180,346990	-32,794787	176,358965	-30,061772	160,662652	-16,524681
12 - IV	158,986662	-14,833385	157,883015	-13,697748	152,512753	-7,957868
13 - IV	151,821424	-7,1971989	151,348581	-6,6745700	148,734338	-3,754206
15 - IV	146,361806	-1,0630240	146,205672	-0,8844675	145,210038	0,259744
17 - IV	144,162152	1,4791278	144,089592	1,5644338	143,583203	2,164499
20 - IV	142,643496	3,3158655	142,613914	3,3535056	142,384911	3,649851
28 - IV	141,520208	5,0602909	141,517933	5,0681193	141,498381	5,149417
8 - V	141,765044	5,6063993	141,768217	5,6073744	141,825893	5,622582

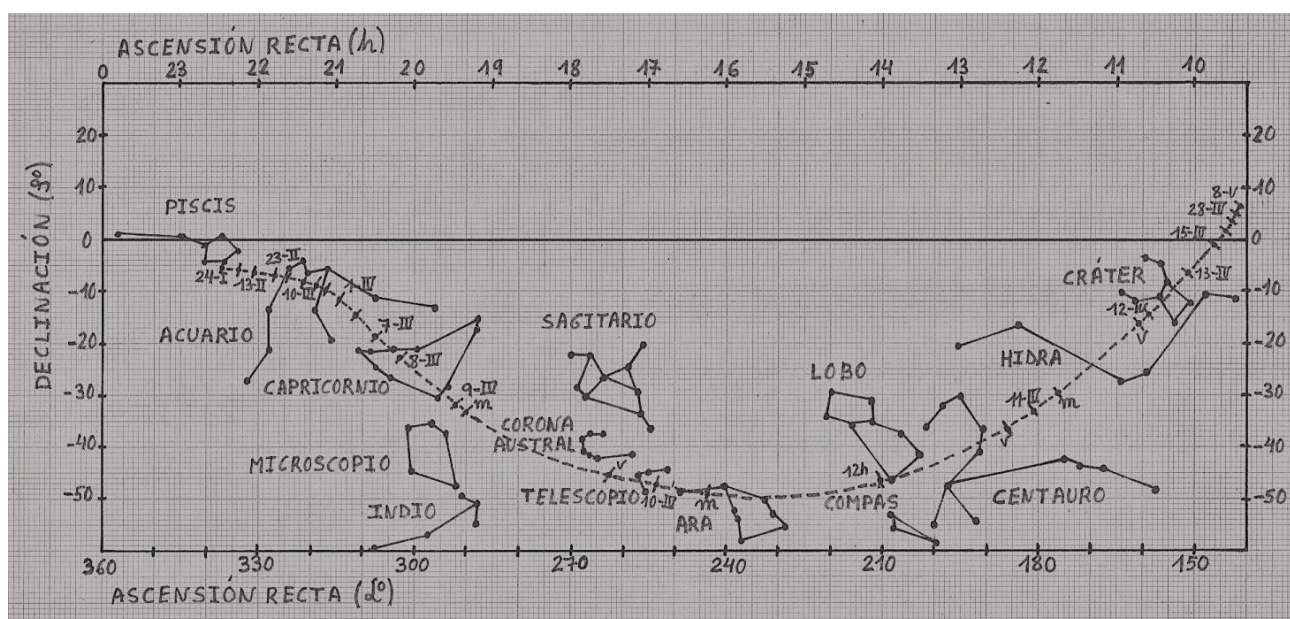
Una vez que tenemos estas coordenadas ecuatoriales hay que cotejarlas con las constelaciones de estrellas y buscar, entre todas ellas, aquellas que se encuentren próximas o contengan dentro de su asterismo o forma, los puntos por donde pasó entonces el Halley.

Si miramos el cuadro de arriba observamos que el cometa atravesó la constelación de Capricornio entre los días 7 y 9 de abril. De igual manera sacamos el resto de constelaciones por las que transitó a lo largo de todo el intervalo temporal.

Así mismo observamos que durante los días del 7 al 12 de abril, cuando el cometa se encontraba muy próximo a la Tierra, la distancia angular recorrida por él en el cielo era grande, especialmente el día 10, cuando se movió unos setenta grados en ascensión recta entre las 0h y el momento del crepúsculo vespertino.

Precisamente por este motivo, a efectos de poder representar su trayectoria con más puntos ese día, se hizo necesario hallar también su posición para las 12 h de T.U.

En el dibujo de abajo se puede ver el camino seguido por el Halley entre las constelaciones de estrellas, dispuestas según sus coordenadas ecuatoriales, en abscisas la ascensión recta (α) y en ordenadas la declinación (δ). Observamos que mayoritariamente transitó entre las constelaciones del Hemisferio Sur celeste.



La trayectoria es representada mediante una línea discontinua, señalando sobre ella con un punto y una raya trasversal el lugar donde se encontraba en cada fecha. Entre los día 9 y 12 de abril también se indica su situación en los crepúsculos matutinos (m) y en los vespertinos (v), además del lugar donde estaba el día 10 a las 12 h T.U.

Ya sólo queda para completar este apartado desarrollar los puntos 5º y 6º de la introducción, que manifestaban la intención de representar, sobre un planisferio celeste (en este caso, del Hemisferio Sur, por la razón antes comentada), la trayectoria seguida entre las constelaciones de estrellas, pero ahora para la época actual, J2000.

El camino a seguir es el inverso al seguido para hallar su trayectoria en el año 837 d.C. Ahora con las coordenadas ecuatoriales del cometa Halley, tratadas como puntos en el cielo, obtenidas para cada una de las fechas y momentos crepusculares, calcularemos sus nuevas coordenadas J2000, haciendo uso de las mismas fórmulas de corrección por precesión, pero esta vez los siglos julianos transcurridos serán positivos en vez de negativos, $T = 11,63$.

En el planisferio celeste se representan todas las fechas del intervalo temporal elegido, menos las correspondientes al 24 de enero y 8 de mayo, por ser sus declinaciones en esos días positivas y caer en el Hemisferio Norte celeste, no visible.

Por las mismas razones esgrimidas respecto al cuadro anterior, en el planisferio se sigue el mismo criterio para los crepúsculos entre el 9 y el 12 de abril, y para las 12 h del día 10.

Al ser esta plantilla del planisferio la correspondiente al Hemisferio Sur, las ascensiones rectas y los

meses del año son crecientes en sentido antihorario y los meses difieren medio año respecto al Hemisferio Norte, como consecuencia de ser opuestas las estaciones del año en sus respectivas latitudes templadas.

En el cuadro siguiente se recogen las coordenadas ecuatoriales (α , δ) del cometa obtenidas para la época J2000.

Día	Coordenadas ecuatoriales absolutas (α , δ)					
	0 h T.U.		Crepúsculo matutino		Crepúsculo vespertino	
	(α)°	(δ)°	(α)°	(δ)°	(α)°	(δ)°
24 - I	352,052811	0,360153	--	--	--	
3 - II	348,828149	0,128442	--	--	--	
13 - II	345,364870	-0,274438	--	--	--	
23 - II	341,572717	-0,961493	--	--	--	--
28 - II	339,661249	-1,415237	--	--	--	--
10 - III	336,235541	-2,464234	--	--	--	--
20 - III	333,610532	-3,679234	--	--	--	--
22 - III	333,154591	-3,972264	--	--	--	--
1 - IV	330,395337	-6,580748	--	--	--	--
5 - IV	327,587188	-9,901601	--	--	--	--
7 - IV	323,880258	-14,269546	--	--	--	--
8 - IV	319,789212	-18,853940	--	--	--	--
9 - IV	310,319109	-28,187821	308,447032	-29,803683	284,063683	-44,528717
10 - IV	274,682517	-47,676723	266,088972	-49,652175	203,158659	-42,860941
12 T.U.	229,590778	-50,390686	--	--	--	--
11 - IV	195,979543	-39,170735	191,621306	-36,487058	175,148084	-22,822440
12 - IV	173,457376	-21,088820	172,351247	-19,922470	167,049134	-14,001930
13 - IV	166,376048	-13,214353	--	--	--	--
15 - IV	161,133727	-6,839883	--	--	--	--
17 - IV	159,058668	-4,187558	--	--	--	--
20 - IV	157,641810	-2,270592	--	--	--	--
28 - IV	156,622239	-0,465288	--	--	--	--
8 - V	156,897061	0,065875	--	--	--	--

En la imagen de abajo se puede ver dicho planisferio con la trayectoria seguida por el Halley en el intervalo de tiempo elegido.



i).- Distancias y ángulos entre los cuerpos del sistema Sol - Tierra -- Halley.

Con objeto de completar la información sobre el retorno del Halley en el año de estudio, en el cuadro siguiente se van a reflejar algunos datos relevantes para la mejor comprensión del mismo, como pueden ser las distancias respectivas que mantuvieron entre sí durante el intervalo temporal elegido los tres cuerpos del sistema Sol - Tierra - Halley (R , r , Δ) así como su elongación (ψ) y ángulo de fase (β).

El método aplicado para cada fecha y momento es el mismo al seguido para el 10 de abril, el cual ya se expuso detalladamente con anterioridad.

Al igual que se hizo con la representación de la trayectoria entre las constelaciones de estrellas, los datos entre el 9 y el 12 de abril reflejarán también los correspondientes a los momentos de los crepúsculos astronómicos así como para las 12 h del día 10.

Las distancias estarán expresadas en Unidades Astronómicas (U.A.) y los ángulos en grados sexagesimales.

Como información complementaria se indicará además la magnitud visual (m) alcanzada en cada fecha y, dentro de ésta, también la que tenía en cada momento crepuscular.

	R	r	Δ	ψ	β	m
24 - I	0,98784785	0,93801419	1,68601938	28,0921297	29,7296165	4,018935
3 - II	0,99012968	0,79219642	1,70146396	15,4389145	19,4343050	3,470068
13 - II	0,99270664	0,66851698	1,64868949	5,7729726	8,5901576	2,830315
23 - II	0,99549637	0,59273158	1,50816079	13,9510639	23,8878202	2,231888
28 - II	0,99694278	0,5823	1,40136548	20,4159518	36,6717061	2,012644
10 - III	0,99988645	0,62263017	1,12351834	33,4612260	62,3073535	1,758184
20 - III	1,00282491	0,72626798	0,78852687	45,9315196	82,7984935	1,507583
22 - III	1,00340436	0,75183721	0,71756908	48,3788787	86,1023186	1,419278
1 - IV	1,00622341	0,89297411	0,35274985	61,4278931	98,2730662	0,456335
5 - IV	1,00730250	0,95318950	0,20484125	68,9763769	99,4518402	-0,504273
7 - IV	1,00782916	0,98372975	0,13168843	75,7503173	96,7946688	-1,357474
8 - IV	1,00808900	0,9990792	0,09608794	81,8939841	92,642287	-1,989756
9 - IV	1,00834642	1,01447233	0,06273279	93,8325473	82,6300811	-2,864165
c. m.	1,00837519	1,01620403	0,05929780	95,9197709	80,7528498	-2,98070
c. v.	1,00856426	1,02764576	0,04052018	117,082972	60,905158	-3,769856
10 - IV	1,00860135	1,02990270	0,03815041	123,047571	55,1731147	-3,893333
c. m.	1,00862936	1,03160963	0,03680351	127,826537	50,5586945	-3,965809
12 T.U.	1,00872786	1,03763002	0,03568550	143,497180	35,3305731	-4,013211
c. v.	1,00881746	1,04313195	0,03966950	149,323220	29,5650400	-3,765587
11 - IV	1,00885371	1,04536451	0,04239458	148,846712	29,9511217	-3,614123
c. m.	1,00888096	1,04704548	0,04477088	147,819600	30,8754896	-3,490288
c. v.	1,00906804	1,05864520	0,06587882	137,594827	40,0000169	-2,614455
12 - IV	1,00910344	1,06085238	0,07045192	135,927015	41,4253468	-2,461709
c. m.	1,00912993	1,06250658	0,07394734	134,770629	42,3972799	-2,351317
c. v.	1,00931591	1,07418093	0,09971142	128,464924	47,3670637	-1,665425
13 - IV	1,00935046	1,07636135	0,10466556	127,563692	48,0155659	-1,553305
15 - IV	1,00983610	1,10742463	0,17722697	119,307564	52,670542	-0,313916
17- IV	1,01031011	1,13852180	0,25127403	114,725259	53,7103601	0,537383
20 - IV	1,01099813	1,18517173	0,36300397	109,975300	53,2947120	1,471361
28 - IV	1,0126862	1,30911437	0,66052759	100,855332	49,4398337	3,106031
8 - V	1,01446089	1,46209438	1,02736672	91,459917	43,9170070	4,437186

Analizando el cuadro, observamos como la distancia Tierra - Sol (R) va aumentando con el paso de los días, cosa lógica si tenemos en cuenta que la fecha del perihelio solar, o de míni-

ma distancia entre ambos astros, tuvo lugar el 9 de diciembre del año anterior, 836 d.C. cuando se encontraba a una distancia de 0,982846 U.A.

Comentar que en la actualidad el perihelio se produce a principios del mes de enero de cada año, y no siempre en la misma fecha, debido a las perturbaciones gravitacionales producidas por los planetas y la Luna sobre la órbita elíptica de la Tierra. Así, cada año se produce un avance del perigeo de $61''{,}93$ con respecto al equinoccio móvil, como consecuencia de sumar a la precesión general en longitud ($50''{,}29$) el avance real del perigeo, con respecto a un equinoccio fijo entre las estrellas ($11''{,}64$).

Si nos fijamos en la distancia Sol - Halley (r), vemos que la mínima distancia registrada entre ambos, o momento de su perihelio, se produjo el 28 de febrero, como ya reflejé al dar los elementos de la órbita; entonces el cometa se encontró a una distancia del Sol de sólo 0,5823 U.A.

Indicar que en ese momento el Halley se encontraba por encima del plano de la Eclíptica, plano que había atravesado por su nodo ascendente (Ω) el 27 de diciembre del 836, a las 1 h 56 m 38 s T.U., a una distancia de 1,36937348 U.A., y de nuevo lo hizo, pero por su nodo descendente (Ω), el 7 de abril del 837 a las 2 h 5 m 17 s T.U. y a una distancia un poco menor de 0,98505835 U.A.

La mayor elongación, o separación angular entre el cometa y el sol vistos desde la Tierra, se alcanzó entre los días 10 y 11 de abril, fechas en las que el Halley estuvo situado en el espacio al otro lado del Sol, siendo potencialmente observable casi toda la noche en el hemisferio austral, pero no desde las altas latitudes boreales, pues por entonces alcanzaba su mayor declinación negativa en el cielo.

Por esta razón, el día 10 no pudo ser observado desde Aachen pero sí, con dificultad, desde la ciudad de Oviedo.

El ángulo de fase es casi el suplementario de la elongación. Así, cuanto mayor es la elongación entonces menor se hace el ángulo de fase. De esta manera, dejando aparte el mes de febrero, mes en el que el cometa no fue visible dada su proximidad al Sol al acercarse a su fecha de perihelio, los valores menores para el ángulo de fase coincidieron con las mayores elongaciones alcanzadas.

Respecto a su magnitud, aunque el cometa según cuentan los textos fue visible entre el 22 de marzo y el 28 de abril, decir que sus mayores magnitudes negativas en valor absoluto las alcanzó entre los días 9 y 12 de abril, cuando se encontraba más cerca de la Tierra y los ángulos del sistema Sol - Tierra - Halley eran los más adecuados para su observación visual.

j).- **Trayectoria del Halley proyectada sobre la Eclíptica.**

En este apartado se pretende trazar la trayectoria seguida por el Halley, proyectada sobre el plano de la Eclíptica, para cada uno de los días del intervalo de tiempo elegido y a las 0 h de T.U. de cada día. Además de la trayectoria, se va a detallar la posición de los planetas Mercurio, Venus, Tierra y Marte sobre la Eclíptica, correspondiente también al día 10 de abril y para las 0 h T.U.

El sistema seguido consiste en pasar de coordenadas ecuatoriales absolutas (α , δ) a coordenadas eclípticas (L , B). Las coordenadas ecuatoriales del Halley (α' , δ') ya las hemos hallado en el apartado h) en el que se desarrollaba la trayectoria seguida por el cometa entre las constelaciones de estrellas, mientras que las de los planetas (α , δ) y del Sol las hemos obtenido del programa "efeméridesastronómicas.dyndns".

Astro	Mercurio	Venus	Sol	Marte	Júpiter	Saturno
α	26°,084	56°,74875	22°,12566	314°,6931	14°,33404	227,396
δ	11°,10708	25°,44058	9°,34033	-18°,76927	4°,97502	-15°,3966

Las expresiones matemáticas que se van a utilizar son las siguientes:

Para la latitud eclíptica (B) : $\sin B = -\sin \epsilon \cdot \cos \delta \cdot \sin \alpha + \cos \epsilon \cdot \sin \delta$, en la que ϵ es la inclinación de la Eclíptica $\epsilon = 23^\circ,589630$

Para la longitud eclíptica (L) :

$$\cos B \cdot \cos L = \cos \delta \cdot \cos \alpha \dots \text{ y } \dots \cos B \cdot \sin L = \cos \epsilon \cdot \cos \delta \cdot \sin \alpha + \sin \epsilon \cdot \sin \delta$$

Sabiendo los signos del seno y coseno de L , encontramos el valor correcto de L.

Estas expresiones nos dan las coordenadas eclípticas geocéntricas de los cuerpos celestes a representar, pero lo que buscamos son sus coordenadas eclípticas heliocéntricas y sus respectivas distancias al Sol.

Los pasos a dar para lograrlo son los siguientes:

1º- Hallar las coordenadas eclípticas geocéntricas del Sol, los planetas y el Halley. Sabiendo las coordenadas del Sol, conocemos indirectamente las de la Tierra, pues su longitud eclíptica es igual a la del Sol más 180º y sus latitudes son opuestas, aunque ambas se aproximan al valor 0º.

2º- Hallar las coordenadas rectangulares eclípticas geocéntricas (X,Y,Z) para cada cuerpo celeste y, si procede, del día del intervalo temporal para el cometa.

3º- Conocidas dichas coordenadas rectangulares geocéntricas, al trabajar en el mismo plano, el de la Eclíptica, se pueden hallar sus correspondientes coordenadas rectangulares heliocéntricas (X',Y',Z') restando a las componentes de los vectores de posición de cada planeta o del Halley las respectivas del Sol.

4º- Calcular las latitudes y longitudes eclípticas heliocéntricas, a partir de sus coordenadas rectangulares y de sus distancias heliocéntricas.

Como ejemplo de aplicación se van a realizar los cálculos detallados de los pasos anteriormente mencionados sobre la misma fecha, el 10 de abril, que nos ha servido hasta ahora para el desarrollo didáctico.

j.1- Coordenadas eclípticas geocéntricas (B , L) Sol.

$\sin B = -\sin \epsilon \cdot \cos \delta \cdot \sin \alpha + \cos \epsilon \cdot \sin \delta$, en la que $\epsilon \dots \dots$ sustituyendo valores

$$\sin B = -\sin 23^\circ,58963 \cdot \cos 9^\circ,34033 \cdot \sin 22^\circ,12566 + \cos 23^\circ,58963 \cdot \sin 9^\circ,34033 = 9,67 \cdot 10^{-6} \dots \dots \text{ entonces } \dots \dots \text{ arcoseno de } B = 0^\circ,000554$$

$\cos B \cdot \cos L = \cos \delta \cdot \cos \alpha \dots$ despejando $\cos L = (\cos \delta \cdot \cos \alpha) / \cos B \dots$ sustituyendo valores... $\cos L = 0,914078 \dots$ Hallando su arcocoseno... $L = 23^\circ,924863$

$\cos B \cdot \sin L = \cos \epsilon \cdot \cos \delta \cdot \sin \alpha + \sin \epsilon \cdot \sin \delta \dots$ y despejando $\sin L$ queda.....

$$\sin L = (\cos \epsilon \cdot \cos \delta \cdot \sin \alpha + \sin \epsilon \cdot \sin \delta) / \cos B \dots \text{ sustituyendo } \dots \sin L = 0,4055382$$

Como el coseno de L es + y el seno de L es también positivo, L está en el primer cuadrante, por lo que el valor correcto es $L = 23^\circ,924863$

Por tanto las coordenadas eclípticas geocéntricas del Sol son:

Latitud eclíptica..... $B = 0^\circ,000554$ y longitud eclíptica $L = 23^\circ,924863$

Halley.

En el apartado h del punto III, se habían calculado las coordenadas ecuatoriales del cometa, las cuales eran : $\alpha' = 252^{\circ},758730$ y $\delta' = -46^{\circ},968550$

Llevando a cabo los mismos cálculos que los realizados antes para el Sol, obtenemos que las coordenadas eclípticas geocéntricas del Halley el 10 de abril a las 0h de T.U. eran :

Latitud eclíptica..... $B = -24^{\circ},147132$ y longitud eclíptica $L = 257^{\circ},193688$

Venus.

Se ha elegido de forma arbitraria el planeta Venus para realizar los cálculos correspondientes, cuyas coordenadas ecuatoriales en ese momento eran: $\alpha = 56^{\circ},74875$ y $\delta = 25^{\circ},44058$
Realizados los mismos cálculos que los llevados a cabo para el Halley y el Sol, obtenemos que sus coordenadas eclípticas geocéntricas eran :

Latitud eclíptica..... $B = 5^{\circ},247978$ y longitud eclíptica $L = 60^{\circ},183311$

j.2 - Coordenadas geocéntricas eclípticas rectangulares (X, Y, Z).

Para poder calcular las coordenadas rectangulares se necesitan saber también las distancias geocéntricas de los distintos cuerpos celestes. Las distancias del Sol y del Halley ya se habían hallado y se encuentran recogidas en el cuadro del apartado i, del punto III. Las correspondientes a los planetas las hemos sacado del programa: "efemérides astronómicas.dyndns".

Sol.

La distancia de la Tierra al Sol era igual a... $R = 1,00860135$ U.A. Conocida la distancia, sus coordenadas rectangulares geocéntricas se hallan mediante las siguientes expresiones :

$X = R \cdot \cos B \cdot \cos L$ sustituyendo valores..... $X = 1,00860135 \cdot \cos 0^{\circ},000554 \cdot \cos 23^{\circ},924863 = 0,921940368$ U.A.

$Y = R \cdot \cos B \cdot \sin L$ sustituyendo valores $Y = 1,00860135 \cdot \cos 0^{\circ},000554 \cdot \sin 23^{\circ},924863 = 0,409026468$ U.A.

$Z = R \cdot \sin B$ sustituyendo valores.... $Z = 1,00860135 \cdot \sin 0^{\circ},000554 = 9,76 \cdot 10^{-6}$ U.A.

Halley.

La distancia de la Tierra al Halley era igual ... $r = 1,02990270$ U.A. Realizados los cálculos correspondientes al cometa obtenemos las siguientes coordenadas rectangulares :

$X = -0,007716326$ U.A. $Y = -0,033946224$ U.A. $Z = -0,01560662$ U.A.

Venus.

La distancia geocéntrica de la Tierra a Venus era igual a $d = 0,411045$ U.A. Realizados los cálculos correspondientes obtenemos las siguientes coordenadas rectangulares:

$X = 0,203525806$ U.A. $Y = 0,355136193$ U.A. $Z = 0,037596842$ U.A.

j.3 - Coordenadas rectangulares eclípticas heliocéntricas (X', Y', Z')

En el dibujo de abajo se puede visualizar como conocidas las componentes rectangulares eclípticas geocéntricas del Sol, del Halley y del resto de planetas visibles del Sistema Solar, se pueden hallar sus coordenadas heliocéntricas restando las respectivas componentes de los vectores de posición.

Halley.

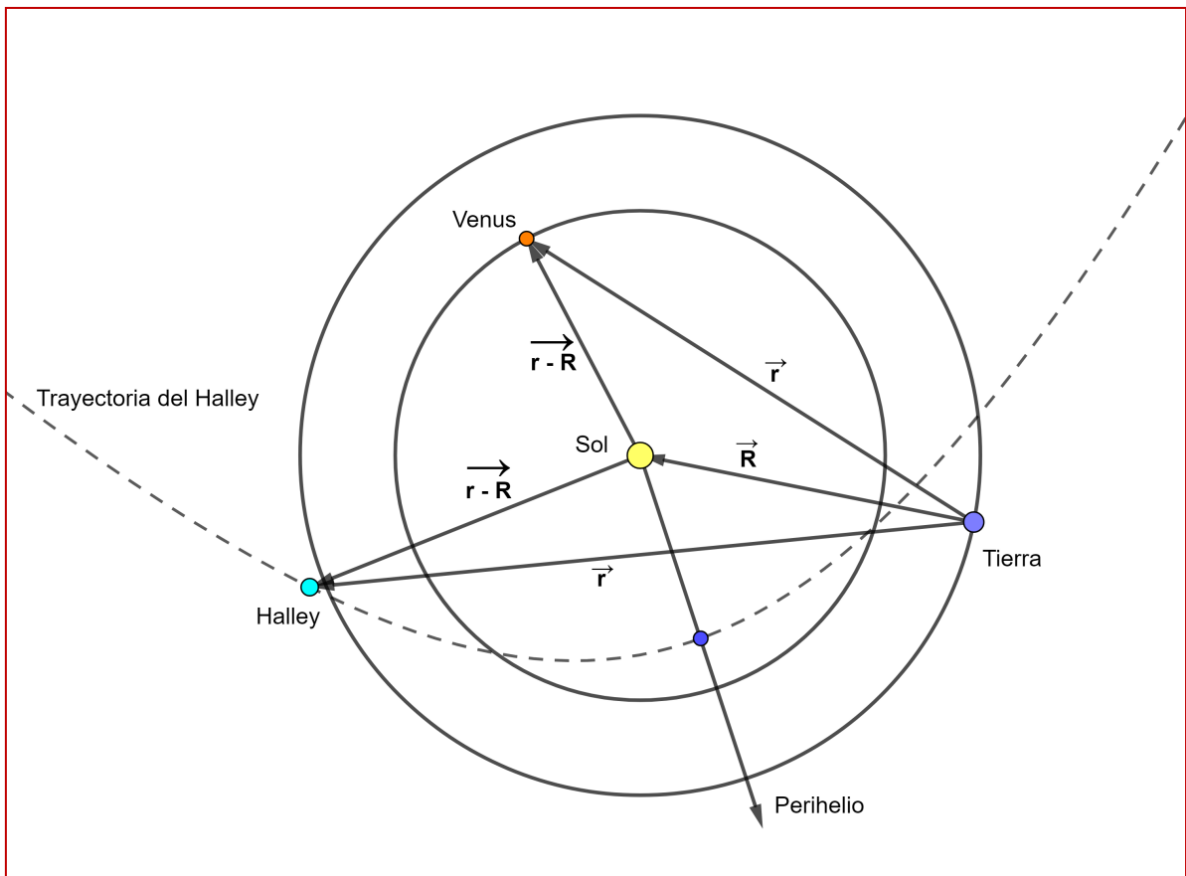
$X' = -0,007716326 - 0,921940368 = -0,929656694$ U.A.

$Y' = -0,033946224 - 0,409026468 = -0,442972692$ U.A.

$Z' = -0,01560662 - 9,76 \cdot 10^{-6} = -0,015616381$ U.A.

La distancia heliocéntrica del cometa se halla mediante la expresión :

$$r = |\mathbf{r} - \mathbf{R}| = \sqrt{X'^2 + Y'^2 + Z'^2} = 1,029917592 \text{ U.A.}$$



Venus.

$$X' = 0,203525806 - 0,921940368 = -0,718414563 \text{ U.A.}$$

$$Y' = 0,355136193 - 0,409026468 = -0,053890274 \text{ U.A.}$$

$$Z' = 0,037596842 - 9,76 \cdot 10^{-6} = 0,037587081 \text{ U.A.}$$

La distancia heliocéntrica de Venus es igual a:

$$r = |\mathbf{r} - \mathbf{R}| = \sqrt{X'^2 + Y'^2 + Z'^2} = 0,720432957 \text{ U.A.}$$

A continuación, en el cuadro de abajo, se van a recoger los resultados obtenidos para el resto de planetas, junto con sus distancias en el espacio (r) y sus correspondientes proyecciones sobre el plano de la Eclíptica $d = (X'^2 + Y'^2)$.

Planeta	X'	Y'	Z'	r	d
Mercurio	0,22942347	0,20823463	0,00506563	0,30987490	0,30983349
Venus	-0,71841456	-0,05389027	0,03758708	0,72141280	0,72043295
Marte	-0,02044040	-1,41840713	-0,03455156	1,41897512	1,41855440
Júpiter	4,83104484	1,14503549	-0,11461012	4,96620942	4,96488676
Saturno	-6,87176893	-7,30652242	0,37075928	10,0371281	10,0302780

j.4 - Coordenadas eclípticas heliocéntricas.

Las coordenadas eclípticas heliocéntricas se pueden hallar mediante las siguientes expresiones:

Para la longitud eclíptica (L)

Halley.

Tang L = Y' / X' sustituyendo valores ... Tang L = - 0,442972692 / - 0,929656694 = 0,47649061 y hallando su arco tangente..... L = 25°,477361 o L = 205°,477361

Como el seno de L es negativo y el coseno también, entonces L está en el tercer cuadrante y por consiguiente tomamos el segundo valor L = 205°,477361 = 13 h 41 m 54 s

Para la Latitud eclíptica (B)

sen B = Z' / r = - 0,015616381 / 1,029917592 = - 0.01516274 y hallando su arcoseno..... B = 0°,8687947

Venus.

Realizados los correspondientes cálculos obtuvimos los resultados siguientes :

Longitud eclíptica, L = 184°,2898815 y Latitud eclíptica, B = 2°,986579451

Tierra.

Para saber las coordenadas eclípticas heliocéntricas de la Tierra nos fijamos en las eclípticas geocéntricas del Sol, calculadas en el apartado j.1 y que eran :

Latitud eclíptica..... B = 0°,000554 y longitud eclíptica L = 23°,924863

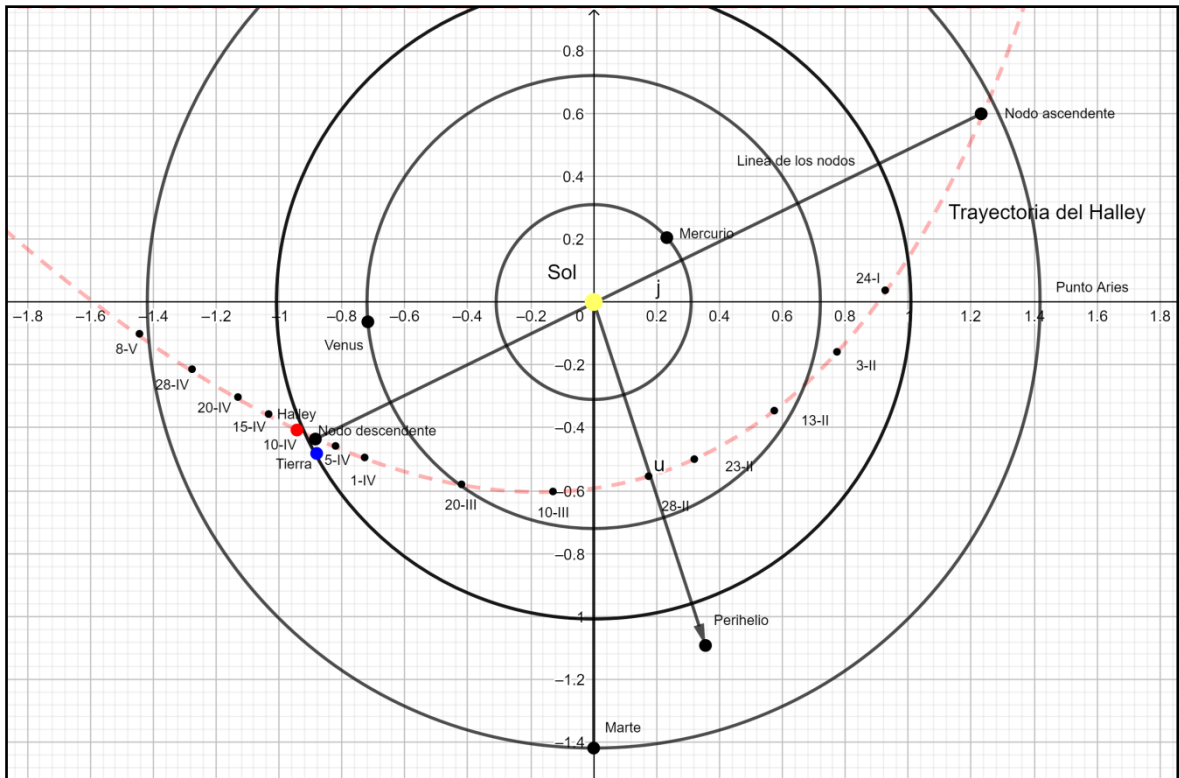
Como la Tierra se encuentra en el plano de la eclíptica, al otro lado del Sol, es decir separada 180° de él, su latitud es la opuesta, B = - 0°,000554, entonces la longitud de la Tierra será igual a L = 23°,924863 + 180° = 203°,924863 = 13 h 35 m 42 s.

Como se puede apreciar , las coordenadas eclípticas heliocéntricas del Halley y de la Tierra eran muy parecidas, lo cual nos indica que se encontraban muy próximos entre sí en el espacio y consecuentemente también sobre el plano de referencia eclíptico.

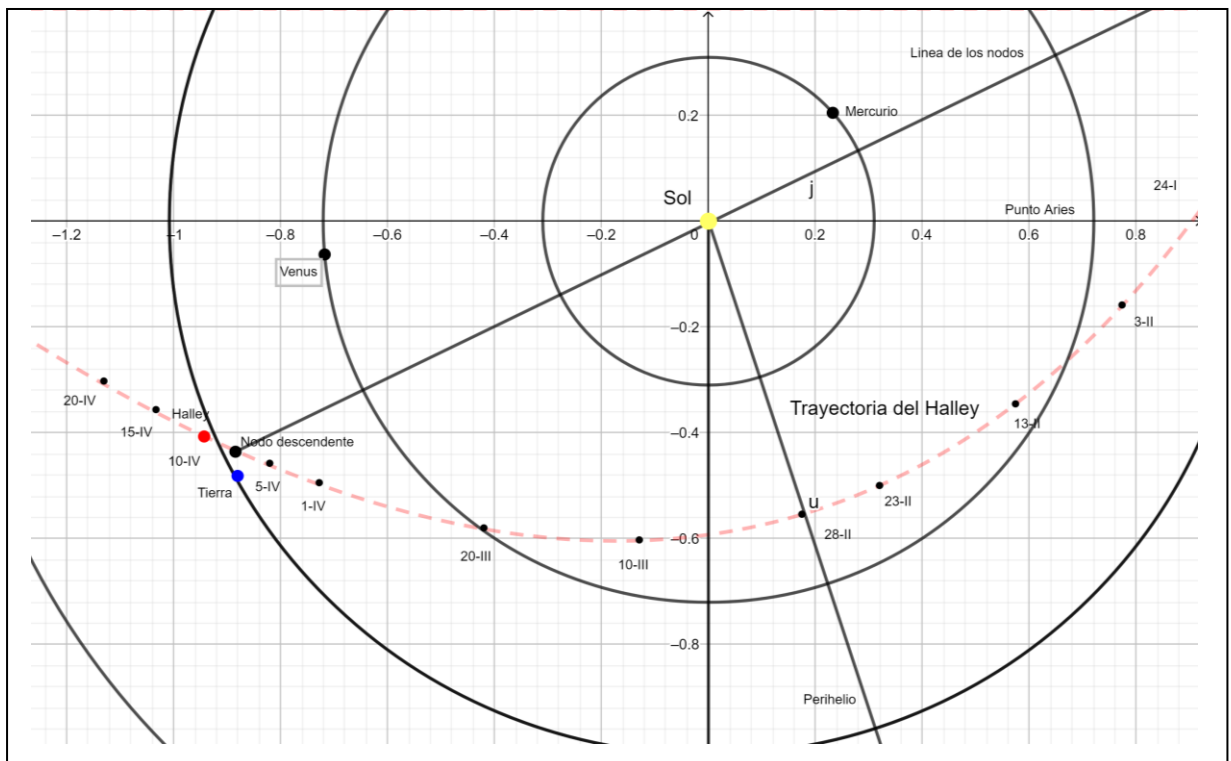
En el cuadro siguiente se ven las coordenadas eclípticas heliocéntricas de todos los cuerpos celestes, siendo representados después en los gráficos que se adjuntan.

Astro	Mercurio	Venus	Tierra	Marte	Júpiter	Saturno	Halley
L°	42,2282	184,2898	203,9248	269,1743	13,3339	226,7563	205,4773
B°	0,93667	2,98657	- 0,0005	-1,3952	-1,3223	2,1169	- 0,8687

En la siguiente figura se pueden ver las posiciones de los planetas Mercurio, Venus , Tierra y Marte, junto con la trayectoria seguida por el Halley y su posición el día 10 de abril del año 837 d.C. a las 0 h de T.U.



Abajo se ve la misma gráfica mostrada anteriormente, pero con un mayor detalle.



En ninguna de las dos gráficas se han mostrado las posiciones de Júpiter y Saturno porque sus distancias heliocéntricas son mayores y esto haría que las órbitas de los planetas interio-

res y de la Tierra estuvieran demasiado próximas, repercutiendo negativamente en la claridad de los gráficos.

IV.- La observación del cometa Halley.

En este punto se va a tratar sobre cómo pudo ser la visión del Halley, cruzando día tras día el cielo, por parte de algunos observadores reales en las distintas partes del mundo, observándolo desde sus respectivos palacios.

Como ya comenté en la introducción, el motivo de este trabajo surgió de la lectura de un texto escrito, dejado por un autor no muy bien conocido, funcionario en la corte de Luis el Piadoso y apodado " el Astrónomo ", por sus comentarios más o menos detallados sobre algunos fenómenos celestes presentes en su obra " Vita Hludovici Imperatoris ", entre ellos el paso del Halley del año 837. Esta obra fue escrita un poco después de la muerte del emperador, sucedida en el año 840 y por tanto posterior al paso del Halley. En esta obra nos relata la aparición de un cometa en dicho año así como la honda impresión que su visión causó en la persona del rey.

Es de suponer que las características tan especiales que rodearon este evento celeste no pasaran desapercibidas en ninguna parte del globo terrestre desde donde el cometa fue visible. Esta suposición se ve reforzada por la existencia de los distintos registros escritos del suceso que quedaron en las crónicas astronómicas elaboradas por otros astrónomos reales en otras cortes, como pudieron ser la japonesa y la china; o las referencias implícitas de su paso, como puede ser una poesía de un poeta que vivió en la corte del califato abasida en la ciudad de Bagdad.

Teniendo todo esto en cuenta, a continuación se abordará la cuestión de la visibilidad del cometa sobre el horizonte local en dos de las principales cortes cristianas de la época, como fueron la carolingia, en la ciudad de Aquisgrán (Aachen en alemán), y la del reino asturiano, con capital en la ciudad de Oviedo. Para cada una de ellas se dibujará su horizonte local, representando sobre el mismo el acimut en abscisas y la altura en ordenadas, colocando posteriormente sobre él las posiciones del Halley a las 0 h de T.U. y en los crepúsculos matutinos y vespertinos.

Con esto también se pretende hacer una comparativa de cómo pudieron variar sus coordenadas horizontales cuando era observado desde dos puntos con distintas latitudes geográficas. Con objeto de encuadrar este fenómeno celeste dentro del contexto histórico de ambos reinos se hará un relato biográfico de sus respectivos reyes - Luis el Piadoso y Alfonso II el Casto -, abordándose los principales sucesos históricos acontecidos durante sus reinados. Ya que en el caso del primer rey el suceso quedó reflejado por escrito, se aportará el texto que lo recoge, mientras que para el segundo monarca ninguna de las crónicas de la época hace mención del mismo, por lo que no existe ningún registro conocido.

Respecto al resto de los supuestos protagonistas reales, se esbozará una pequeña reseña de sus reinados, junto con las referencias que quedaron del suceso, si las hubiera.

Como es lógico pensar, fueron las altas culturas del Hemisferio Norte las que se encontraban en ese tiempo en un estadio evolutivo avanzado que les permitió observar, anotar y registrar por escrito la trayectoria del Halley. Esto no implica que en otros espacios geográficos no vieran también su paso por el cielo, dejándolo reflejado en sus leyendas y representaciones artísticas. Me estoy refiriendo particularmente al continente americano, desconocido por entonces, pero con altas culturas, tanto en Mesoamérica como en el Altiplano Andino.

a).- **Luis I el Piadoso (778 - 840)** .

Fue el tercer hijo de Carlomagno e Hildegarda, siendo el único hijo que sobrevivió, ya que su hermano Pipino murió en el 810 y su otro hermano, Carlos, en el 811. Antes de ceñirse la corona imperial en el 813, como coemperador, con su padre Carlos, desempeñó una función real en la región de Aquitania desde el año 781, con sólo trece años de edad. Al morir su progenitor en el 814, heredó el trono carolingio y el Imperio.

Fue coronado emperador en la ciudad de Reims por el Papa Esteban IV, al igual que León III coronó en Roma a su padre, ligando de esta manera al Papado con la monarquía franca y de paso, supeditando el poder temporal al espiritual de la Iglesia.

Con su primera mujer, Ermengarda de Hessebaye, tuvo tres hijos, Lotario I, Pipino I y Luis el Germánico. Con su segunda, Judith de Baviera, (hija de un conde de la Germania meridional) tuvo a Carlos el Calvo.



Se casó con ella en el 818, después de la muerte de Ermengarda, habiendo sido elegida por Luis entre todas las jóvenes de la aristocracia que le habían sido presentadas dada su gran belleza. Los intentos y presiones de Judith por favorecer la causa de su hijo Carlos ante los otros hijos de Luis en el reparto del Imperio, fue fuente de numerosas guerras civiles entre ellos.

Con la intención de ahondar más en su carácter y personalidad, se hace necesario realizar una breve descripción de él.

Luis era ancho de hombros como su padre Carlomagno, de larga nariz, pequeño de estatura, manos largas y piernas débiles, con grandes pies.

De naturaleza supersticiosa, los terremotos, ruidos nocturnos, relámpagos de las tormentas, meteoros y epidemias le impresionaban mucho, como si fueran provocados por fuerzas sobrenaturales y desconocidas.

Luis no reía jamás y despreciaba las canciones populares. Su carácter piadoso y puritano hizo que, al llegar al trono expulsara de la Corte a sus hermanos y encarcelara a los hijos ilegítimos de su padre Carlomagno. Esta manera de ser le granjeó muchos enemigos entre los nobles, apartándolos de su lado y de la capital imperial, Aquisgrán, siendo sustituidos por clérigos que eran muy estrictos y rigurosos.

Como buen rey carolingio, y siguiendo la tradición instaurada por su padre Carlomagno, siendo Luis ya emperador, en el 817, repartió el territorio imperial entre sus tres hijos, mediante la promulgación de una Constitución Unitaria, la *Ordenatio Imperii*, por la que se nombraba heredero del imperio y rey principal a su hijo mayor Lotario, mientras que a Pipino le daba Aquitania y a Luis, el menor de los tres, le nombró rey de Baviera; estando considerados ambos reinos subsidiarios de Lotario, al igual que lo era también el de su sobrino Bernardo I, al

que nombró rey de Italia, pero su rebelión en el 818 contra su tío le llevó a la muerte, suceso que le atormentaría el resto de su vida.

Años más tarde, el nacimiento de Carlos el Calvo en el 823 lo cambió todo. A partir de entonces las guerras civiles fueron una constante en su reinado, originadas por las sucesivas nuevas reparticiones del territorio imperial entre sus herederos. Durante los años 833 y 834 fue depuesto del trono, llevando a cabo una nueva Penitencia pública - la primera había sido en el 822 - , comprometiéndose ante la corte a vivir como penitente el resto de sus días, compromiso que no llegó a cumplir, pues fue nuevamente reconocido en el trono como emperador en el 835.

Su muerte, ocurrida en el 840, dio lugar a nuevos enfrentamientos entre sus hijos, enfrentamientos que acabaron momentáneamente con el Tratado de Verdún (843) con una nueva repartición del territorio entre ellos, tratado que no se detalla aquí por haber sido comentado ya en el punto II del presente trabajo.

a. 1 - **El texto**

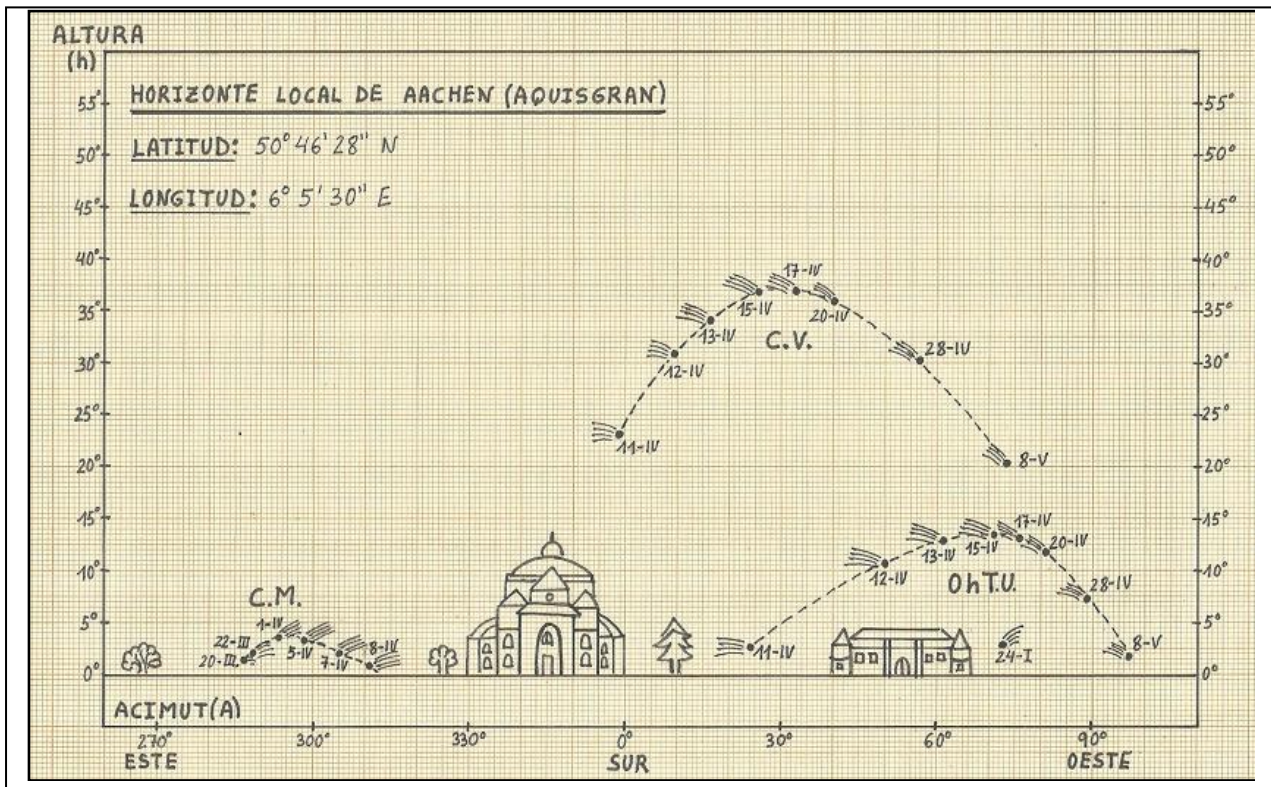
" En mitad de la celebración de la Semana Santa un nefasto y lamentable augurio, un cometa, apareció en el signo de Virgo, en esa parte del signo donde ellas (las estrellas) atan su manto bajo la cola de la Serpiente igual que el Cuervo. No buscaba moverse hacia el este a la manera de las siete estrellas errantes, sino que durante veinticinco días - es sorprendente decirlo- cruzó a través de los signos de esa misma estrella, Virgo y luego Leo y Cáncer y después Géminis hasta que finalmente consumió su ardiente masa y abundante brillantez, la cual suele extenderse por todos los sitios, en la cabeza de Tauro y bajo el pie del Auriga. El emperador, quien al principio era un entusiasta de estas cosas, cuando vio que el cometa había desaparecido, estaba ansioso, y llamó a cierta persona antes de ir a la cama para preguntarle, concretamente a mí, el que está escribiendo esto, y quien piensa que tiene conocimiento de estas cosas, qué me parecía.

Yo pedí tiempo para que pudiera examinar la apariencia de la estrella hasta analizar la verdad de este suceso. Yo respondí si podía anunciar al día siguiente lo que había descubierto. El emperador pensaba, y era cierto, que yo estaba intentando ganar un poco de tiempo para que no tuviera que informar sobre algo triste. Sal al balcón de al lado de esta sala y verás lo que parece nuevo para nosotros (dijo). Por lo que sabía, no había visto la estrella la última tarde y no podía declarar nada sobre ello, pero sabía que se trataba del cometa sobre el que habíamos hablado los pasados días. ¡ Salgamos entonces ! ¿Qué es para ti lo que presagia? Yo dije algo y después estuve callado. Hay una cosa - dijo- que tú has pasado por alto en silencio. Se dice que esta señal significa un gran cambio en el reino y la muerte de un príncipe."

El texto continua contando cómo el emperador no tenía miedo de las señales que aparecían en los cielos, sino de las que proceden de los otros reinos. Dicho esto permaneció esa noche observando el cielo y en oración. Después ordenó a sus sirvientes practicar también la oración y la limosna con los pobres.

a. 2 - El horizonte local de Aquisgrán.

En el dibujo de abajo se representa, de una forma sencilla, cómo debió de ser visto el cometa Halley desde Aquisgrán, la capital de los carolingios, sobre un horizonte ideal de la ciudad.



En el gráfico se pueden leer la altura y el acimut que tuvo el cometa cada uno de los días en los que fue visto, detallando también su posición para los momentos crepusculares matutino y vespertino, así como para la medianoche local. El Halley fue visible sólo por la mañana entre los días 20 de marzo y el 8 de abril, aunque su altura sobre el horizonte fuera muy baja y su tiempo de visibilidad no durara demasiado, por la llegada inmediata del día.

Cuando se dieron las condiciones más adecuadas para su observación fue entre los días 11 de abril y el 8 de mayo, aunque en esta última fecha su magnitud visual era ya demasiado pequeña para poder ser visto a simple vista. Por otro lado, el texto chino nos informa que fue visible entre el 22 de marzo y el 28 de abril, mientras que el carolingio recoge que se pudo ver durante veinticinco días, presumiblemente durante todo el mes de abril, siendo óptimas sus condiciones durante la segunda decena del mes, a medida que la Luna fue avanzando de fase, desde Nueva (9 de abril) hasta Llena (24 de abril).

Hay que volver a recordar el desfase entre las fechas del calendario gregoriano, que se están manejando aquí y las correspondientes al juliano, que son las que recoge el texto medieval carolingio, de tal manera que el 11 de abril gregoriano y astronómico era en la corte imperial el 7 de abril.

También es necesario decir que el 11 de abril tuvo su crepúsculo matutino a las 3 h de tiempo local y su correspondiente vespertino del día anterior ocurrió a las 20 h 58 m, siendo por tanto las horas de noche aproximadamente de unas 6 horas. Para el 28 de abril las horas correspondientes a la noche habían bajado ya hasta sólo 4 horas y 43 minutos.

Como se puede apreciar en los dibujos esquemáticos del cometa, durante las mañanas su cola apuntaba en dirección opuesta al sol, que tenía su orto por el sureste del horizonte local y por las tardes apuntaba en la otra dirección - también opuesta al Sol-, al igual que lo debería hacer a la medianoche local cuando el Sol se encontraba por debajo del horizonte, en su punto cardinal norte.

a.3 - **Cálculo de las coordenadas horizontales (h , A)**.

Para poder representar en un gráfico del horizonte local de Aquisgrán las posiciones diarias del Halley en el cielo se necesitan conocer antes sus coordenadas horizontales en ese día y/o momento del día. Como estas coordenadas están referenciadas respecto a un lugar determinado, ya que un mismo cielo nocturno es visto de diferente forma desde dos lugares con distintas coordenadas geográficas, lo primero es saber la longitud y latitud geográfica del lugar donde está el observador. En nuestro caso, para la ciudad de Aquisgrán estas coordenadas son:

Latitud (φ) : $50^{\circ},774444 \text{ N} = 50^{\circ} 46' 28'' \text{ N}$

Longitud (λ) : $6^{\circ},091666 \text{ E} = 6^{\circ} 5' 30''$

Sabiendo que a 15° de rotación terrestre le corresponde 1 hora, entonces esa longitud, expresada en tiempo, es igual a 24 m 22 s, tiempo que hay que sumar al T.U. para poder conocer su correspondiente hora local, ya que la localidad se encuentra al este de Greenwich.

Cuando se conocen las coordenadas ecuatoriales horarias - ángulo horario (H) y declinación (δ) del objeto celeste - entonces las expresiones para pasar de estas coordenadas ecuatoriales a las horizontales son:

$$\cos h \cdot \cos A = \sin \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos H - \cos \varphi \cdot \sin \delta \quad (1)$$

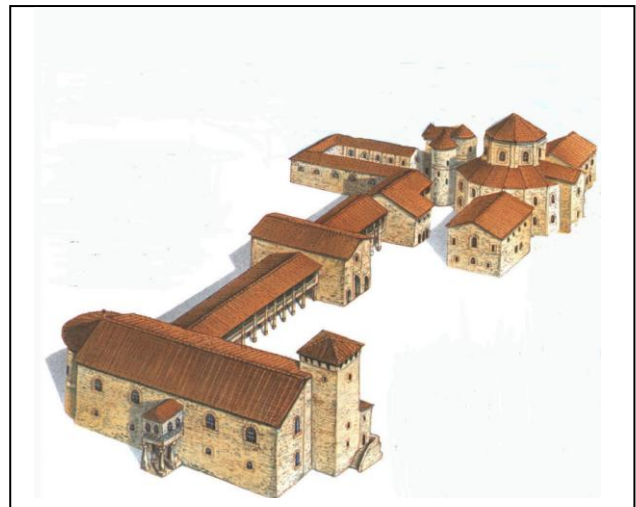
$$\cos h \cdot \sin A = \cos \delta \cdot \sin H \quad (2)$$

$$\sin h = \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos H + \sin \varphi \cdot \sin \delta \quad (3)$$

Aunque los cálculos se han realizado para cada día del intervalo de tiempo elegido y sus correspondientes momentos crepusculares, al igual que se ha hecho para el análisis de otros aspectos de estudio del cometa, también en esta ocasión se presentarán sólo los momentos crepusculares en los días de mayor movimiento del Halley, entre el 9 y el 12 de abril.

Como ejemplo de aplicación se ha elegido el día 11 de abril, día en el que el cometa se pudo ver por la tarde y la noche, por primera vez. Se realizarán los cálculos para las 0 h T.U. (0 h 24 m 22 s de tiempo local) y para el crepúsculo matutino y el vespertino.

Para cada momento se necesitará conocer el ángulo horario (H), la declinación (δ) y la ascensión recta (α) del Halley, además de las horas locales crepusculares.



Palacio carolingio en Aquisgrán (S. IX)

0 h T.U.	crepúsculo matutino (c.m.)	crepúsculo vespertino (c.v.)
$\alpha = 180^{\circ},346990$	$\alpha = 176^{\circ},358965$	$\alpha = 160^{\circ},662652$
$\delta = - 32^{\circ},794787$	$\delta = - 30^{\circ},061772$	$\delta = - 16^{\circ},524681$

Como para calcular las horas crepusculares, con el Sol 18° debajo del horizonte, se necesitan conocer, además de la latitud del lugar (φ), las coordenadas ecuatoriales (α , δ) solares en esos momentos, unas coordenadas solares que habían sido halladas anteriormente.

0 h T.U.	crepúsculo matutino (c.m.)	crepúsculo vespertino (c.v.)
$\alpha = 23^\circ,009272$	$\alpha = 23^\circ,108466$	$\alpha = 23^\circ,792984$
$\delta = 9^\circ,686301$	$\delta = 9^\circ,725023$	$\delta = 9^\circ,991205$

Para saber cuándo se producía cada uno de los crepúsculos astronómicos hacemos uso de la siguiente expresión:

$$\cos H = (\sin h - \sin \varphi \cdot \sin \delta) / (\cos \varphi \cdot \cos \delta), \text{ donde } h = -18^\circ$$

Sustituyendo los valores de h y φ y los correspondientes a la δ solar en cada crepúsculo, obtenemos el valor del ángulo horario del Sol en ese momento.

crepúsculo matutino (c.m.) :

$H = 225^\circ,111245$ y dividiendo entre $15^\circ/\text{hora}$ da..... $H = 225^\circ,111245 / 15^\circ = 15 \text{ h } 0 \text{ m } 26 \text{ s}$, a contar desde el punto sur, pero como el día civil comienza 12 h después del mediodía, la hora local queda igual a $15 \text{ h } 0 \text{ m } 26 \text{ s} - 12 \text{ h} = \underline{3 \text{ h } 0 \text{ m } 26 \text{ s}}$

crepúsculo vespertino (c.v.) :

$H = 135^\circ,397192$ (dividiendo entre 15°) $H = 9 \text{ h } 1 \text{ m } 35 \text{ s}$ a añadir a las 12 h del mediodía solar, entonces queda..... $H = 9 \text{ h } 1 \text{ m } 35 \text{ s} + 12 \text{ h} = \underline{21 \text{ h } 1 \text{ m } 35 \text{ s}}$

Como ya tengo las horas crepusculares, paso ahora a calcular las coordenadas del cometa para cada momento del día.

- A las 0 h de T.U.

Se necesita saber el ángulo horario (H) que tenía el Halley a esa hora, (las 0 h 24 m 22 s de tiempo local). Como conocemos cuál era su ascensión recta (α) en ese momento, voy a servirme de la expresión que relaciona el tiempo sidéreo (θ) con el ángulo horario y la ascensión recta : $\theta = \alpha + H$ (4)

¿ Cuál era el tiempo sidéreo local a las 0 h de T.U. ?

Nuevamente el programa "Efemeridesastronomicas.dyndns.org" nos da ese tiempo sidéreo, para ese día y esa hora de T.U., a saber : $\theta = 209^\circ,270666$

Llevando este valor y el de la ascensión recta del Halley a la anterior expresión tenemos :

$$H = \theta - \alpha = 209^\circ,270666 - 180^\circ,346990 = 28^\circ,923676$$

Ahora ya se puede hacer uso de las fórmulas (1), (2) y (3) de este apartado.

De la (3) obtenemos la altura.

$$\sin h = \cos 50^\circ,774444 \cdot \cos -32^\circ,794787 \cdot \cos 28^\circ,923676 + \sin 50^\circ,774444 \cdot \sin -32^\circ,794787 = 0.0456952 \text{ y arcoseno de } h = 2^\circ,619058$$

De la (2) sacamos el seno del acimut.

$$\sin A = (\cos \delta \cdot \sin H) / \cos h = (\cos -32^\circ,794787 \cdot \sin 28^\circ,923676) / \cos 2^\circ,619058 = 0,406984$$

De la (1) el coseno del acimut.

$$\cos A = (\sin \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos H - \cos \varphi \cdot \sin \delta) / \cos h = (\sin 50^\circ,774444 \cdot \cos - 32^\circ,794787 \cdot \cos 28^\circ,923676 - \cos 50^\circ,774444 \cdot \sin - 32^\circ,794787) / \cos 2^\circ,619058 = 0,913435$$

Como el seno de A es + y el coseno de A es +, entonces A está en el primer cuadrante y hallando el arcoseno o el arccoseno de A tenemos que $A = 24^\circ,015517$

Por consiguiente, ya sabemos las coordenadas horizontales del Halley en la localidad de Aquisgrán a las 0 h T.U. del 11 de abril : $h = 2^\circ,619058$ y $A = 24^\circ,015517$

- Crepúsculo matutino.

Se necesita saber cuál era la hora sidérea local (θ) de este momento del día. Como conocemos tanto el ángulo horario (H) como la ascensión recta (α) del Sol en ese instante, podemos usar la fórmula (4) para calcularlo.

$$\theta = \alpha + H \dots \text{ entonces } \dots \theta = 23^\circ,108466 + 225^\circ,111245 = 248^\circ,219711$$

Este tiempo sidéreo nos sirve para calcular el ángulo horario (H) del Halley, ya que sabemos también su ascensión recta (α) en ese instante.

$$H = \theta - \alpha = 248^\circ,219711 - 176^\circ,358965 = 71^\circ,860746$$

Las expresiones (1), (2) y (3) nos permitirán saber cuáles eran la altura (h) y el acimut (A) del cometa en ese instante.

Realizando unos cálculos similares a los hechos para las 0 h T.U. obtenemos :

$$\sin h = -0,217661 \text{ y su arcoseno} \dots \dots h = -12^\circ,571698$$

Como la altura es negativa, concluimos que no era visible en ese momento. Hallamos no obstante su acimut.

$\sin A = 0,842677$ y $\cos A = 0,538419 \dots \dots$ por tanto A está en el primer cuadrante...y hallando sus arcoseno o arccoseno tenemos que $A = 57^\circ,423913$

Concluimos pues que sus coordenadas horizontales en el crepúsculo matutino eran igual a : $h = -12^\circ,576918$ y $A = 57^\circ,423913$

- Crepúsculo vespertino

Siguiendo los mismos pasos dados para el matutino y con objeto de no extendernos más en describir los cálculos a realizar, recojo sólo los resultados obtenidos:

$$\text{Tiempo sidéreo (} \theta \text{)} = 159^\circ,190176$$

$$\text{Ángulo horario del Halley (H)} = 358^\circ,527524$$

$$\text{Altura (h)} = 22^\circ,688442$$

$\sin A = -0,026701$ y $\cos A = 0,999643 \dots \dots$ entonces A está en el cuarto cuadrante ..
 $A = 358^\circ,469925$

Las coordenadas en el crepúsculo vespertino eran: $h = 22^\circ,688442$ y $A = 358^\circ,469925$

Si volvemos al dibujo del horizonte local de la capital carolingia y miramos las coordenadas horizontales para ese día vemos que se encuentran bien representadas en él.

En la siguiente tabla se recogen las coordenadas horizontales del cometa, junto con las horas en las que empezaba el crepúsculo matutino o finalizaba el vespertino.

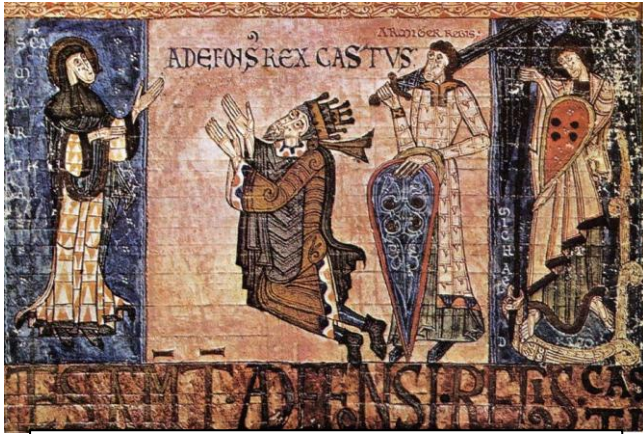
Si se desea conocer el número de horas de noche correspondiente a cada fecha del intervalo temporal de estudio elegido, entonces hay que hallar la diferencia en tiempo, entre el crepúsculo matutino de un día dado y el momento del vespertino del día anterior.

Día	0 h T.U.		Crepúsculo matutino			Crepúsculo vespertino		
	h°	A°	h°	A°	Hora	h°	A°	Hora
24-I	- 40,94	148,14	-24,37	247,78	5h,34m,6s	6,74	72,09	18h,25m,37s
3-II	- 44,34	165,29	-18,57	256,23	5h,20m,10s	-3,77	85,15	18h,40m,39s
13-II	- 45,40	184,01	-13,04	263,84	5h,4m,10s	-14,89	98,46	18h,56m,48s
23-II	- 43,87	203,08	-7,87	271,05	4h,46m,22s	-26,11	113,07	19h,14m,45s
28-II	- 42,19	212,14	-5,51	274,51	4h,36m,51s	-31,45	121,20	19h,24m,20s
10-III	- 37,51	228,36	-1,45	280,86	4h,16m,59s	-40,72	139,70	19h,44m,42s
20-III	- 31,88	241,94	1,55	286,35	3h,54m,49s	-47,08	161,73	20h,6m,42s
22-III	- 30,72	244,44	2,03	287,40	3h,50m,15s	-47,95	166,59	20h,11m,18s
1-IV	- 24,99	257,45	3,61	293,59	3h,26m,21s	-50,62	194,24	20h,35m,25s
5-IV	- 22,98	265,38	2,82	298,00	3h,16m,33s	-52,03	211,13	20h,45m,37s
7-IV	- 22,18	273,04	2,49	305,13	3h,11m,4s	-53,68	229,18	20h,50m,51s
8-IV	- 21,80	280,28	1,25	311,67	3h,8m,27s	-53,76	250,09	20h,53m,30s
9-IV	- 20,92	294,64	-1,65	325,59	3h,5m,48s	-36,96	306,07	20h,56m,10s
10-IV	- 14,97	330,33	-8,81	2,69	3h,3m,8s	-1,11	336,94	20h,58m,52s
11-IV	2,61	24,01	-12,57	57,42	3h,0m,26s	22,68	358,47	21h,1m,35s
12-IV	10,61	50,10	-10,92	81,66	2h,57m,43s	30,83	9,56	21h,4m,20s
13-IV	12,83	61,16	-9,80	91,43	2h,54m,59s	34,22	16,57	21h,7m,6s
15-IV	13,54	71,01	-8,82	99,51	2h,49m,26s	36,58	25,78	21h,12m, 43s
17-IV	13,03	76,01	-8,47	103,07	2h,43m,46s	36,89	32,34	21h,18m,26s
20-IV	11,70	80,76	-8,33	105,83	2h,35m,4s	35,95	40,15	21h,27m,15s
28-IV	7,37	88,95	-8,42	108,82	2h,10m,26s	30,36	56,41	21h,52m,13s
8-V	1,74	96,73	-8,35	109,63	1h,35m,34s	20,35	73,18	22h,27m,46s

b).- **Alfonso II el Casto (761 - 842).**

Aunque, como anteriormente comenté, no hay ninguna mención o registro del del paso del Halley recogidas en las crónicas de esta época del Reino Asturiano altomedieval, no por ello pude resistirme a imaginar que, al igual que en su poderoso reino carolingio del norte se había visto el cometa durante esa Semana Santa, probablemente también fue observado en el norte de España y por tanto lo viera alguna noche el rey que ocupaba el trono en aquel momento, Alfonso II, o alguno de sus cortesanos, desde su palacio en la ciudad de Oviedo, la nueva capital, una vez que se había cambiado de sede, al trasladarla desde su anterior emplazamiento en Pravia.

Esta suposición, más la pretensión didáctica de poder comparar las posiciones del cometa observado desde distintas ciudades de Europa, junto con mi mayor vinculación con la historia de



Alfonso II en el Libro de los Testamentos

España de ese momento, hizo que incluyera a este rey entre los posibles observadores reales.

Hay que decir que el momento histórico era crucial para la pervivencia de los pequeños reinos cristianos de la Península Ibérica, si se les compara con el otro poder, el Emirato de Córdoba, el cual estaba entonces sabiamente dirigido por un gran emir, Abderramán II.

Todo lo que se sabe de la vida de Alfonso II lo conocemos a través de las crónicas

asturianas, fundamentalmente la Albeldense y las dos de Alfonso III el Magno, en sus dos versiones - la Rotense y la Sebastianense - ; todas ellas escritas durante el reinado de este último rey, en la penúltima década del siglo IX. Las tres están escritas con una visión providencialista de la existencia humana y bajo una idea neogótica del propio reino asturiano, de continuidad política, institucional, cultural y religiosa con el desaparecido reino visigodo. A sus ojos Oviedo debía ser la nueva Toledo.

Según la versión Rotense de la Crónica de Alfonso III, el 14 de septiembre del año 791 Alfonso II, hijo del rey Fruela I (757-768), nieto de Alfonso I (739-757) y bisnieto de Pelayo (718-737), accedía al trono del Reino de Asturias tras la renuncia de su antecesor y pariente, Bermudo I (788-791).

Anteriormente, cuando su padre Fruela fue asesinado en el año 768, había ocupado el trono su primo Aurelio, entre los años 768-774. Al morir sin descendencia Aurelio, le sucede Silo, quien estaba casado con Adosinda, hija del rey Alfonso I, manteniéndose su reinado hasta el 783. Alfonso fue nombrado entonces rey por los nobles asturianos, pues contaba con el favor del rey muerto y de su tía Adosinda, además de poseer ya experiencia en las tareas de gobierno por haber ayudado a Silo en sus funciones reales en la corte de Pravia. Una conspiración por parte de la nobleza impiden que ocupe el trono entonces y tiene que refugiarse junto a sus parientes por parte de madre, en tierras alavesas, mientras su tío Mauregato se proclamaba rey, reinando entre 783 y 788.

Elevado al poder real Bermudo I el Diácono, Alfonso tiene que esperar hasta la abdicación de éste en el 791, consciente aquel de sus carencias militares ante el empuje musulmán durante su reinado, para poder recuperar el trono ya de forma definitiva, excepto un breve retiro temporal en el 801- 802 al monasterio de Ablaña, presionado por los nobles. Restaurado nuevamente en el trono, ya no lo abandonaría hasta su muerte el 20 de marzo del 842.

Durante sus primeros años de reinado tuvo que hacer frente a sucesivas campañas contra su territorio llevadas a cabo por el emir de Córdoba Hisham I, quien llegó hasta la misma capital de Oviedo.

Recuperado de estas razias musulmanas, es capaz incluso de hacer una incursión militar hasta la misma ciudad de Lisboa, tomando por poco tiempo dicha ciudad, e informando de todo lo acontecido a Carlomagno, con el que mantenía una buena relación. A continuación, deja de pagar el infame tributo de las Cien Doncellas, instaurado por Mauregato, al Emirato cordobés,

y crea una zona de nadie, un despoblado en el Valle del Duero, a manera de tapón contra Córdoba.

Tras la consolidación de las fronteras del reino, Alfonso se dedica a la organización interna del mismo.

También promovió la construcción de edificios civiles y religiosos para dotar a la nueva sede regia de unas infraestructuras adecuadas, donde acoger a las nuevas instituciones políticas, jurídicas y eclesiásticas surgidas durante su reinado.

Entre las iglesias levantadas en la capital destacan las de San Tirso con restos visibles hoy en día cerca de la Catedral y la de Santullano

(S. Julian de los Prados), extramuros de la

ciudad, la cual presenta en su interior magníficos frescos con una decoración de tipo geométrico y motivos arquitectónicos varios.

Otro acontecimiento de singular importancia futura para el reino y para la cristiandad en general, fue el descubrimiento de la tumba del apóstol Santiago en el 830, mandando el rey construir sobre la misma un modesto templo, que posteriormente fue ampliado por Alfonso III.

Con el tiempo la tumba propició la peregrinación desde distintos puntos de Europa hacia ella, un fenómeno de extraordinaria importancia por las implicaciones políticas, sociales, económicas y culturales que tuvo.

Finalmente, las crónicas recogen la muerte del monarca en el 842, diciendo de él que después de cincuenta y dos años de reinado y habiendo llevado una vida “llena de gloria, casta, púdica, sobria e inmaculada” pasó del reino terreno al celestial.

Enterrado en el Panteón de Reyes de la iglesia de N^a Señora del Rey Casto, es posible que sus restos descansen hoy en día en el Panteón de Reyes de la catedral de Oviedo.

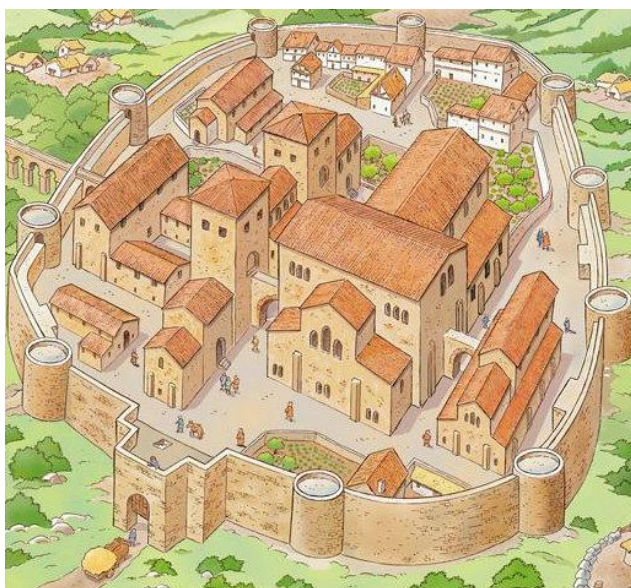
Su apodo de "el Casto ", dada su continencia sexual, puede deberse también a su religiosidad y devoción, la cual surgió en él a consecuencia de su estancia, primero en el monasterio de Samos cuando era un niño, después de la muerte de su padre Fruela y posteriormente en el de Ablaña, durante su retiro temporal del poder.

b.1 - El horizonte local de Oviedo.

Es posible que desde uno de los palacios de la ciudad de Oviedo, el rey Alfonso II contemplara el paso del Halley durante esos veinticinco días que según los registros fue visible.

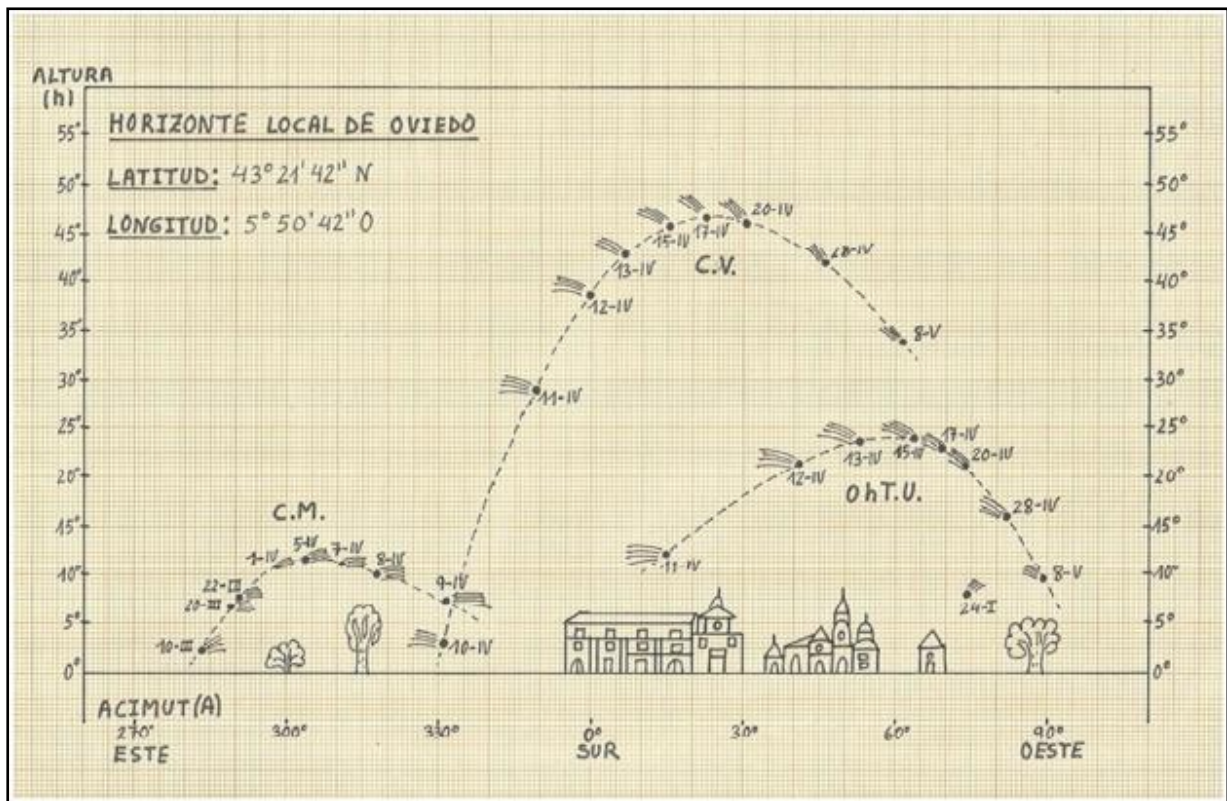
Es también posible que, al igual que el carácter piadoso de su colega carolingio le inclinó a la práctica de la limosna y la oración, sucediera lo mismo con nuestro rey asturiano, ya que eran dos personalidades muy parecidas en cuanto a su religiosidad y devoción hacia la Iglesia.

Aunque es probable, pues nunca lo sabremos, que el tiempo meteorológico supusiera un factor diferencial para ambos observadores regios, dada la distancia entre ambas capitales reales y la estación del año en la que sucedió el paso del Halley - la primavera - ; si esta observación



Ciudad de Oviedo en el S. IX

fue posible, entonces las posiciones del cometa, los días que fuera visible, quedan recogidas en el dibujo de abajo.



Si comparamos el horizonte de Oviedo con el de Aquisgrán en el mismo periodo de tiempo, se pueden observar algunos cambios, consecuencia de la menor latitud de la ciudad asturiana. Así, por la mañana el cometa pudo ser visto en Oviedo desde el 10 de marzo, mientras que en Aquisgrán no fue visible hasta el 22 de marzo, y se mantuvo también visible un día más en el crepúsculo matutino.

Si nos fijamos en el crepúsculo de la tarde, también fue posible verle un día antes, desde el 10 de abril. Lógicamente, desde ambas capitales fue posible verle los mismos días a las 0 h T.U. Aunque en los gráficos la escala de la altura es representada doble que la del acimut, en aras de la claridad, es notoria la mayor altura que alcanzaba el Halley sobre el horizonte en Oviedo respecto a la que tenía en Aquisgrán para una misma fecha y momento.

c).- **Los otros protagonistas reales.**

Antes de abordar los otros potenciales observadores del Halley en otros lugares del mundo, es conveniente no olvidar al otro gran rey en la Península Ibérica, el cual gobernaba sobre un amplio territorio, sobre el que se asentaba una sociedad de distinta religión pero con un gran desarrollo social y económico y una refinada cultura. Me estoy refiriendo al emir de Córdoba Abderramán II.

c.1. **Abderramán II (792 - 852).**

Fue emir desde el año 822. Gran protector de las artes y de las letras, convirtió a Córdoba en un gran centro cultural. Reorganizó el ejército, la administración y la hacienda pública.

Tuvo que hacer frente a varias sublevaciones de sus súbditos y a algunas revueltas sociales.



Abderramán II

La primera rebelión tuvo lugar en la ciudad de Mérida en el año 828, perdurando hasta el 840, cuando muere uno de sus cabecillas locales, Mahmud b. 'Abd al-Yabbar. Para poder controlar mejor la ciudad en el futuro construyó la Alcazaba emeritense.

La siguiente tuvo lugar en Toledo, entre los años 834 y 837, por parte de su población de muladíes (cristianos convertidos al islam). La ciudad fue recuperada en junio del 837, poco después del paso del Halley.

Otra gran revuelta se dio al final de su reinado en la Marca Superior del Emirato, centrada en la localidad de Tudela, por parte del poderoso señor Musà b. Musà, de la familia de los Banu Qasi, la

cual se mantuvo por más tiempo apoyada por la nobleza del reino de Pamplona, con la que se encontraba emparentado.

También tuvo que intervenir en las disputas surgidas entre los clanes yemeníes y mudaríes en el reino de Tudmir, poniendo fin a sus enfrentamientos y fundando la ciudad de Murcia, donde residiría el gobernador.

Dos años antes de fallecer se inició en Córdoba un conflicto con los mozárabes de la ciudad, que dio lugar a una persecución de estos cristianos que vivían en territorio musulmán.

Sin embargo, el principal objetivo militar de Abderramán II fue el reino de Asturias, que sufrió durante esos años la continua amenaza de las aceifas musulmanas, con la finalidad de castigar el territorio cristiano y además obtener botín de guerra, pero no de reconquistar las tierras que poco a poco iban ganando los cristianos en el Valle del Duero.

Realizó un par de campañas contra la Marca Hispánica carolingia, en el 827 contra Barcelona y Gerona y en el 841 contra Vic y Taradell.

Más novedoso y extraño para él fue tener que hacer frente a unos nuevos invasores, los normandos, que llegaron a saquear las ciudades de Lisboa, Cádiz y Sevilla, en el 844, hasta que fueron derrotados por el emir en la localidad de Tablada, al sur de la ciudad sevillana.

Al morir en el 852, fue sucedido en el trono por su hijo Mohamed I (823 - 886).

c.2. El emperador Wenzong de la dinastía Tang (809 - 840).

Cuando pasó el cometa Halley el emperador que reinaba en China era Wenzong, de la dinastía Tang, que ocupó el trono desde el año 827 hasta su muerte en el 840.

Sucedió en el trono a su hermano mayor Jingzong y a su vez fue sucedido por su otro hermano menor Wuzong.

En el mismo año del regreso del Halley tuvo lugar un intento de asesinato hacia él, fruto de la lucha por el poder entre facciones, ya que por un lado



Emperador Wenzong

estaba el grupo de funcionarios humildes (Niu) y por el otro los de origen aristocrático (Li). Dos años antes hubo un intento por parte del emperador para acabar con el poder de los eunucos en la corte imperial, pero fracasó y éstos funcionarios siguieron controlando el gobierno y nombrando a los emperadores hasta el final de la dinastía Tang.

Esta dinastía gobernó entre los años 618 y 907 d. C. y es considerada por los historiadores como la que alcanzó el máximo esplendor de la civilización china, como su época dorada. Su capital era Chang'an (actual Xian), la cual albergaba una población de más de un millón de habitantes, convirtiéndose así en la ciudad más poblada del mundo.

- El registro chino del paso del cometa Halley.

El retorno del Halley en el año 837 d.C. fue recogido en los " Anales de Tang " y la información es un poco confusa. Existe otro registro japonés que puede servirnos para realizar un análisis comparativo entre ambos textos.

Los observadores chinos utilizaban diferentes denominaciones para las diferentes formas de un cometa. Llamaban " Po " a un cometa difuso y sin cola y " Hui " a los cometas con cola. Usaban como unidad lineal de longitud para la cola el " chih " (codo), correspondiendo esta unidad aproximadamente a 1,5°. Sus registros son muy valiosos para poder estudiar la órbita seguida por el cometa, pues contienen la fecha y la mansión de la luna en la que se encontraba y, más raramente, su posición entre las estrellas en la que era visto. Suponen, por tanto, la información más detallada de todo el Lejano Oriente.

Respecto al registro japonés, el texto (con las fechas en calendario juliano) dice:

" En el cuarto año de la época Syôwa, el tercer mes, día Hinoto - U (12 de abril), un cometa fue visto en el sudeste. Su cola se extendía por el horizonte hacia el este. En el día Midunoe - Saru (17 de abril) todavía era visible, pero su cola era débil debido a la luz de la Luna ".

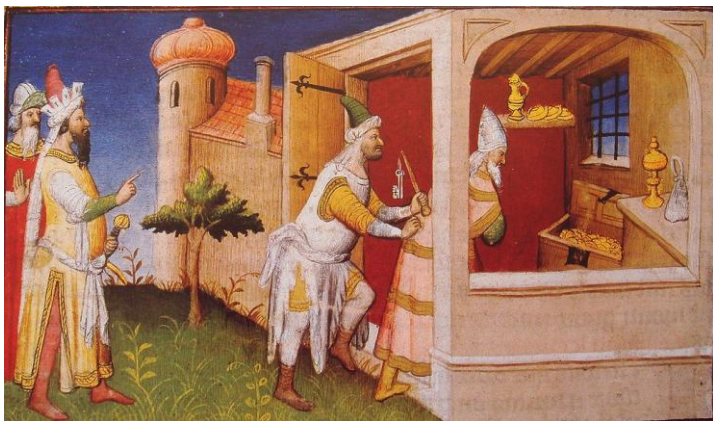
El texto chino es mucho más amplio y detallado.

" En el segundo año de Kai - Cheng, en el segundo mes en el día Ping - Wu (22 - marzo - 837), un cometa apareció cerca de α Acuario, su cola era sobre siete codos de larga, apuntando hacia el oeste. En el día Ou - Shen (24 - marzo) fue visto en el suroeste de α Acuario, sus rayos eran más brillantes. En el día de de Koei - Ch'ou (29 - marzo) fue visto cerca de β Acuario. En el día Sing - Yeou (6 - abril) se movió hacia el oeste, su cola llegó a ser de diez codos de larga, apuntando un poco hacia el sur. En el día Jen - Siu (7 - abril) estaba cerca de μ Acuario, sobre veinte codos de larga y tres codos de ancha. En el día Kai - Tse (9 - abril) apareció cerca de 5 Sagitario. En el día I - Ch'ou (10 - abril) llegó a cincuenta codos de larga, con dos colas, una de las cuales apuntaba a Libra y la otra ocultaba β Escorpio. En el día Pin Yin (11 - abril) apareció en Virgo, su cola unida en una sola de nuevo tenía sesenta codos de largo y apuntaba hacia el norte. En el día Ting - Mao (12 - abril) se movió hacia el noroeste, su cola apuntaba hacia el este. En el día Ki - Se (14 - abril) fue visto cerca del corazón de Hydra, su cola llegó a ser de ochenta codos de larga. En el día Koei - Wei (28 - abril) su cola era treinta codos de larga y el cometa entonces desapareció en Leo ".

Según los Anales de Tang, las observaciones comenzaron el 22 de marzo y finalizaron el 28 de abril. Un hecho curioso del registro es que dice como el cometa estuvo apuntando

a los cuatro puntos cardinales del horizonte durante el intervalo de tiempo en que fue visible. Los Anales también comentan que " *Si el cometa es una estrella de la mañana apuntaba hacia el oeste, y si era una estrella de la tarde su cola apuntaba hacia el este* ". Esto es lo normal y razonable, mientras que lo más difícil de interpretar es su relato de que apuntó a los cuatro puntos cardinales en días diferentes.

c.3. El califa Al - Mutasim (796 - 842).



En la ilustración de la izquierda se puede ver una escena, sin ninguna base histórica, presente en el " Libro de las Maravillas " de los viajes de Marco Polo, en la que el gobernador mongol Hulagu mete en prisión al califa Al - Mutasim, rodeado de sus tesoros, hasta hacerle morir de hambre.

Al - Mutasim gobernó entre los años 833 y 842. Su reinado se apo-

yó en la creación de un ejército poderoso, formado fundamentalmente por soldados esclavos turcos.

En el 836 trasladó la capital de Bagdad a la ciudad de Samarra. Interiormente, redujo el poder de los gobernadores de provincias, dejando la administración en manos de altos funcionarios nombrados por el califa.

Exteriormente, su reinado estuvo marcado por el enfrentamiento y la guerra. En el ámbito interno hubo dos levantamientos contra Bagdad, el primero desde la región del Azerbaiyán iraní, dirigido por el azerí (musulmanes chiitas) Khorramdin de Babak que se extendió a las regiones occidental y central de Irán y duró más de veinte años antes de ser sofocada, hasta que su líder fue ejecutado en enero del 838 ; el segundo, lo protagonizó Maziar, un noble iraní zoroastriano, gobernador de la región montañosa del Tabaristán, al sur del Mar Caspio, que se había enfrentado a los Tahiries de la región del Jorasán, una extensa región al noreste de Irán, y al poder musulmán de la zona en general.

En política exterior, asistimos a una campaña durante los años 837- 838 contra el emperador bizantino Teófilo, que terminó con la victoria del general turco abasí Al - Afshin (el mismo que aprisionó a Babak) en la batalla de Anzen, librada en el centro de Turquía y que no tuvo repercusiones futuras graves para Bizancio, pero si consolidó al califa Al-Mutasim ante su pueblo como un guerrero victorioso.

Al morir Al- Mutasim en el 842 fue sucedido por su hijo Al - Wáthiq.

Como se ve, durante el año 837, cuando pasó el Halley, asistimos al final de la rebelión de Babak y al comienzo de la ofensiva contra el imperio bizantino.

Comentar que esta campaña militar partió de Bagdad, con el califa al frente de las tropas , el día 5 de abril, día en el que el Halley ya era visible en el cielo nocturno y, dado el temor que todo cometa originaba en la gente de la época, los astrólogos del califa le aconsejaron no ir a la guerra contra los Bizantinos porque un gran portentoso había aparecido. Aún así, Al - Mutasim marchó al enfrentamiento confiado, logrando la victoria antes comentada, por lo que un

poeta de Damasco, Abu Tammam, impresionado por el coraje y valor demostrado por el califa escribió el siguiente poema:

La espada, la cual puede decidir el resultado de los acontecimientos es más fiable que los libros (de astrología).

Verdaderamente las blancas hojas (de las espadas), no las negras hojas (del papel) son apropiadas para clarificar todas las dudas e incertidumbres.

Las verdaderas noticias son mucho mejor contadas por el destello de las lanzas que por los siete cuerpos del cielo.

Ellos asustaron a la gente (con presagios de) una horrible catástrofe que golpearía cuando el cometa apareció por el oeste.

Ellos ordenaron las heterogéneas constelaciones a su antojo.

Hablaron en nombre de las estrellas mientras las estrellas se mueven en sus órbitas o ejes ignorando sus habladurías.

Por consiguiente su profecía y sus historias fabricadas podrían no superar el juicio del tiempo.

V.- Otros registros astronómicos orientales correspondientes al año 837 d. C.

En el Lejano Oriente existían astrónomos / astrólogos profesionales, contratados por los gobernadores para la observación del cielo y para registrar e interpretar los sucesos inusuales que se vieran en él. Entre estos sucesos podemos encontrar los registros de las nuevas estrellas que aparecieran de repente, los cometas, como el Halley, las manchas solares y las auroras boreales.

Lo más asombroso de estos registros es su antigüedad, pues se remontan a épocas anteriores a nuestra Era; en China las encontramos desde el 240 a.C. mientras que en Korea y Japón se hacen más regulares a partir del 800 d. C. Dependiendo de la espectacularidad del suceso, estos registros eran más o menos detallados, indicando en muchos de ellos la posición que ocupaba entre las estrellas el fenómeno astronómico observado.

En la Europa Antigua y medieval y en las tierras árabes, parecen haber estado poco interesados en estos sucesos celestes, quizás influidos por la doctrina aristotélica de la inmutabilidad de la esfera celeste y, por tanto ser notoria su poca disposición a identificar una nueva estrella como un objeto celeste más. La única excepción que podemos encontrar es el registro europeo occidental fue la supernova del año 1006, un suceso de tal magnitud que no encontramos otro igual en la historia astronómica. Aparecida por vez primera en la constelación de Lupus, en el límite con Centauro, entre el 30 de abril y el 1 de mayo, fue visible incluso por el día durante más de un año

Ciñéndonos al año que es objeto de estudio aquí, el 837 d. C. y fijándonos sólo en aquellos fenómenos celestes que pudieron ocurrir ese año y que puedan aportar alguna luz a la interpretación de los distintos textos presentados en este trabajo sobre el retorno del Halley, se hace necesario revisar las estrellas aparecidas ese año en el cielo, ya fueran novas o supernovas.

A estas nuevas estrellas aparecidas repentinamente, los chinos las llamaban " K'o - hsing " (estrellas invitadas) y entre las más renombradas supernovas encontramos, aparte de la mencionada anteriormente del 1006, las de 1054, que dejó como remanente a M1 o Nebulosa del Cangrejo, en la constelación de Tauro, la de 1572 observada por Tycho Brahe, y la de 1604 mencionada por Képler.

Cuando una estrella nueva explota, su brillo aumenta en unos pocos días, entre unos miles y decenas de miles de veces más que el que tenía y, si es una supernova, entonces su aumento es mucho mayor, entre cientos de miles y millones de veces más.

Existe la posibilidad de que las estrellas nuevas pudieran ser confundidas con cometas que no tuvieran cola, denominados "Po - hsing" (estrellas rayadas). La principal característica que los diferencia es que la estrella permanece estacionaria por un largo periodo de tiempo, mientras que el cometa se mueve en el cielo con el paso del tiempo.

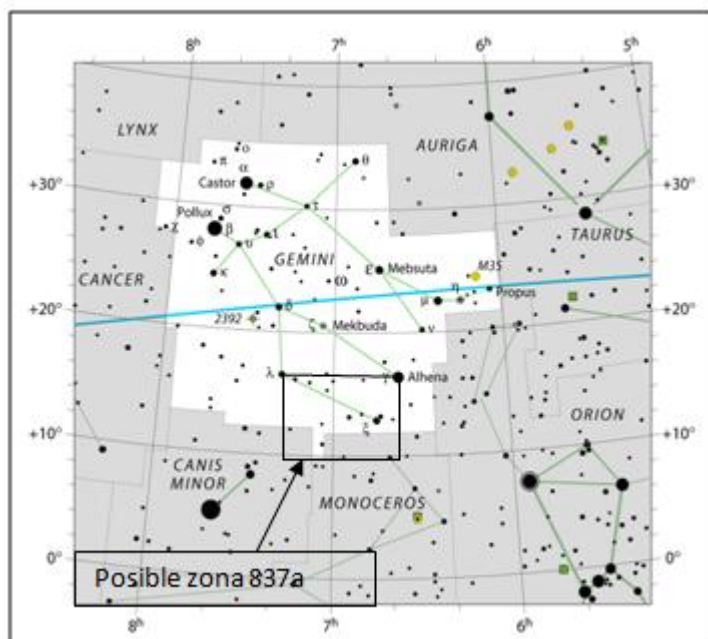
Otra característica a tener en cuenta en los registros para diferenciar entre una estrella nova y una supernova, es la duración temporal en el cielo de su brillo, pues ninguna estrella aparecida de repente que dure menos de cuarenta días, puede ser calificada de supernova, ya que la intensidad de la explosión haría que un observador en la Tierra dispusiera de más tiempo hasta dejar de verla en el cielo a simple vista.

Las estrellas nuevas aparecidas en el 837 d.C. fueron tres:

- **837 a**

La fuente dice lo siguiente :

"En el Chia - Shen día, en el tercer mes del segundo año, del Kai - Chen periodo del reino, perteneciente a la dinastía Tang (29 de abril del 837), una estrella nueva apareció debajo de Tung Chin. En el Ping - Wu día del cuarto mes, la estrella nueva debajo de Tung - Chin (21 de mayo) desapareció "



Como se puede ver en la imagen de al lado, la zona donde posiblemente apareció la nueva estrella fue al sur de las estrellas λ , γ y ξ de la constelación de Géminis, casi dentro ya de la vecina constelación de Monoceros.

La estrella se vio durante veintitrés días seguidos en el cielo. En esa zona hoy se localiza una fuente de ondas de radio, cuyo origen, según algunos autores, fue una explosión de supernova, la cual dejó como remanente en el espacio el objeto celeste IC443 (nebulosa de las Medusas), aunque hoy en día se considera que

en realidad fue una nova. Aparte del registro chino, también fue observada en Europa, en donde se la llegó a relacionar con el cometa Halley.

Fueron G.A. Shayer y I.S. Shklovskiy, en 1954, quienes dijeron que la nebulosa IC443 podía ser la estrella vista por los chinos. Esta Nebulosa de las Medusas se localiza entre las estrellas η y μ de Géminis y se encuentra a una distancia de 5.000 años/luz. Fueron ellos quienes pensaron que podía ser el Halley, pero hay dos objeciones a esas suposiciones:

1ª. El Halley, el día 28 de abril, se encontraba encima de la constelación del Sextante y debajo de la de Leo, por lo que es difícil que al día siguiente, 29 de abril, primer día en el que se vio la nueva estrella, el cometa se encontrara en la constelación de Géminis, ya que la distancia

angular recorrida en un sólo día sería entonces demasiado grande.

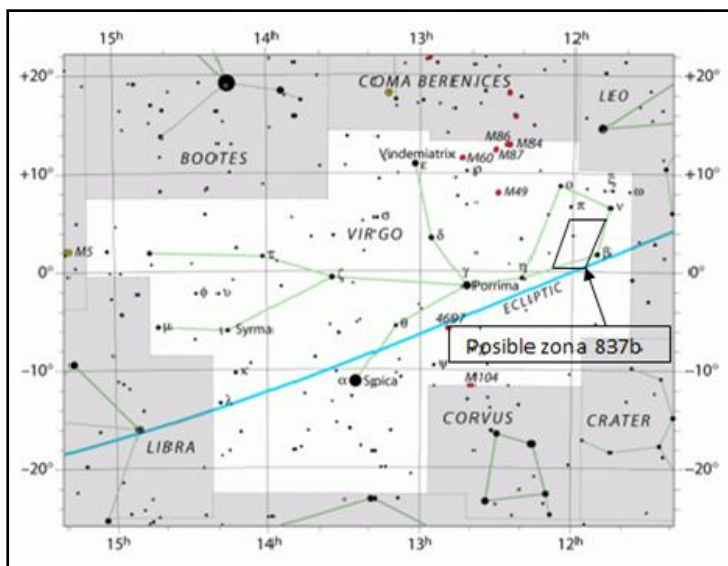
2ª. Que la fuente china sitúa a la nueva estrella debajo de la estrella ξ de Géminis, ya dentro de la constelación de Monoceros, muy alejada de la zona entre las estrellas η y μ de Géminis, dónde se localiza hoy la Nebulosa de las Medusas. .

Lo que sí se encuentra en esta zona, entre las dos estrellas η y μ , es la Nebulosa Roseta, que tiene una ascensión recta $\alpha = 6 \text{ h } 33 \text{ m}$ y una declinación $\delta = 5^\circ$ y está situada dentro de la región H2, que es una nube de gas y plasma brillante en la cual se forman estrellas masivas.

- **837 b**

Es la segunda estrella referenciada para ese año en las crónicas chinas. El registro dice lo siguiente :

" En el día de Wu - Tzu (3 de mayo) durante el tercer mes del segundo año, en el Kai - Chen reino de la dinastía Tang, una estrella nueva apareció dentro de Tuan - Men, cerca de Ping - Hsing. En el día de Kuei - Yu (17 de junio), del quinto mes, la estrella nueva dentro de Tuan - Men desapareció "



En la imagen de al lado se puede ver la zona en la que pudo ser vista esta estrella nueva. El registro precisa que se encontraba entre las estrellas η y β de la constelación de Virgo y que pudo ser observada durante cuarenta y cinco días, aunque si tenemos en cuenta los errores posibles en su localización exacta, esto haga que se acote la zona al romboide señalado en la imagen. En la actualidad no se encuentra ningún remanente en esa parte del cielo, siendo la galaxia M 61 el ob-

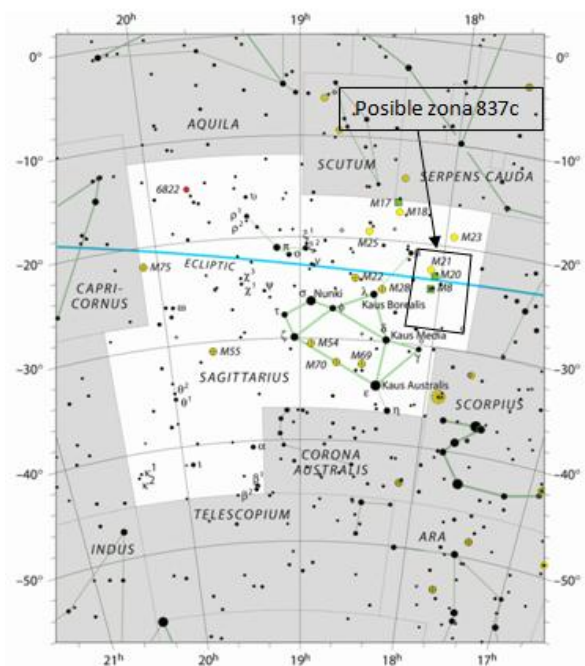
jeto celeste más próximo en donde apareció.

- **837 c**

La última de las tres estrellas nuevas del año 837 se encuentra en la constelación de Sagitario, y su registro consiste solo en la cita siguiente:

" En el día de Jen - Wu, en el quinto mes (22 de marzo), una estrella nueva como una " Po " estaba entre Nan - Tou y Tien - Yo "

Aunque la duración de su visibilidad no es mencionada, su posición está razonablemente bien descrita, pues el área entre Nan - Tou y Tien - Yo ocupa hoy una parte de la constelación de Sagitario y es una región celeste particularmente interesante, ya que la Vía



Láctea pasa por ella, señalando su centro galáctico y la intersección del Ecuador galáctico y de la Eclíptica.

Son numerosos los remanentes, tanto de nova como de supernova que caen dentro del rectángulo correspondiente a la zona donde posiblemente fue observada la estrella.

Algún autor ha sugerido que el remanente correspondería a la estrella 9 de Sagitario. Como ejemplo de objetos celestes presentes en la zona donde pudo verse la nueva estrella, encontramos las Nebulosas Trífida (M20) y de la Laguna (M8), junto con un cúmulo abierto (M21).

Conclusiones.

Llegado el momento de poner punto final al presente trabajo sobre el retorno del cometa Halley en el 837 d. C., me resulta un poco complicado enunciar unas conclusiones que resulten claras y concretas sobre el fenómeno celeste objeto de estudio, como fue la observación del paso del cometa por parte de los hombres y mujeres medievales del siglo IX. Parece claro que el instinto natural por sobrevivir en ese mundo tan a menudo violento y trágico, como fue el que les tocó vivir, se les manifestaba diariamente no sólo en el plano físico y existencial, sino también en el espiritual, preocupados como estaban por la salvación de sus almas.

Creo que al hilo del párrafo anterior, y con la pretensión de abordar ya las conclusiones a las que he llegado, lo primero que quiero expresar y transmitir al lector es la innegable espectacularidad que debió alcanzar el Halley ese año sobre la bóveda celeste y la admiración que su contemplación produciría sobre esa gente, al verlo desplazarse majestuosamente noche tras noche por el cielo. Su incapacidad para interpretar el suceso sólo desde un punto de vista físico y natural, tal como hoy lo entendemos, les llevaría a buscar una explicación religiosa basada en la creencia en un Ser Creador, Todopoderoso, supremo Señor del destino de las personas y de los pueblos de la Tierra. Si a esto añadimos que en ese momento se estaba celebrando la Pascua cristiana en los reinos asentados en la Europa occidental, con las celebraciones y liturgia propias de la Semana Santa, entonces ya nos podemos hacer una idea aproximada del estado de ánimo en el que se encontraba la gente cuando lo contemplara. Esto ya sabemos que fue precisamente lo que le ocurrió a uno de nuestros observadores reales, Luis I el Piadoso, quien buscó en la oración y la práctica de la caridad una solución a estas emociones y a su temores supersticiosos.

Pero todo estaba plenamente justificado desde el punto de vista astronómico, pues el Halley presentaba esos días sus mejores galas posibles, como eran : su máximo acercamiento histórico a nuestro planeta, la mayor longitud de su cola (o colas) y la percepción objetiva de una endiablada velocidad que le hacía cambiar su posición en el cielo cada poco tiempo, tomando como referencia el fondo de estrellas.

También era muy extraño, como afirmaba el " Astrónomo ", que no se desplazara por la bóveda de la esfera celeste de modo similar a como lo hacían el Sol, la Luna y las denominadas estrellas errantes, es decir, de oeste a este, sino al contrario.

Señalar que las condiciones de observación más afortunadas correspondieron a los observadores que habitaban en las latitudes medias de los dos hemisferios terrestres. Sólo dejaron constancia del hecho las sociedades pertenecientes a las altas culturas del Hemisferio Boreal, y dentro de éste las asentadas en el Lejano Oriente, puesto que tanto Xian como Kioto, donde estaban las cortes reales, tienen unas latitudes menores que las correspondientes europeas de Aquisgrán y Oviedo, elegidas como referencia comparativa para este trabajo.

No hay que olvidar que aún serían mejores las condiciones de observación en el amplio mundo musulmán, o en las desarrolladas y por entonces desconocidas sociedades que poblaban la región de Centroamérica, como eran la cultura maya y la ya decadente ciudad de Teotihuacán, o en el altiplano andino suramericano, donde brillaba con luz propia desde hacía mucho tiempo la legendaria ciudad de Tiahuanaco, cerca del lago Titicaca.

El anterior párrafo se apoya en la secuencia de constelaciones de estrellas por las que transitó entonces el Halley, casi todas íntegramente localizadas en el Hemisferio Celeste sur y que fueron: Acuario, Capricornio, Microscopio*, Corona Austral*, Telescopio, Altar, Lobo, Centauro, Hidra, Cráter, Sextante y Leo* , en donde las constelaciones señaladas con un asterisco fueron visitadas por el cometa sólo en su entorno celeste.

Decir que otro hecho afortunado que mejoró su observación fue que la Luna, durante las fechas en las que presentó su máximo brillo - entre los días 5 y 15 de abril - se encontrara entre sus fases de cuarto decreciente y cuarto creciente, ambos ya en un estadio avanzado, incluyendo la luna nueva entre ambas fases, que es cuando presenta una superficie iluminada menor.

Respecto a los textos escritos incluidos en el trabajo, fundamentalmente el carolingio y el chino, pues el japonés y el abasida se presentan sólo a modo de complemento de los anteriores, ya que no aportan nada relevante para analizar, quiero decir, a modo de conclusión, lo siguiente: 1°.- Mientras que el registro chino presenta gran claridad, rigor científico y detalles concretos, que han sido utilizados por los astrónomos actuales para deducir la fecha de perihelio y la trayectoria seguida entonces por el Halley, el carolingio parece más una superposición y adaptación de unos hechos observacionales, inconexos y descontextualizados en el tiempo y en gran parte erróneos. Si para el primero de ellos el Halley apareció en el cielo el 22 de marzo, para el segundo lo hizo en mitad de la Semana Santa, la cual ese año comenzó, según el calendario juliano entonces en uso, el 25 de marzo, con la celebración del Domingo de Ramos y finalizó el 1 de abril, correspondiente al Domingo de Resurrección (esta celebración siempre ocurre el domingo siguiente a la primera luna llena que se presenta después del equinoccio de primavera), por lo que me lleva a suponer que su primera observación pudo ser el Jueves Santo o el día siguiente, Viernes Santo, días 29 y 30 de marzo respectivamente.

2°.- El texto carolingio señala la constelación de Virgo como lugar en el que fue observado por primera vez, y a Tauro como el último punto celeste en donde se le vio desaparecer, mientras que el chino localiza su aparición (22 de marzo) en Acuario y su desaparición(28 de abril) en la constelación de Leo.

3°.- No se explica que, si el registro chino señala a Leo como la zona celeste en la que desapareció, no es posible por tanto que el Astrónomo viera al Halley pasar por las constelaciones de Cáncer, Géminis y desaparecer en Tauro, concretamente a los pies del Auriga. La confusión ante estos datos está servida.

4°.- Se observa que, en la fuente china, a pesar de que ésta sean sólo copias del original lo que nos ha llegado a nosotros y que fueran realizadas con posterioridad al suceso, podemos apreciar en ellas una mayor exactitud en el relato, mientras que en la carolingia, redactada después del año 840, cuando el cometa hacía ya unos cuantos años que había pasado, se intuye en la misma una alteración de la realidad observada, cuya causa pudo estar en la existencia simultánea con el cometa, de las tres novas (837a, 837b y 837c) avistadas ese año respectivamente, en las constelaciones de Monoceros (a los pies de Géminis), en Virgo y en Sagitario.

5°.- Otro factor que llama la atención, y que debe ser tenido en cuenta, es que en ambos textos las constelaciones mencionadas en ellos pertenecen, mayoritariamente, a la banda zodiacal, menos Hidra y el Cuervo, tomando los cronistas a estas constelaciones como referencia diaria para localizar el Halley en el cielo. Es necesario tener en cuenta que las constelaciones por las que discurrió la trayectoria del cometa en el cielo se encuentran en latitudes bajas del Hemisferio Sur celeste, y éstas no fueron catalogadas por el ser humano hasta la época de los grandes descubrimientos geográficos, ocurridos en los siglos XV, XVI y XVII. No es de extrañar pues que, al transitar entre estrellas que aún no habían sido adscritas a ninguna constelación austral en concreto, las referencias de los cronistas y astrónomos reales fueran dadas respecto a las constelaciones entonces conocidas, pues las demás sencillamente no existían para ellos.

6°.- Otra variable no explicitada en los textos, pero que se intuye tuvo su influencia en los registros escritos tal y como nos han llegado, sería el tiempo atmosférico que acompañó cada día a las observaciones del cometa. Nuestra experiencia nos dice que muchas veces, y más frecuentemente en las estaciones equinocciales y para las latitudes templadas de los dos hemisferios terrestres, el tiempo no acompaña, haciendo imposible ver las estrellas por estar muchas veces los cielos cubiertos.

Entra dentro de lo posible que esta variable condicionara más el registro del texto carolingio, redactado por el Astrónomo, que el elaborado por los funcionarios chinos. ¿ No pudo suceder que al perder éste las referencias en el cielo del Halley, por estar nublado, al retomarlas más tarde asociara el cometa con las estrellas novas, vistas el 29 de abril, en Géminis, y el 3 de mayo en Virgo, asignando ambas posiciones a los puntos donde respectivamente se vio el cometa desaparecer y, de forma aún más incomprensible, aparecer por primera vez en el cielo?

A modo de síntesis se puede decir, sin temor a equivocarme, que la descripción hecha por el Astrónomo sobre el paso del cometa Halley en la primavera del 837 d. C. no se ajusta nada con los resultados y posiciones calculadas por mí en el presente trabajo. ¿Cuál puede ser la explicación? Es difícil saberlo, pero al analizar el contexto histórico en el que nos movemos, es posible que la intención del cronista al incluir el fenómeno cometario observado en su *Vita Hludovici Imperatoris* no fuera tanto el rigor y exactitud, como describir mejor las emociones y la personalidad del emperador Luis I el Piadoso, cuya vida estaba narrando.

Finalmente, no puedo dejar de resaltar lo arduo, y a veces complicado, que ha resultado realizar todo el soporte matemático sobre el que se apoyan todas mis conclusiones, así como evaluar positivamente la consecución de mis objetivos propuestos al principio del presente artículo, esperando, como siempre lo hago, que el mismo haya sido lo más didáctico posible para que pueda servir de referencia y guía a los potenciales lectores, si alguna vez inician una investigación similar a la aquí llevada por mí sobre nuestro pasado histórico y que esté relacionado con esta ciencia, la Astronomía.

Bibliografía.

- Meeus, Jean. " *Astronomical algorithms* ". Edit. Willmann - Bell. Richmon, 2009
- Meeus, Jean. " *Morsels IV* ". Edit. Willmann - Bell. Richmon, 2007
- Orús Navarro, J.J., Catalá Poch, M.A., Nuñez de Murga, J. " *Astronomía esférica y mecánica celeste* ". Universidad de Barcelona, 2007
- García de Cortázar, J.A. " *Historia general de la Alta Edad Media* ". Edit. Mayfe. Madrid, 1970

- Dhondt, Jan. " *La Alta Edad Media* ". Colecc. Historia Universal siglo XXI, vol. 10. Edit. Castilla. Madrid, 1970
- Martín, J.L., Codoñer, C., Sánchez, M. " *La Alta Edad Media* ". Colecc. Historia de España, Vol. 3. Madrid, 1980
- Thomas F.X. Noble. " *Charlemagne and Louis the Pious* ". Universidad de Pennsylvania, 2009
- Yeomans, D.K., Rahe, J., Freitag, R.S. " *The history of comet Halley* ". Jet Propulsion Laboratory. Pasadena, 1985
- Yeomans, D.K. " *The comet Halley handbook : an observer's guide* ". Jet Propulsion Laboratory. Pasadena, 2013
- Yeomans, D.K., Kiang, Tao " *The long - term motion of comet Halley* ". Jet Propulsion Laboratory. Pasadena, 1981
- Yeomans, D.K. " *Halley comet, the orbital motion* ". Jet Propulsion Laboratory. Pasadena, 1977
- Tsu, W.S. " *The observations of Halley's comet in chinese history* ". Popular Astronomy, vol. 42
- Newburn, R.L. Jr, Yeomans, D.K. " *Halley's comet* ". Review of Earth and planetary sciences, Vol. 10, 1982
- Wang, D.C., Gong, S.M. " *The historical records of Halley's comet in China* ". Nanking, 1984
- Asimov, Isaac " *El cometa Halley* ". Edit. Plaza y Janes
- Lunde, P., McGuirk, R.H. " *The long haired star* ". Aramco world, 1986
- Hirayama, K. " *Halley's comet in japanese history* ". The Observatory, Vol. 33
- Kiang, T. " *The past orbit of Halley's comet* ". Memoirs of the Royal Astronomical Society. Vol, 76
- Landgraf, Werner " *On the motion of comet Halley* ". Max Planck Institut, 1984
- Stephenson, F.R. " *A revised catalogue of pre - telescopic galactic novae and supernovae* ". University of Newcastle, 1976
- Kevin Kam Ching Yau " *An investigation of some contemporary problems in astronomy and astrophysics by way of early astronomical records* ". Durham University , 1988
- Ze - zong, Xi , Bo Shu - ren " *Ancient novae and supernovae recorded in the annals of China, Korea, and japan and their significance in radioastronomy* ". University of Illinois, 1965

Aplicaciones informáticas.

- <http://dbe.rah.es/> Real Academia de la Historia. Biografías
- <https://efemeridesastronomicas.dyndns.org/>
- <https://www.ugr.es/~eaznar/conversorFecha.htm>
- <http://www.tierradelazaro.com/conversor-calendarios>

