

DOS SIGLOS DE CÁLCULOS DEL ALMANAQUE NÁUTICO (1792-2002). PRIMERA ÉPOCA

TEODORO LÓPEZ MORATALLA, MARTÍN LARA COIRA

Real Instituto y Observatorio de la Armada

1. Introducción

A mediados del siglo XVIII, Jorge Juan y Santacilia propuso al Marqués de la Ensenada la fundación del Observatorio Real de Cádiz, entre cuyas misiones estuvo desde sus orígenes el proporcionar “efemérides astronómicas precisas, para el uso de los navegantes”¹. Estas efemérides se publicaron como anexo al *Estado General de la Armada* hasta que en 1791 se imprime en Madrid el *Almanaque Náutico y Efemérides Astronómicas para el año bisiesto de 1792*, una de las primeras Efemérides de carácter nacional que aparecen en la Historia, y que se ha publicado ininterrumpidamente desde entonces.

A lo largo de sus más de dos siglos de vida, la publicación *Almanaque Náutico* ha evolucionado tanto en su forma como en su contenido; el paradigma de esta evolución probablemente lo proporcione el problema de la determinación de la longitud en la mar, donde la aparición de las Tablas de Mayer permitió la aplicación del método de las distancias lunares, que posteriormente fue abandonado al desarrollarse los cronómetros marinos.

En el presente trabajo se describen las diversas modificaciones sufridas por el *Almanaque Náutico* para adecuarse a los avances experimentados por la ciencia y la técnica. Así, por un lado, los desarrollos de las técnicas y los métodos de la astronomía han permitido una mejora constante en la precisión de las observaciones astronómicas. Dicha precisión creciente ha motivado la evolución de las teorías de la mecánica celeste, desde la clásica teoría newtoniana hasta las modernas teorías gravitacionales con inclusión de los términos relativistas, términos que afectan no sólo a las coordenadas espaciales sino también al tiempo.

Por otra parte, el desarrollo de las matemáticas junto con la aparición de la informática en los últimos años, ha permitido elaborar algoritmos cada vez más precisos que, con los medios de cálculo cada vez más potentes, posibilitan aplicar las teorías con la precisión proporcionada por las modernas observaciones.

¹ Real Orden del 3 de diciembre de 1790 del Ministro de Marina, Antonio Valdés, al Teniente General de la Armada, José de Mazarredo. Archivo General de Marina; Serie: Observatorio; Subserie: Generalidad; Legajo: 1785—1830.

Otro importante aspecto a considerar es la cooperación internacional, que desde finales del siglo XIX ha sido determinante en la forma de presentar las efemérides para ser usadas por la comunidad internacional. La evolución del *Almanaque Náutico* se refleja en la información que facilita. En este sentido, es obligado referirse a los trabajos de Lafuente y Sellés [1988] y González [1992]. En el primero de ellos están documentadas las fuentes utilizadas en la elaboración del *Almanaque Náutico* hasta 1831; el segundo, que abarca las fechas ente 1831 y 1924, emplea otra perspectiva, si bien cita algunas fuentes utilizadas en los cálculos hasta 1845. Para detectar esa evolución, hemos estudiado en profundidad la colección de almanaques que se conserva en el Observatorio, en cuyos prefacios solían recogerse los cambios más relevantes de la publicación, aunque no siempre se anunciaban en la fecha en que se habían producido.

Los motivos para la variación de la información del *Almanaque Náutico*, tanto en la forma como en el contenido, hay que buscarlos fundamentalmente en la evolución de las teorías de gravitación (newtoniana, perturbaciones, relatividad) utilizadas en los cálculos y en la constante mejora en la determinación de las constantes que aparecen en dichas teorías. Esto motivaba la aparición de sucesivas nuevas tablas con teorías concretas para el movimiento de cada astro, que eran utilizadas como fuentes para la elaboración del *Almanaque Náutico*.

2. El *Almanaque Náutico*

La aparición de los primeros almanaques náuticos está íntimamente ligada con el problema de la determinación de la longitud. Mientras los cronómetros marinos no estuvieron lo suficientemente perfeccionados, se utilizaba el método de las distancias lunares²; pero la aplicación práctica de este método no fue posible hasta la aparición de las Tablas de la Luna de Tobías Mayer, en las que las efemérides lunares ofrecían suficiente precisión para la determinación de la longitud en la mar con la exactitud necesaria.

Las Tablas de Mayer no eran de uso general entre los marinos, debido a los engorrosos y prolijos cálculos necesarios para obtener de ellas los lugares de la Luna y, a partir de ellos, las distancias lunares. Con motivo de simplificar estos cálculos al navegante, se edita en Inglaterra *The Nautical Almanac and Astronomical Ephemeris for the year 1767* (en lo que sigue, NA), colección de efemérides astronómicas para uso de astrónomos y navegantes, donde se publican las tablas de distancias lunares que facilitaban la resolución práctica de la determinación de la longitud. Aunque la Junta de Longitudes (*Bureau des Longitudes*) editaba en Francia el *Connaissance des Temps* (CT en lo que sigue) desde 1679, las tablas de las

² Una descripción somera del método y referencias bibliográficas pueden encontrarse en LAFUENTE Y SELLÉS [1988, pp. 41-44].

distancias lunares se tomaban de los ingleses, que se las remitían en cuanto las tenían preparadas para que aquéllos las pudieran incluir en sus efemérides.

Los marinos españoles del siglo XVIII dependían de efemérides extranjeras, bien francesas, bien inglesas, que además de ser difíciles de conseguir estaban referidas a meridianos distintos del correspondiente al Observatorio de Cádiz, origen de nuestra cartografía. Por este motivo se decidió incluir un suplemento anexo al *Estado General de la Armada* con algunas efemérides astronómicas tomadas del CT. Sin embargo, la necesidad de incluir mayor información referida al meridiano de Cádiz motiva que, a finales de 1790, Carlos IV dicte resolución en la que se ordena que se calculen y publiquen en forma autónoma unas efemérides astronómicas para uso de los navegantes, y se encomienda esta tarea al Observatorio Real de Cádiz. Desechada la primera intención de publicar estas efemérides como suplemento al *Estado General de la Armada*, se decide que aparezcan como publicación independiente, y en 1791 ve la luz el primer almanaque náutico: el *Almanaque náutico y efemérides astronómicas para el año bisiesto de 1792*. Salvando meritoriamente las vicisitudes históricas que han acaecido desde aquella lejana fecha de la primera publicación, la serie de tomos anuales en los que aparecen los almanaques náuticos no ha tenido interrupción.

En la evolución del *Almanaque Náutico* distinguimos cuatro épocas en función de su contenido:

- Primera época: 1792—1854. Se caracteriza por el arranque de la publicación, denominada *Almanaque Náutico y Efemérides Astronómicas*. A pesar del origen náutico de la publicación, está orientada tanto a astrónomos como a navegantes, apareciendo información que resulta de utilidad a unos, a otros, o a ambos.
- Segunda época: 1855—1911. Pasa a llamarse simplemente *Almanaque Náutico*, tratando de reflejar la nueva orientación de la publicación a partir de esta fecha, en la que se trata de dar preferencia a la navegación práctica. Sin embargo, no se descuida la astronomía práctica y aumenta gradualmente el número de las posiciones aparentes de estrellas que aparecen en la publicación. Por otra parte se proporcionan las efemérides del sistema solar en tiempo medio y con mayor densidad, de manera que la interpolación lineal sea suficientemente precisa. A partir del número de 1905 se suprimen las distancias lunares, por ser común entre los marinos el uso de cronómetros.
- Tercera época: 1912—1950. Aparece el *Extracto del Almanaque Náutico* donde sólo se incluye la información necesaria para los navegantes. Se hace efectiva la colaboración internacional, produciéndose el reparto de trabajos entre distintas instituciones, correspondiéndole al Observatorio de San Fernando el cálculo de las posiciones aparentes de un cierto número de estrellas horarias, número que varió con el tiempo por diversos motivos.

- Época actual. En el tomo para 1951 se produce un cambio de denominación, y el Extracto pasa a llamarse *Almanaque Náutico para uso de los navegantes* hasta el volumen de 1962, que reduce su nombre al actual de *Almanaque Náutico*; para evitar confusión, la publicación dedicada a astrónomos y geodestas, que se llamaba *Almanaque Náutico*, a partir del tomo para 1961 pasa a denominarse *Efemérides Astronómicas*. La información que se facilita a los navegantes permanece sin variaciones importantes desde 1951 hasta la fecha, contando con una “Explicación” a partir del tomo de 1952.

En lo que sigue, se describe la evolución del *Almanaque Náutico* (de aquí en adelante AN o Almanaque, indistintamente) en su primera época, quedando para posterior oportunidad el estudio detallado de las causas que motivaron los cambios subsiguientes que sufrió la publicación.

3. La primera época del *Almanaque Náutico* (1792—1854)

En esta época consideramos los 63 volúmenes para los años que van de 1792, el primer Almanaque, hasta 1854. Abarca la estudiada por Lafuente y Sellés, que en el capítulo X de su libro hacen un detallado estudio de las causas que motivaron el origen del AN, así como de su contenido los primeros años de publicación.

Comenzaba el Almanaque con una prefación donde se destacaba lo más relevante de la publicación; seguía con una explicación de los caracteres utilizados, los artículos principales del calendario (año correspondiente a otros calendarios, cómputo eclesiástico, quatro témporas y fiestas movibles), la oblicuidad aparente de la eclíptica con la ecuación de los puntos equinocciales, y los eclipses de Sol y Luna; el resto de la información se ordenaba por meses, y para cada uno de ellos se daban una serie de datos del calendario, incluyendo los Santos del día y festividades, así como las fases de la Luna y algunos fenómenos astronómicos. Otros fenómenos relevantes, como los anuncios de los pasos de Mercurio por el disco solar (AN 1799, 1802, 1832, 1845 y 1848) y de las desapariciones y reapariciones de los anillos de Saturno (AN 1803, 1819, 1832, 1833, 1848 y 1849), figuraban en las primeras páginas o incluso en el mismo prefacio.

Con respecto a las efemérides, básicamente se incluyen las posiciones o lugares del Sol, cada día, y de la Luna, cada 12 horas excepto la declinación que se presenta cada 6 horas; los lugares de los planetas observables se presentan cada cinco días, excepto Mercurio, cada 3, y el planeta Herschel (posteriormente rebautizado como Urano) cada 10 días. Las distancias lunares al Sol y a nueve estrellas brillantes, se presentaban cada tres horas. Además, se facilitaban las configuraciones de los satélites de Júpiter y la explicación del uso de las tablas con ejemplos. En esta época se produce el arranque de la publicación, y por la premura en la edición del primer tomo, es necesario copiarlo del inglés en una parte sustancial. Así, nos detalla Cipriano Vimercati en la prefación del primer Almanaque:

“Para los lugares del Sol se han hecho sencillamente las reducciones del Meridiano de Greenwich al de nuestro Real Observatorio.

Para los de la Luna y Mercurio se ha aplicado el método de las interpolaciones, á causa de que la rapidez é irregularidad del movimiento de estos planetas no permitía contentarse con la parte proporcional: bastando esta como en el Sol para Venus, Marte, Júpiter y Saturno.

Se han calculado directamente los fenómenos que penden de las paralaxes, como los eclipses, y las ocultaciones de estrellas por la Luna.

Lo mismo se ha practicado para los lugares del nuevo planeta Herschell, que no encontramos en el Almanaque de Greenwich, no obstante que empezáron á darse en una segunda edición del de 1788 hecha en el año anterior; bien que ya aparecen desde él de 1793 para adelante: y lo executamos por las tablas publicadas por Jeurat en el Conocimiento de Tiempos de 1787.

En los eclipses de los Satélites de Júpiter, aunque el momento del fenómeno se ha deducido simplemente por la diferencia de Meridianos, se han determinado con su señal oportuna los que no viéndose en Greenwich podrán observarse cómodamente en Cádiz, y suprimiendo las señales en los que por el contrario se puede hacer allí y no aquí, á causa de la diversidad en la depresion del Sol y altura de Júpiter: arreglando tambien las configuraciones de los Satélites, cuyas posiciones y aspectos para las horas indicadas cada mes en Cádiz se han señalado con todo el cuidado posible por el método gráfico ó jovilabio que está en uso y explica la Lande en su exposicion del cálculo astronómico.

En las distancias lunares ha parecido propio dexar las tablas tales quales están las inglesas, reduciendo su hora á la de Cádiz con la substraccion de los 25' 09" de la diferencia de Meridianos: justo testimonio de nuestro reconocimiento á quienes emprendieron los primeros tan penosas tareas: y no podrá ser tan pronto variar este método, mientras no nos desembaracemos de muchos trabajos preliminares para redondear originalmente nuestra empresa.”

Apareció también en este volumen una colección de tablas auxiliares “para los usos de la astronomía y navegacion” con su correspondiente explicación; entre dichas tablas se incluyó con el número XI un catálogo con la ascension recta, la declinacion y sus variaciones anuas, de 120 estrellas de primera, segunda y hasta tercera magnitud, reducidas al ecuador y equinoccio medios de 1791.

Para el Almanaque de 1793, ya se calculan en el Observatorio los lugares del Sol y la Luna, aunque para esta última la posición que se publica para la medianoche en el meridiano del Observatorio se obtenía por interpolación de las que se calculaban para los mediodías. En este tomo se añaden las tablas generales de aberración (Tabla XIII), calculadas por Delambre, y las de nutación (tres tablas en la Tabla XIV), por Lambert; también se incluyen las fórmulas a partir de las cuales se habían construido dichas tablas y las explicaciones pertinentes con ejemplos. Aparece por primera vez en este volumen una fe de erratas, la cruz de los editores, en la que se listan las observadas en el tomo de 1792, y que se justifican por las urgencia de la impresión:

“Habiendo sido el trabajo de aquel Almanaque tan ejecutivo como se indicó en su prefación (pág. VII), y héchose consiguiente una suma priesa en su impresión, ...”

En el tomo de 1794 se calcula todo excepto las distancias lunares, que se siguen copiando de los ingleses hasta el volumen de 1810, que se calcula íntegramente en el Observatorio. En este tomo de 1794 se suprimen las tablas de aberración y nutación y se reemplazan por otras relacionadas con las transformaciones que ligan el tiempo solar medio y el movimiento angular de las estrellas; también se sustituye la tabla de “variación de los astros en altura durante un minuto de tiempo” por la de “corrección de ángulos observados con instrumentos de reflexión por la desviación del plano en que se observa el contacto”. En este número, el AN proporciona una innovación con respecto a CT y NA en lo tocante a las ocultaciones de estrellas por la Luna, al referir la emergencia de la estrella al vertical que pasa por el centro de la Luna, en lugar de limitarse a indicar la diferencia aparente en Latitud de los dos astros en el instante de dicho acontecimiento. Este dato ofrecía mayor precisión de la posición por donde debía aparecer la estrella, facilitando así la observación del fenómeno.

El de 1795 sigue en esencia igual al anterior, aunque se reemplaza alguna tabla por otra de mayor utilidad para los navegantes. Hace anuncio de la inminente aparición de la *Colección de Tablas para varios usos de la navegación*, por el Capitán de Navío Joseph de Mendoza y Ríos (que se editarán en 1800), que excusarán la inserción en el AN de tablas auxiliares, proporcionando hueco en los apéndices para la divulgación de métodos, fórmulas y nuevas indagaciones³. En este tomo aparece como primicia el “Método para encontrar la distancia verdadera de la Luna al Sol, o a una estrella, conocida la aparente, u observada, y las alturas aparentes de

³ Como nos recordará el TN Rodrigo Armesto en la prefación del tomo de 1801, uno de los principales fines de la publicación del AN, era “...ir procurando sucesivamente a los Navegantes el conocimiento de los métodos, tablas e instrucciones que puedan auxiliarlos en la práctica de su penosa profesion”.

dichos astros”, por Francisco López Royo, Alférez de Fragata de la Real Armada. La relación de trabajos aparecidos en los apéndices de los AN hasta el de 1836 se encuentra en LAFUENTE Y SELLÉS [1988, pp. 387-395]; esta relación la completa González [1995], que añade una breve reseña a cada una de las memorias citadas por Lafuente y Sellés, y la amplía con dos memorias: una en el AN para 1813 (impreso en Londres) y otra en el de 1845. La relación debería completarse con la memoria de Sánchez Cerquero “Sobre la latitud del Observatorio Real de San Fernando”, aparecida en el tomo de 1838.

Muchos de los cambios aparecidos en los Almanques de esta época son menores, afectando algunos a meros aspectos editoriales, como el ocurrido en el AN para 1802 a partir del cual los lugares del planeta Herschel, que hasta la fecha aparecían como suplemento al final de las efemérides y antes de la Explicación, pasan a engrosar las páginas mensuales con los lugares de los planetas; o los derivados de las penurias de la Guerra de la Independencia, por las que se retrasa la edición del AN para 1811, que se imprime en Londres (así como las de 1812—1814) sin los artículos que no se consideran indispensables para los navegantes sin embargo de haberse trabajado (longitudes de la Luna, lugares de los Planetas y los Eclipses de los Satélites de Júpiter), y del que también se suprime la Explicación, que aparecerá reducida en los números siguientes hasta el de 1830 inclusive. También, desde el tomo de 1818 las estaciones de los planetas pasan de la columna de fenómenos a la cabeza de sus respectivas tablas junto con las demás fases, en el de 1838 se pasa de octavilla a cuartilla, y en el de 1839 dejan de ordenarse las distancias lunares por astros y pasan a agruparse por días.

Otros cambios estuvieron orientados a facilitar la interpolación de las cantidades tabuladas: así, a partir del AN para 1810 las declinaciones de la Luna se estiman para de 6 en 6 horas, y en el de 1831 y siguientes se presenta la diferencia diaria tanto para la ascensión recta como para la declinación del Sol.

Cambios más relevantes fueron: el cambio de meridiano de referencia, que se produce a partir del AN para 1801 con el cambio del Observatorio de Cádiz a la Isla de León; la inserción de las mayores mareas que acaecerán en el año, a partir del AN para 1809; la adición de una tabla para la reducción de la paralaje horizontal ecuatorial de la Luna a cualquier latitud⁴, que aparece por primera vez en el AN para 1810 y que definitivamente se agrega al Almanaque a partir del tomo de 1815; y la incorporación definitiva a partir de 1836 de tablas de refracciones atmosféricas medias, que ya habían aparecido en los AN de 1822, 1829 y 1834.

Aparte de las indeseadas erratas de las que se daba fe, también aparecieron algunos errores de diversa índole, en general de poca entidad. Así, en el prefacio del

⁴ Hasta entonces, la paralaje horizontal de la Luna sólo se reducía para la latitud de Cádiz.

tomo para 1802, Rodrigo Armesto corrige el error de 1,8 segundos en la longitud proporcionada en el tomo anterior para el meridiano de la Isla, “diferencia ciertamente no de la mayor entidad, pero de que no nos permiten desentendernos la exactitud y buena fe de que hacemos profesión”. Y en el tomo de 1824, el último firmado por Julián Canelas, éste aprovecha la prefación para revisar brevemente la evolución de los cálculos efectuados hasta la fecha; en ese tomo aparece una “Advertencia” en página sin numerar, en la que Josef Sánchez Cerquero, firmando como Director interino del Observatorio, advierte de un error en las fiestas movibles y avisa de cómo subsanarlo:

“La misma facilidad de las reglas que se emplean para hallar la Pascua habrá sido motivo de este descuido, porque lo común es emplear muchos medios de verificación, tan solamente para operaciones complicadas, en que se temen con más fundamento las equivocaciones. Sin embargo, desde que estoy encargado de la Dirección del Observatorio he tomado medidas, con las cuales creo absolutamente imposible que vuelva a cometerse semejante error. Este al cabo no afecta en manera alguna a la parte astronómica del Almanaque náutico, que constituye su objeto principal.

Lo dicho es bastante para satisfacción del público ilustrado. Ante la crítica, que nada disimula, tiene algún derecho para pedir indulgencia una persona que no ha sido la que ha cometido el yerro; y a los deprimidores de todo lo que es español advierte esa misma persona que en la mayor parte de los ejemplares del Conocimiento de tiempos de París de 1821 aparecieron faltas mucho más graves que la de que se trata en las fiestas movibles de aquel año; lo cual prueba que aquel que nada hace es el único que jamás se equivoca.”

Y el mismo Sánchez Cerquero advierte en el prefacio del tomo de 1830 de la equivocación en todos los volúmenes anteriores del número de años de la primera olimpiada y de la fundación de Roma, y proporciona la regla que se seguirá a partir de ese momento.

Sin embargo, la elaboración del AN era extremadamente cuidadosa y, en general, los errores introducidos provenían de las fuentes utilizadas, que se habían tomado como buenas. Así, en el AN para 1819, José M.^a de la Cuesta explica cómo corregir un error en los cálculos de los lugares de la Luna que había afectado a los tomos 1810—1818⁵. Otro error es detectado por Sánchez Cerquero tras un exhaustivo análisis de las tablas de la Luna utilizadas para calcular su paralaje ecuatorial,

⁵ Este error, detectado por el Coronel del Real Cuerpo de Ingenieros de Ejército Francisco Lemaury, y avisado por Josef Joaquín Ferrer, provenía de las fuentes utilizadas (tablas de Bürg, compiladas por Delambre) y ya lo había advertido Delambre en el CT de 1810 (impreso en agosto de 1808), que no había sido adquirido en el Observatorio.

error que publica en el prefacio del AN para 1832, estampando corregida la parte de la tabla errada⁶, así como otras erratas detectadas en esas mismas tablas de la Luna, y otras más en las tablas utilizadas para el cálculo de los pasos de Mercurio por el disco solar.

El resto de las modificaciones se refieren a la aparición de algunas tablas auxiliares, y a las sucesivas actualizaciones de los catálogos de estrellas ocurridas en los tomos de 1798, 1799, 1830, 1840, 1841 y 1850. A partir de este último tomo, el catálogo se actualizará en los volúmenes siguientes refiriéndolos al 1 de enero del año publicado. En el AN para 1842 se publican por primera vez las posiciones aparentes de 38 estrellas: 36 horarias principales de 10 en 10 días (así como las posiciones medias en el año) y α (la Polar) y δ de la Osa Menor diariamente. Aunque para la práctica ordinaria de la navegación astronómica se usaban sin error apreciable las posiciones medias obtenidas de los catálogos, las nuevas tablas se facilitaron, en emulación de otros almanaques, con objeto de satisfacer las necesidades de los astrónomos para evitar corregir por aberración y nutación, al pasar de la posición media dada por el catálogo a la aparente que se observa.

4. Fuentes utilizadas en la primera época

En esta primera época, la fuente fundamental para la realización de los cálculos es la *Astronomía* de Lalande, en sus segunda y tercera ediciones. En dichos tratados Lalande compilaba tablas de otros autores, aparte de las propias. Se detallan a continuación las fuentes utilizadas en la elaboración de los almanaques, excepto para el de 1792 que se copió en gran parte del NA de 1792, acompañando, en su caso, detalles de la edición o ediciones que posee el Observatorio.

4.1. Lugares del Sol

En el AN de 1793 se trabajaron las Tablas de Mayer del Sol, entregadas al Tribunal de Longitud después de su muerte y publicadas en 1770, las mismas que se utilizaron en el NA 1792. A partir del AN para 1794 y hasta el AN para 1810, se usan las Tablas de Delambre para el Sol, publicadas en la III edición de la *Astronomía* de Lalande, donde la posición del Sol se proporcionaba con errores menores de 10". Desde el AN para 1811 el Sol se calcula con "las nuevas tablas de Mr. De Lambre, impresas en París el año de 1806, y publicadas por la Junta de Longitudes de Francia en su primera parte de tablas astronómicas", aunque a partir del AN para 1822 la ecuación de tiempo no se toma de las tablas de Delambre, sino que se calcula por diferencia entre las Ascensiones Rectas verdadera y media del Sol. A partir del AN para 1833, se usan las Tablas de Carlini, Astrónomo Real de Milán, publicadas en 1810 (construidas sobre los mismos elementos que las francesas de 1806, que hasta aquí se utilizaban, pero dispuestas de un modo que facilita sobre manera

⁶ En el volumen de la colección del Observatorio aparece suelta una cuartilla manuscrita donde se corrige alguno de los valores estampados en la tabla.

el cálculo, y más correctas que las anteriores); a partir del AN para 1835, se aplican las correcciones que resultan de las determinaciones de Bessel, insertas en las adiciones del CT para 1831, pero usando en vez de la tabla (I bis) de dichas adiciones la I de la colección publicada por Bessel en 1830 con el título de *Tabulae Regiomontanae*.

4.2. Lugares de la Luna

Hasta el AN de 1809 se utilizaron las Tablas de Mayer de la Luna, verificadas y corregidas por Mason bajo la dirección del astrónomo real Maskelyne (llamadas por Mason “tablas de 1780”, según cita Julián Canelas en la prefación del AN para 1824). Fueron publicas en Inglaterra en 1787, y proporcionaban la posición de la Luna con precisión de 30 segundos. De acuerdo con Maskelyne (redactor del NA), no se empleó la ecuación 18^a de dichas tablas, por dudarse que fuera correcta. A partir del AN de 1799 se tienen en cuenta las variaciones hechas por Lalande en la III edición de su *Astronomía*. A partir del AN de 1810 se usarán las muy modernas y exactas tablas lunares de Bürg⁷, tomadas de las tablas astronómicas de Delambre, aunque a partir del volumen siguiente se aumentan en 4” las longitudes medias para conformarlas con las últimas determinaciones de la precesión hechas por el propio Delambre. A partir del AN para 1819 se usan las tablas de Burckhardt, publicadas en diciembre de 1812 por la Junta de Longitudes de Francia, muy superiores a las de Bürg:

“... del cotejo simultáneo con las tablas de Bürg [...] resultó muy inferior la suma de los cuadrados de los errores [...] conforme a la teoría de las probabilidades de Mr. La Place.”

Desde 1924 se utiliza una edición ampliada de las tablas de Burckhardt, preparada en el Observatorio para facilitar los cálculos. En estas tablas, amén de otras erratas, se detectaron errores en la paralaje ecuatorial de la Luna, errores que se corrigen, de acuerdo con los análisis efectuados por Sánchez Cerquero, a partir de el AN para 1832. En el AN para 1835, debido a una mejor determinación del punto equinoccial en los catálogos estelares, para el cálculo de las distancias lunares es necesario sumar 3” a las longitudes de la Luna obtenidas de las tablas de Burckhardt.

4.3. Planetas

Para los AN de 1792 y 1793, los lugares de los planetas, excepto Herschel, se tomaron de los correspondientes NA, que utilizaba para su cálculo las tablas de

⁷ Las tablas de Bürg estaban disponibles en el Observatorio con anterioridad, como se reconoce en el AN de 1807: “... que hemos logrado manuscritas por el Brigadier de Marina, Gefé del Depósito Hidrográfico Don Josef Espinosa, quien nos manifestó ser deudor de esa preciosa colección a la generosidad de los Señores Don Pascual Enriles y Mr. Mechain.”

Lalande insertas en la II edición de su *Astronomía*. Los lugares de Herschel se bajaron por las tablas de Jeurat, publicadas en el CT de 1787. Para los AN 1794—1846, se utilizan las tablas siguientes, publicadas en la III edición de la *Astronomía* de Lalande: las de Lalande para Mercurio, Venus y Marte; las de Delambre para Júpiter y Saturno, calculadas conforme a la teoría de Laplace, donde la posición del primero se daba con un error inferior a medio minuto, y la del segundo con error de pocos segundos; y las de Delambre de 1789 para Herschel, donde la posición se daba con un error inferior a 8 segundos. A partir del AN de 1847 se emplean las tablas de Lindeneau para Mercurio, Venus y Marte, y las de Bouvard para los planetas exteriores, publicadas en París en 1821.

4.4. Satélites de Júpiter

Desde el AN de 1792 hasta el de 1824, se utilizó el método del jovilabio para calcular las configuraciones de los satélites de Júpiter, según se describe en la II edición de la *Astronomía* de Lalande. A partir del AN para 1825 se utilizan las Tablas de Delambre publicadas en las adiciones del CT de 1808, considerando este método más expedito y más exacto que el del jovilabio. En el AN para 1849 se utiliza por primera vez el método que inserta Damoiseau al fin de sus tablas.

Para los eclipses de los satélites de Júpiter se utilizan las tablas de Wargentin publicadas en la II edición de la *Astronomía* de Lalande, excepto el segundo satélite que se toma de las tablas del mismo Wargentin publicadas en el NA de 1779. Estas tablas se basaban en ecuaciones empíricas y se utilizaron hasta que en el AN de 1798 pasan a calcularse por las tablas de Delambre (III edición de *Astronomía*), calculadas conforme a la teoría de las atracciones mutuas de los satélites dadas por Laplace en las Memorias de la Academia de las Ciencias de 1784 y 1788. Estas tablas se reemplazarían a partir del AN para 1825, por las nuevas del mismo autor publicadas en París en 1817. A partir del AN para 1842, los anuncios de los eclipses de los Satélites de Júpiter se calculan por las Tablas de Damoiseau, publicadas en París en 1836.

4.5. Estrellas

En el AN para 1792 se inserta un catálogo de posiciones medias de 120 estrellas de primera, segunda y hasta tercera magnitud (con la ascensión recta, la declinación y sus variaciones anuas), que se extrae de otro de 358 estrellas reducido por Delambre al ecuador y equinoccio medios de 1 de Enero de 1791, conforme a las observaciones de La Caille, y publicado en el CT de dicho año. Este catálogo se actualiza en el AN para 1798, reduciéndolo al 1 de enero de ese año y actualizando algunas de las estrellas en bases a mejores determinaciones de su posición sobre las observaciones más recientes efectuadas por Delambre y Le Francais, tomadas del catálogo de 500 estrellas visibles desde París, que se publicó en el CT de 1797. En el siguiente tomo se actualiza a 1 de enero de 1799. En el AN de 1833 se inserta un catálogo de 60 estrellas para 1 de enero de 1830 y posiciones medias de la Polar para 1 de enero de los años 1830, 40, 50 y 60, tomado del inserto en el segundo

tomo de las memorias de la Sociedad astronómica de Londres impreso en 1826. A partir del AN de 1835, las posiciones de las 9 estrellas para las que se daban distancias al centro de la Luna se toman del catálogo inserto en la página 162 del NA para 1832, que tiene en cuenta la mejor determinación del punto equinoccial en esas fechas.

A partir del AN para 1840, para el cálculo de posiciones aparentes se toman las estrellas de Bessel (Tablas Regiomontanas), Pond (catálogo de Greenwich de 1112 estrellas) y Johnson (catálogo de 606 estrellas australes). Algunas posiciones de las estrellas de las Tablas Regiomontanas de Bessel, se corrigen posteriormente (a partir del AN de 1842 y, luego, de 1845) en base a mejores determinaciones de las distancias polares, deducidas de las observaciones efectuadas en el Observatorio. Dichas Tablas Regiomontanas sólo alcanzaban hasta 1849, por lo que es necesario prolongar su validez añadiendo nuevas tablas, que se calculan en el observatorio en base a las fórmulas presentadas por Bessel en las susodichas tablas y otras fuentes que se presentan en el AN de 1850. En ese mismo tomo las posiciones medias se toman, aparte de las 38 calculadas de Bessel, del catálogo de la Asociación Británica impreso en Londres en 1845.

4.6. Varios

En el AN para 1793 aparecen tablas generales de aberración (calculadas por Delambre) y de nutación (por Lambert) y las fórmulas para calcularlas. Aparece por primera vez en el tomo de 1798 una tabla para el cálculo de la latitud por la altura de la polar, tomada de la relación del viaje que en 1782 y 1783 hizo De Lowenorn, Oficial distinguido de la Marina Real Danesa, para examinar los relojes. A partir del AN para 1809 se presentan las mayores mareas que acaecerán en el año, calculadas según la teoría de Laplace presentada en el CT para 1800 y ya introducida en las Memorias de la Academia de París para el año de 1790. En este volumen de 1809, firmado en 1806, se presentan las correspondientes a los años 1806—1809. El AN para 1822 presenta la adición “De las Refracciones de los Astros”, con tablas tomadas del CT para 1821, construidas con la fórmula dada por Laplace en su *Mecánica celeste* (tomo IV, pág. 271), y unas tablas de Sánchez Cerquero para facilitar el cálculo de la ecuación de alturas correspondientes. El AN de 1829 toma del NA para 1822 las tablas de refracciones atmosféricas medias, calculadas por la fórmula dada por Young en las *Transacciones filosóficas* para 1819.

En el AN para 1832, dice Sánchez Cerquero que para el cálculo del paso de Mercurio por el disco solar usa las tablas solares de Zach de 1804 (de las que corrige algún error) y las de Lindeneau para los elementos de Mercurio. También en la prefación trata la desaparición y reaparición de los anillos de Saturno, para cuyo cálculo usa las fórmulas dadas por Delambre en su *Astronomía*, comentando alguna diferencia con los resultados que propone Dusejour en su *Traité analytique*.

4.7. Fuentes en la biblioteca del Observatorio

Se detallan a continuación, con su correspondiente signatura, las fuentes utilizadas en la elaboración del AN que hasta la fecha se han localizado en la biblioteca del Observatorio, ordenadas cronológicamente.

- Mayer, T.: 1767, *Theoria Lunae juxta systema newtonianum*, Richardson et Clark, Londini. (24995)
- Mayer, T.: 1770, *Tabulae motuum Solis et Lunae novae et correctae*, G. et Richardson, Londini. (02240)
- Lalande: 1771, *Astronomie* 2ª edición revisada y aumentada (5 vol.), Desaint, París. (01920)
- Mason, Charles: 1787, *Mayer's lunar tables*, William Richardson, London. (02666)
- Lalande y otros: 1792, *Connaissance des temps*, Academie Royale des Sciences, Imprimerie Royale, París. (10481)
- Lalande, Jérôme (Le Français): 1792, *Astronomie* 3ª edición revisada y aumentada (3 vol.), Desaint, París. (01915)
- Lalande: 1792, *Tables astronomiques... pour servir à la troisième édition de l'Astronomie*, Desaint, París. (02698)
- Zach, Barón de: 1792, *Tabulae motuum Solis novae et correctas ex theoria gravitatis...*, Apud C.G. Ettioner, Gothae. (02953)
- Mendoza y Ríos, J.: 1800, *Colección de Tablas para varios usos de la navegación*, Imprenta Real, Madrid. (01421)
- Bürg, Delambre: 1806, *Tables astronomiques publiées par le Bureau des Longitudes de France*, Couscier, París. (25362, 02697)
- Bouvard, M.: 1808, *Tables astronomiques publiées par le Bureau des Longitudes de France*, Couscier, París. (02939)
- Carlini, F.: 1810, *Esposizione di un nuovo método di costruire le tavole astronomiche*, Stamperia, Milano. (02806)
- Burckhardt, M.: 1812, *Tables astronomiques publiées par le Bureau des Longitudes de France (Tables de la Lune)*, Couscier, París. (02712, 23974)
- Lindenau, B.: 1813, *Investigatio nova orbitae a Mercurio circa Solem descriptae*, Lib. Beckeriana, Gothae. (02261, 26948)
- Delambre, M.: 1817, *Tables ecliptiques des satellites de Jupiter*, Couscier, París. (02711)
- Lindenau, B.: 1821, *Tabulae Martis novae et correctae ex theoria gravitatis...*, Lib. Scholniana, Eisemberg. (02713)
- Bouvard, M.: 1821, *Tables astronomiques publiées par le Bureau des Longitudes de France*, Bachelier, París. (02933)
- Damoiseau: 1824, *Tables de la Lune*, Bachelier, París. (01420)
- Damoiseau: 1828, *Tables de la Lune*, Bachelier, París. (05156)
- Bessel, F.W.: 1830, *Tabulae regiomontanae reductionum observationum astronomicarum 1750—1850*, Bachelier, París. (02749, 09995)

- Damoiseau: 1836, *Tables ecliptiques des satellites de Jupiter*, Bachelier, París. (02929, 25831, 26552)
- Pujazón, A., Garrido, F.: 1840, *Tablas de las 32 ecuaciones de la longitud lunar de Burckhardt*, Observatorio, San Fernando. (02258, 26557, 26920)

Bibliografía

Colección de *Almanques Náuticos* del Real Instituto y Observatorio de la Armada en San Fernando.

LAFUENTE, A. y SELLÉS, M.A. (1988) *El Observatorio de Cádiz (1753—1831)*, Ministerio de Defensa, Madrid.

GONZÁLEZ GONZÁLEZ, F.J. (1992) *El Observatorio de San Fernando (1831—1924)*, Ministerio de Defensa, Madrid.

GONZÁLEZ GONZÁLEZ, F.J. (1995) “El Almanaque Náutico y la difusión de la Astronomía en la España de la primera mitad del siglo XIX: trabajos publicados”, *Revista de Historia Naval*, **51**, 33-58