



FACULTADE DE MATEMÁTICAS

Traballo Fin de Grao

Calendarios astronómicos

Paula González Falqué

2019/2020

UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

GRAO DE MATEMÁTICAS

Traballo Fin de Grao

Calendarios astronómicos

Paula González Falqué

Julio, 2020

UNIVERSIDADE DE SANTIAGO DE COMPOSTELA

Trabajo propuesto

Área de Coñecemento: Astronomía e Astrofísica.
Título: Calendarios astronómicos
Breve descrición do contido
<p>A humanidade necesita referir cronoloxicamente os seus acontecementos. O calendario constitúe unha referencia indispensable para ordenalos. Estudarase a xéneses e a evolución destas estruturas a partir dos fenómenos astronómicos que rexen a nosa vida civil.</p> <ul style="list-style-type: none">▪ Tipos de calendarios: lunares, solares, lunisolares.▪ Análise histórico do calendario gregoriano.▪ Calendarios noutras culturas.▪ Escalas continuas de tempo. Transformacións.
Recomendacións
<ul style="list-style-type: none">▪ J-P. Parisot et F. Suagher. Calendriers et chronologie. Mason (2002)▪ W. Segura. Hemerología. La ciencia de los calendarios. Editorial Acento 2000 S. L. (2006)▪ Ter cursado ou estar cursando a materia de Fundamentos de Astronomía.
Outras observacións

Índice general

Resumen	VII
Introducción	IX
1. Origen y motivación de los calendarios	1
1.1. Historia del calendario	1
1.2. Fundamentos astronómicos	8
1.2.1. Movimientos terrestres	8
1.2.2. Movimientos lunares	13
2. Tipos de calendarios	17
2.1. Calendario solar	18
2.1.1. Calendario gregoriano	20
2.2. Calendario lunar	27
2.2.1. Calendario musulmán	27
2.3. Calendario lunisolar	31
2.3.1. Calendario judío	33
3. Conversión de fechas	41
3.1. ISO-8601	41
3.2. Data Juliana y Épocas Besseliana y Juliana	42
3.2.1. Data Juliana	42
3.2.2. Épocas Besseliana y Juliana	43
3.3. Aplicación	46
Anexo I: Código del programa <i>calendarios-astronomicos</i>	55
Bibliografía	63

Resumen

El calendario surge de la necesidad de representar el paso del tiempo y es el reflejo de cómo cada civilización lo adaptó de acuerdo a su cultura. A su vez, también está regido por los movimientos del sistema Luna-Tierra-Sol. Este desarrollo es uno de los objetivos de este trabajo.

Otro de los propósitos de esta memoria es la explicación de los tres tipos de calendarios que difieren entre ellos en el cuerpo astronómico que toman como referencia (solares, lunares y lunisolares), junto con un ejemplo específico de cada uno (gregoriano, musulmán y judío, respectivamente).

Por último, se complementa este proyecto con la exposición del formato ISO-8601, de la data juliana y de las épocas besseliana y juliana. Además, se adjunta la implementación de un código programado en Python, que realiza la conversión de fechas entre distintos calendarios y es ejecutable desde la terminal del programa y desde una página web.

Abstract

The calendar arises from the need to represent the passage of time and it is the reflection of how each civilization adapted it according to their culture. In turn, it is also ruled by the movements of the Moon-Earth-Sun system. This development is one of the objectives of this work.

Another of the goals of this report is the explanation of the three types of calendar that differ among themselves in the astronomical body they take as a reference (solar, lunar and lunisolar), together with a specific example of each (gregorian, muslim and jewish, respectively).

Finally, this project is complemented by the exposition from the format ISO-8601, the Julian Date and the Besselian and Julian epochs. Also, the implementation of a code programmed in Python is attached, which performs the date conversion between different calendars and is executable from the program terminal and from a web.

Introducción

Se dice que las matemáticas se hallan detrás de todo, sin embargo, el entendimiento y visibilidad de su relación con la vida cotidiana es, cuanto menos, costosa. La elección de este Trabajo Fin de Grado vino motivada por el interés de querer investigar y mostrar que las matemáticas son la base de algo tan importante como los calendarios, herramientas que permiten llevar un orden cronológico de la Historia y también una organización del día a día.

En el desarrollo de esta memoria se tratará principalmente de reflejar la cronología general del calendario, los fenómenos astronómicos que intervienen, los tipos de almanaques existentes y la implementación de un programa. Para ello, la estructura de este trabajo será la siguiente:

Se comenzará con un primer capítulo introductorio que presentará la historia de los calendarios y los fundamentos del sistema Sol-Tierra-Luna, donde se verán los movimientos de rotación terrestre, traslación terrestre y traslación lunar, entre otros.

A continuación, el segundo capítulo mostrará una clasificación determinada que consta de tres tipos de calendarios. Dentro de cada una de las clases, se desarrollará un calendario concreto a modo de ejemplo.

Por último, la tercera sección estará dedicada a los cambios de fechas entre distintos calendarios, donde se expondrá la implementación de un programa en el lenguaje informático Python. También se expondrán el formato ISO-8601, la Data Juliana y las épocas besseliana y juliana.

Además, por motivos de extensión, se incorpora el código de dicho programa como anexo.

En la bibliografía, con la que se finaliza este trabajo, solo se han incluido los libros, artículos y páginas web empleados explícitamente para su realización.

Capítulo 1

Origen y motivación de los calendarios

Este primer capítulo se inicia con la presentación de la procedencia y desarrollo del calendario a lo largo de la historia y de cómo las culturas más trascendentales han incluido cambios y/o mejoras en este a lo largo de los siglos mediante la influencia de la sociedad, la astronomía, las matemáticas, la filosofía y la religión. Posteriormente, se introducen los movimientos básicos astronómicos del sistema Sol-Tierra-Luna relacionados con las unidades fundamentales del calendario.

1.1. Historia del calendario

La humanidad precisa de referencias temporales, ya no solo por lo práctico que pueda llegar a ser, sino por la ilusa creencia de poder controlar el tiempo. Y fue, precisamente, esa necesidad del orden cronológico de los sucesos históricos lo que llevó a la creación de los calendarios, un empleo práctico de las matemáticas, que se manifiesta de diversas maneras debido al elevado número de culturas a lo largo de la historia que implementaron sus propios calendarios; lo cual ha provocado que, hoy en día, se tenga la mezcla de algunos de ellos o la reforma de los ya existentes en el pasado. Sin embargo, se debe recordar que, como se menciona en Barja [4],

“los calendarios son un contrato social y no tratados científicos”.

El calendario es un conjunto de normas destinado a la medición del tiempo en periodos regulares y tiene un acontecimiento arbitrariamente elegido como origen para la determinación de fechas; este acontecimiento suele ser proléptico, *i.e.*, anterior a la fecha en que se definió como origen. La historia del calendario está totalmente ligada a la historia de

los seres humanos, pues el desarrollo y progreso de la humanidad está marcada por hechos históricos trascendentes.

En un primer momento solo existían las horas de luz y las horas de oscuridad, pero ya en la época prehistórica se tenía constancia del ciclo lunar, por ello, los primeros calendarios de la historia fueron lunares. En el paleolítico superior existían tres formas de transcripción: mediante huesos grabados (las rayas y circunferencias estaban ligadas a los días, y las cúpulas y espirales con la Luna), mediante guijarros pintados o grabados (con puntos o cruces) y mediante las orientaciones de los megalitos (representaban el tipo de Luna y su inclinación variaba según los puntos más altos y bajos de la Luna o el Sol). De hecho, el calendario más antiguo conocido hasta hoy data del año 8000 a.C. y se encuentra en un monumento mesolítico de Aberdeenshire, Escocia; creado por comunidades de cazadores y recolectores, trataba de imitar las distintas fases de la Luna mediante hoyos, que, a su vez, estaban perfectamente alineados en el solsticio de invierno, lo cual indica que esta disposición dotaba a las comunidades cazadoras-recolectoras la posibilidad de hacer un seguimiento preciso anual del paso de las estaciones para conocer qué fuentes de recursos alimenticios estaban disponibles en cada época del año.

Con el surgimiento de nuevas civilizaciones fueron creándose nuevos almanaques basados en los conocimientos científicos y astronómicos de la época, también se vieron sumamente influenciados por la religión y política de cada sociedad.

Fueron los sumerios quienes dividieron el día en 12 horas, y cada hora a su vez, en 30 partes. Posteriormente, los babilonios crearon la fragmentación del día en 24 horas de 60 minutos y observaron que la Luna Nueva aparecía cada 29 ó 30 días y que cada 12 Lunas Nuevas transcurrían las cuatro estaciones. Por ello, dividieron su año en 12 meses lunares alternados de 29 ó 30 días y, de esta forma, el año duraba 354 días, lo que ocasionaba que, después de cierto tiempo, la festividad de la cosecha no ocurriese en primavera, sino en invierno. Para ello, añadieron un nuevo mes a siete de los diecinueve años de cada ciclo para que el calendario lunar volviese a coincidir con las estaciones. Cabe destacar que el calendario babilónico no tenía en cuenta la noche.

La siembra y la cosecha eran una primera necesidad de supervivencia, por lo que era fundamental conocer las fechas óptimas para su realización. Los primeros en medir el tiempo que transcurría entre una cosecha y otra y elegir cuál era la mejor época para la agricultura fueron los antiguos egipcios (2780 a.C.); es decir, crearon el primer calendario solar y tuvieron en cuenta las estaciones. El mejor momento para la siembra era tras el desbordamiento anual del río Nilo, pues el agua dejaba una fértil capa de limo. Inicialmente, los sacerdotes egipcios pensaron que contando las 12 Lunas Nuevas que aparecían entre una y otra inundación podrían advertir a los agricultores con antelación para la disposición de lo

necesario para plantar. Posteriormente, se percataron de que una vez al año (alrededor del momento de la crecida del río Nilo) aparecía una estrella muy brillante justo antes de que el Sol amaneciese, esta estrella es *Sirius* y coincide con el solsticio de verano. Observaron que este fenómeno sucedía cada 365 días y dividieron el año en 12 meses de 30 días cada uno, sumándole los cinco días restantes al final. Este calendario se dividió en tres estaciones de cuatro meses cada una: la primera coincidía con la inundación o crecida del río Nilo, la segunda con la capa fértil y la siembra y la tercera con la recolección o cosecha. Los cinco días restantes los denominaron *Epagómenos* y se consideraban de carácter festivo y dedicados a los dioses. Además, los egipcios fraccionaron los relojes solares en 12 secciones, la primera al amanecer y la doceava al anochecer. Sin embargo, estos relojes no funcionaban en la noche y fue cuando descubrieron que existía el pasaje de doce estrellas. De esta forma, el día se dividía en doce intervalos diurnos dictados por la posición del Sol y doce nocturnos reflejados por las estrellas visibles en la noche; o sea, 24 periodos desiguales (los días son más largos en verano y las noches más largas en invierno) conformaban un día. Fue el griego Ptolomeo, S.II d.C., quien equiparó la geometría circular de 360° con la duración de cada hora, es decir, 1° entre 60 y entre 60, creándose las dos partes: *parte minuta primae* y *parte minuta secundae*, o sea, lo que hoy se conoce, respectivamente, como minutos y segundos.

Paralelamente, una de las grandes y más antiguas culturas es la civilización china y, acorde con su historia, se encuentra su calendario. En la antigüedad, el emperador debía instaurar un calendario con su llegada al poder y, por ello, contaba con un gran número de astrónomos a su disposición; esta es la razón por la cual han existido múltiples calendarios chinos a lo largo de los siglos. Estos astrónomos no se contentaron solo con la organización del calendario, sino que registraron el catálogo más extenso de nuevos objetos aparecidos en el cielo. Desde el 2800 a.C. más de 3.000 objetos nuevos fueron señalados en el cielo y hoy se sabe que se trataban de cometas y estrellas tipo “nova”. El primer calendario chino data del año 2937 a.C. y, desde entonces, cada siglo consta de 60 años, distribuidos en 5 ciclos de 12 años. Actualmente, este almanaque es de tipo lunisolar que comprende doce o trece meses de 29 ó 30 días comenzando con la conjunción Sol-Luna. El intercalado es de siete meses sobre el ciclo de 19 años. El inicio del año se sitúa en los inicios de la primavera y varía entre el 21 de enero y el 20 de febrero.

En otro país del continente asiático, India, reside otra de las grandes civilizaciones y su historia científica está muy documentada desde el 2000 a.C.. Hacia el 1500 a.C., su civilización es invadida por los arios y este nuevo periodo es caracterizado por la elaboración del *Veda* (el Saber). Entre esta literatura hace falta citar la *Rigveda*, colección de himnos en los cuales se encuentran datos médicos, psicológicos y astronómicos en relación con la

cronología de las ceremonias brahmánicas, religión impuesta por los arios. La historia del mundo es separada en cuatro épocas llamadas *yugas* cuyas duraciones son expresadas en años sidéreos y constituyen un total de 4.320.000 días (un *mahayuga*); esta cifra tiene su origen en la coincidencia entre el año sidéreo y el día solar medio. La vida cósmica es cíclica y en eterno retorno: la división de los periodos astronómicos en ciclos tenía un papel importante y el *Veda* estaba dividido en tantos elementos métricos como el año contiene “momentos”. El año contiene 10.800 momentos (12 meses de 30 días divididos en 15 momentos de día y 15 momentos de noche). Cada elemento contiene 40 sílabas, el *Veda* contiene un total de 4.320 sílabas. La unidad fundamental es la treintena de día y dos “grandes años”, de 10.800 y de 432.000 años, son la base de los ciclos cósmicos. En un texto más tardío, el *Jyotishavedânga*, los “elementos astronómicos del saber” contienen los principios del calendario y la representación del sistema del mundo. En resumen, el calendario hindú consta de años de 366 días (divididos en tres estaciones) que se reagrupan en ciclos de 5 (1.830 días). Después del periodo védico y brahmánico, la literatura astronómica está influenciada por un gran número de obras científicas mesopotámicas y griegas. Actualmente, existen múltiples calendarios hindúes según el pueblo o la tribu y, desde 1957, existe un calendario oficial, basado en cálculos matemáticos y de tipo lunisolar, que comienza con la era Shaka en el año 78 d.C.

En el S.VIII a.C., el poeta griego Hesiodo indica en sus escritos que, en su tiempo, los griegos utilizaban un calendario solar con el que prevenir las estaciones y el tiempo meteorológico, echando mano de conocimientos botánicos campesinos rudimentarios y de datos astronómicos reunidos a lo largo de muchas generaciones, por lo que también en la Grecia primitiva el modo de computar los días era solar. Su calendario constaba de meses de tres décadas de diez días y fue en el año 747 a.C. cuando comenzó a contarse el tiempo en años, contribución griega que puso orden cronológico a la Historia y que, a su vez, tuvo muchas complicaciones debido a la diferencia de calendarios y a los errores de cálculo existentes. Además, el astrónomo griego Metón (S.V a.C.) descubrió que 19 años solares del calendario griego coincidían con 235 lunaciones, lo que significaba que cada 19 años solares la Luna volvía a pasar por las mismas fases en los mismos días y a las mismas horas, con lo que se ajustaba el inicio del curso lunar con el solar. Este ciclo se dio a conocer en el año 433 a.C. por motivo de los Juegos Olímpicos y recibió el nombre de ciclo decemnoval y, actualmente, se le denomina ciclo de Metón o ciclo metónico.

Por otro lado, Rómulo y Remo fundaron Roma en el año 753 a.C. y existieron cuatro tipos diferenciados de calendario romano que fueron sucediéndose:

- Calendarios lunares: Año de 295 días divididos en 10 meses de 29 ó 30 días.
- Calendario de Rómulo: Año de 304 días dividido en 10 meses (6 meses de 30 días y

4 meses de 31 días) que no coincidía ni con la Luna ni con el Sol, comenzaba con el equinoccio de primavera y con el mes *primus*, o sea, marzo. Cuando el desfase respecto a las estaciones era muy marcado, se dejaban trascurrir los días sin contar los meses hasta reestablecerse la concordancia.

- Calendario de Numa: Numa Pompilio, sucesor de Rómulo, en el año 678 a.C. añadió dos meses (de 28 días cada uno, los que corresponderían actualmente con Enero y Febrero) al calendario y un día a cada uno de los cuatro meses que ya tenían 30 días, obteniéndose así un año de 354 días. Por superstición y aversión a los números pares, se agregó un día más a lo que hoy se conoce como Enero, quedando este mes con 29 días y el año con 355 días. Se hicieron finalmente ciertos reajustes de manera que el año estaba compuesto por 4 meses de 31 días, 7 meses de 29 días y un mes (febrero) con 28 días y debido a que se quería aproximar el calendario al año solar, se decidió intercalar cada 8 años 90 días, de forma que cada 2 años se intercalaría un mes de 22 ó 23 días (denominado *Mercedonius*, de *merces*, “pagas”, pues era costumbre pagar en ese momento del año) después del 24 de febrero, omitiendo los días restantes del susodicho. Sin embargo, la verdadera realidad era que la intercalación de este mes complementario era muy irregular, pues los pontífices (encargados de la gestión del calendario) modificaban la duración de este mes complementario según existiesen intereses particulares o políticos y no siguiendo las reglas establecidas. Fue en el año 153 a.C. cuando se decidió que el año comenzaría en enero y no en marzo, por ser esta la época en la que comenzaban a trabajar los cónsules.
- Calendario juliano: Se sabe que en el 50 a.C. existía un retraso acumulado de 8 semanas respecto a las estaciones, y fue en el año 46 a.C. cuando Julio César, aconsejado por el astrónomo alejandrino Sosígenes, corrigió dicho atraso de manera que se añadieron tres meses al presente año, se abandonó el calendario lunar y los meses siguieron un orden estacional empleando el año solar con una duración de 365,25 días; de esta manera, se introdujo el concepto de año bisiesto. Así, el 1 de enero de 45 a.C., César instauró el calendario juliano con el siguiente formato: *Ianuaris* 31, *Februarius* 29, *Martius* 31, *Aprilis* 30, *Maius* 31, *Iunius* 30, *Quintilis* 31, *Sextilis* 30, *September* 31, *October* 30, *November* 31, *December* 30. Y se debería intercalar, cada cuatro años, un día extra (*bis sextum dies ante kalendas martias*) entre el sexto y el quinto día antes de las kalendas¹ de marzo; es decir, tras el 23 de febrero en sustitución del mes intercalar. De esta manera, comenzó a utilizarse *bis sextum* para

¹En latín, *kalendae*, corresponden al primer día de cada mes, teóricamente cuando ocurría la Luna Nueva.

referirse al año de 366 días (año bisiesto) y, en dicho año, *Februarius* tenía 30 días y todos los meses seguían una regla de alternancia entre 30 y 31 días. Un año más tarde, en el 44 a.C., tras la muerte de Julio César y durante el consulado de Marco Antonio, se aprobó el cambio de nombre de *Quintilis* por *Iulius*, en honor a Julio César (pues había nacido en dicho mes). De manera análoga, en el año 8 a.C. se cambió el nombre de *Sextilis* por el de *Augustus*² en honor al primer emperador y esta elección fue tomada por ser el mes en el que los éxitos militares y políticos del emperador Augusto fueron mayores. Desde el año 45 a.C. hasta el año 9 a.C., la intercalación del día complementario se hizo de manera errónea cada 3 años. Motivo por el cual, el emperador Augusto ordenó la anulación de los bisiestos hasta el año 8 d.C., año a partir del cual se continuó correctamente la regla. Desde este momento, el calendario juliano no se modificó hasta 1582, año en el que lo sustituyó el calendario gregoriano.

Los hebreos fueron un pueblo inicialmente nómada, asentándose finalmente en la zona de Palestina y tomando prestado los conocimientos científicos de los pueblos colindantes. Además, desde el S.VIII a.C. Israel ha sido dominado por distintas civilizaciones (asirios, persas, romanos...). En el S.V a.C. se redactó el Génesis, libro según el cual el mundo fue creado en seis días con un séptimo de descanso. Así, aunque fueron los babilonios quienes introdujeron la semana de siete días, los judíos fueron quienes la tomaron dándole a uno de los días un carácter festivo por prescripción divina. De esta forma, las semanas estaban centradas en el día del Sabbath y no se nombraba al resto de días de acuerdo a los astros del sistema solar conocido, sino numerándolos. Asimismo, el calendario hebreo es un calendario lunisolar basado en la Torá y la versión que se conoce en la actualidad y por la que se rige la elección de las festividades judías fue realizada en el año 379 d.C y se basa en cálculos matemáticos y astronómicos que permiten predecir las fechas de la Luna Nueva. Este calendario comienza con lo que se conoce como la génesis del mundo que en el calendario gregoriano sería el día 7 de julio de 3760 a.C. Los días empiezan y terminan con la puesta de Sol y los meses finalizan cuando la Luna está en su fase no visible, o sea, con la Luna Nueva. El año judío consta de 354 días divididos en 12 meses alternos de 29 ó 30 días y utiliza el ciclo metónico para cuadrar las fechas.

²En cuanto al número de días de este mes existe una contradicción: Barja [4] defiende que, para que existiese una equivalencia con los días del mes dedicado a Julio César, se le quitaría un día a Febrero (permaneciendo con 28 ó 29 días, dependiendo de si el año era bisiesto) y se alteraría el orden de la cantidad de días mensual a partir de *September* (pues este pasaría a tener 30 días y se continuaría la secuencia alterna). Esta es la estructura que se mantiene en la actualidad. Sin embargo, Segura [23] defiende que esta historia no es cierta, se cree que surgió en la Edad Media y que no existieron más cambios en el calendario juliano que los ya expuestos.

Con la caída del Imperio Romano, la vida científica fue reduciéndose poco a poco hasta el S.XII d.C. Sin embargo, en Oriente sí se mantuvo un desarrollo cultural gracias al griego. En el S.V d.C. aparece la escuela persa de cultura semítica con contactos con el conocimiento hindú, como una aritmética avanzada, el cero y las cifras árabes y el uso de la trigonometría. Tras la muerte de Mahoma en el 632 d.C., el Islam se extiende rápidamente y, con ello, la traducción de grandes obras científicas. Tuvo lugar un gran avance a nivel cultural y, en particular, la astronomía permitió ciertas medidas indispensables para las prácticas religiosas impuestas por el Corán: observación y previsión de las fases de la Luna, determinación de las horas de oración en función del Sol y previsión de las fechas del Ramadán. El calendario musulmán es un calendario lunar que comienza con La Hégira, es decir, cuando Mahoma huyó de la Meca trasladándose a Medina, esta fecha coincide con el 16 de julio de 622 d.C.

Por último, trasladándonos al continente americano, en el S.III a.C., los calendarios maya y azteca tenían en común que poseían años de 260 y 365 días, o sea, un calendario lunar y otro solar, y que tenían un sistema de numeración en base 18 y 20, respectivamente. Por un lado, el calendario maya utilizaba el periodo de 260 días, denominado *Tzolkin*, que era el año religioso o divino, y el periodo de 365 días, denominado *Haab*, que era el año ritual y se asemejaba al año del calendario egipcio con la diferencia de que los mayas lo dividían en 18 meses de 20 días y un “mes nefasto” de 5 días. Además, el primer día de cada mes se representaba con el signo cero, es decir, ya poseían el concepto numérico del cero. Por otro lado, la cosmogonía azteca estaba dominada por una concepción cataclísmica que se reproducía regularmente en el calendario divino, este estaba organizado alrededor de los cuatro soles (Viento, Lluvia, Agua y Tigre) que actuaban durante las cuatro eras asociadas con ellos y seguía unas reglas similares a las del calendario maya. El calendario maya se considera el más perfecto desde el punto de vista astronómico.

Actualmente, el calendario gregoriano es el más utilizado, pero no tiene la posición de calendario oficial a nivel mundial. Este almanaque es una reforma del calendario juliano que fue motivada por el desfase existente entre el año juliano y el año trópico, lo que causaba que el inicio de las estaciones se adelantase varios días, y por el hecho de volver a tener la fecha de Pascua en las fechas esperadas. Dicha reforma corrigió el desfase acumulado e intentó paliar en lo posible el desfase para los años venideros. Impulsado por el Papa Gregorio XIII se puso en marcha el 4 de octubre de 1582 y los distintos países fueron adoptándolo a lo largo de los años e, incluso, siglos. Este calendario se verá en mayor profundidad en el Capítulo 2.

En conclusión, el calendario es una herramienta práctica que se ve influida por la astronomía, las matemáticas, la filosofía, la religión, la política... A lo largo de la historia

se ha demostrado cómo puede variar según la cultura y la importancia de cada rama dentro de esta, pero, sobre todo, se ha perpetrado la idea de que el ser humano precisa de una escala con la que medir los sucesos y acontecimientos ya ocurridos y poder prevenir las situaciones venideras. Sin los almanaques, la vida que hoy se conoce no existiría, pues no se tendría ningún registro del pasado, presente y futuro. Sin ninguna duda, el calendario es imprescindible para la humanidad hasta el punto de que hay expertos que buscan la aceptación de un único anuario con el que coordinar a todos los países para un mejor entendimiento y comunicación.

1.2. Fundamentos astronómicos

Todos los calendarios tienen como base algún fenómeno astronómico, en concreto, los periodos celestes básicos: la rotación de la Tierra sobre su propio eje, la traslación de la Tierra alrededor del Sol y la traslación de la Luna alrededor de la Tierra. Razón por la cual se desarrollarán a continuación aquellos periodos celestes que atañen al sistema Sol-Tierra-Luna.

1.2.1. Movimientos terrestres

Son cuatro los movimientos fundamentales de la Tierra: el de rotación, el de traslación, el de precesión y el de nutación. Cabe mencionar previamente que el denominado movimiento aparente del Sol consiste en fijar la Tierra y hacer que el Sol gire alrededor de ella. Si bien esta descripción es correcta desde el punto de vista cinemático, no lo es desde el punto de vista dinámico, pues es la Tierra la que gira alrededor del baricentro del sistema Tierra-Sol. Sin embargo, este movimiento tiene la ventaja de simplificar la descripción de ciertos fenómenos, como las estaciones y la variación de la duración del día. Por lo tanto, según la situación, se elegirá una u otra representación, fijando el Sol o la Tierra.

1. **Rotación:** Consiste en el giro de la Tierra sobre su propio eje realizado de oeste a este y cuyo periodo es de 23 horas 56 minutos 4 segundos. Dicho eje, denominado línea de los polos, es una línea imaginaria que atraviesa la Tierra de un polo a otro y, por lo tanto, posicionándose en el Polo Norte, el giro es en sentido antihorario. Este movimiento fue demostrado por Nicolás Copérnico en 1543 y su consecuencia principal es la sucesión del día y la noche, pues en la cara iluminada por el Sol es de día, mientras que en la opuesta es de noche.

Durante siglos, se ha considerado que la rotación terrestre era un movimiento uniforme y, por ello, el tiempo asociado a esta también lo era. Sin embargo, a comienzos

del S.XX, con el desarrollo de la Mecánica Celeste³, se demostró que el movimiento de la Tierra no es un fenómeno uniforme, aunque todavía hay muchas incógnitas por responder, las recientes investigaciones han llevado a la conclusión de que la Tierra se retrasa en su rotación unos 30 segundos por siglo.

Los cuatro principales efectos⁴ que afectan a la rotación terrestre son los siguientes:

- La ralentización secular: Variación fruto de un frenado constante que se ha estimado cada 1.500 años.
- Una variación periódica de carácter estacional: Movimientos de la atmósfera relacionados con la meteorología. A finales del S.XVII, Flamsteed ya sugirió que la rotación de la Tierra podría cambiar de estación en estación, debido a las masas de aire y agua que la envuelven y que se desplazan en las distintas estaciones del año.
- Los términos periódicos de origen lunar o solar.
- Las fluctuaciones irregulares: Alteraciones aleatorias de la rotación terrestre causados por diversos procesos geofísicos como el fenómeno de acoplamiento entre el núcleo y el manto de la Tierra.

2. **Traslación:** La Tierra describe una órbita elíptica alrededor del Sol, este movimiento fue postulado por Johannes Kepler a principios del S.XVII y ratificado por la Teoría de la Gravedad de Newton en 1687. El año trópico es el tiempo que tarda la Tierra en dar una vuelta completa alrededor del Sol (936 millones de kilómetros) y durante este tiempo la proximidad de la Tierra al Sol varía, dando como consecuencia las características de las estaciones del año: verano, otoño, invierno y primavera. Esta variación de posición de la Tierra respecto al Sol se debe principalmente a estos dos factores:

- La órbita es elíptica y no circular y, por tanto, a medida que se recorre es distinta la distancia que existe entre la Tierra y el Sol.
- El eje de rotación de nuestro planeta está inclinado resultando que un hemisferio se encuentre más expuesto a los rayos solares que el otro y surgiendo el fenómeno de las estaciones.

El movimiento de traslación se efectúa sobre el plano llamado eclíptica⁵ y se define

³Rama de la astronomía que estudia los movimientos de los cuerpos celestes en virtud de los efectos gravitacionales que ejercen sobre él otros cuerpos masivos.

⁴Existe otro posible efecto, la hipotética variación de la constante de Gravitación Universal.

⁵Denominado así para recordar que los eclipses ocurren solo cuando la Luna cruza este plano.

el plano ecuatorial como el plano perpendicular a la línea de los polos. Los dos planos fundamentales, el eclíptico y el ecuador están inclinados entre sí por un ángulo llamado inclinación u oblicuidad.⁶

$$\epsilon : \text{Oblicuidad de la eclíptica} \approx 23^\circ 27' 08'' \quad (1.1)$$

En el espacio, dos planos se cruzan a lo largo de una línea recta que determina dos direcciones particulares. Por lo tanto, la eclíptica y el ecuador se cruzan a lo largo de una línea recta llamada línea de los equinoccios. De hecho, para comprender los fenómenos estacionales, si uno se coloca en el hemisferio norte de la Tierra, fijando la Tierra y girando el Sol alrededor de esta, se localizan cuatro posiciones remarcables del astro.

Equinoccio de primavera: Visto desde la Tierra, el Sol se encuentra en el plano del ecuador. Entonces, la línea divisoria entre el día y la noche pasa a través de los polos y la figura de iluminación es simétrica; dándose la situación de que, en cualquier parte del mundo, la duración del día y la de la noche coinciden. La dirección ocupada por el Sol en este instante se proyecta hacia el cielo en el punto vernal o punto γ ⁷.

Solsticio de verano: El Sol ocupa la posición más alta sobre el ecuador. La iluminación de la Tierra no es simétrica como en el apartado anterior. Entre las diferentes áreas de iluminación distinguimos el círculo polar (el área más al norte está permanentemente iluminada) y los trópicos (de Cáncer en el hemisferio norte y de Capricornio en el sur). En este día, el Sol pasa al mediodía por el cenit del Trópico de Cáncer y dicho fenómeno nunca ocurre más al norte.

Equinoccio de otoño: Idéntica descripción que en el equinoccio de primavera, pero en este caso el Sol se sitúa en el punto Libra (ω)⁸, que es el punto opuesto a γ .

Solsticio de invierno: A mediodía el Sol pasa por el cenit del Trópico de Capricornio. En este caso, el Polo Norte no ha estado iluminado durante tres meses.

El Sol posee también cierta declinación δ respecto al ecuador, un ángulo que varía con el tiempo y alcanza un valor extremo en los solsticios ($23^\circ 27'$ en verano y $-23^\circ 27'$ en

⁶Las variaciones de este ángulo son responsables de variaciones climáticas y su periodo de movimiento es de 40.000 años.

⁷Denominado también como punto Aries, es el punto de la eclíptica a partir del cual el Sol pasa del hemisferio sur celeste al hemisferio norte, lo que ocurre en el equinoccio de marzo.

⁸Punto de la eclíptica a partir del cual el Sol pasa del hemisferio norte celeste al hemisferio sur, lo que ocurre en el equinoccio de septiembre.

invierno) y el valor de 0° en los equinoccios. Además, las estaciones cortan la elipse en cuatro sectores de 90° que la Tierra atraviesa a diferente velocidad explicado por las leyes de Kepler, motivo por el cual, el sector de verano tiene un radio medio más largo pero se atraviesa a una velocidad menor que el sector de invierno, siendo así el verano la estación más larga y el invierno la más corta⁹. La diferencia entre la duración de verano y la del invierno es de aproximadamente 5 días. Cabe remarcar que los solsticios y equinoccios no caen en una fecha fija, debido a la diferencia entre años normales y anómalos. De hecho, el equinoccio de primavera cae tres años seguidos el 20 de marzo y luego el 21 de marzo. Además, el día dura entre 12 horas 6 minutos y 12 horas 7 minutos cuando realmente debería durar 12 horas como lo indica la propia palabra equinoccio. Esta diferencia de aproximadamente 7 minutos se debe a la refracción atmosférica que eleva la imagen de las estrellas, lo que significa que vemos el Sol cuando en realidad debería estar bajo el horizonte. En los solsticios de verano e invierno, la eclíptica corta el horizonte en un ángulo más pequeño, provocando que el alargamiento del día debido a la refracción sea mayor, llegando a los 9 minutos.

Por otro lado, desde los tiempos más remotos se ha percibido que, dependiendo de la época del año, el Sol se pone hacia el oeste (equinoccio), ligeramente hacia el norte (en verano) o hacia el sur (en invierno). Se puede establecer la correspondencia entre el acimut y la declinación, calculando la declinación mensualmente y el acimut de la puesta de Sol correspondiente. Comprobándose que dos fechas diferentes conducen a la misma dirección de la puesta solar y que dichas fechas son simétricas respecto a los solsticios. La declinación se determina aproximadamente de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \cos(90 - \delta) = \sin \delta &= \frac{OP}{OS} & \cos(\phi) &= \frac{OP}{OH} \\ \cos(180 - A) = -\cos(A) &= \frac{OH}{OS} & \sin \delta &= -\cos \phi * \cos(A) \end{aligned} \quad (1.2)$$

siendo A el acimut de la puesta de Sol contado desde el sur en sentido horario; siendo S la estrella que describe un pequeño círculo centrado en P en la línea de los polos y corta el horizonte en el punto S , que es la dirección del amanecer o del atardecer; H punto donde se corta el plano de este círculo y la línea norte-sur. Obteniéndose un tetraedro $POHS$, existen tres triángulos rectángulos OPS , OPH , OHS . Para un mayor entendimiento visual, se puede observar la figura 1.1.

3. **Precesión:** Variación secular que consiste en el movimiento real del eje de rotación de la Tierra alrededor de la vertical a la eclíptica causado por la gravedad, que tiende a

⁹Sin relación con la duración del mes de febrero.

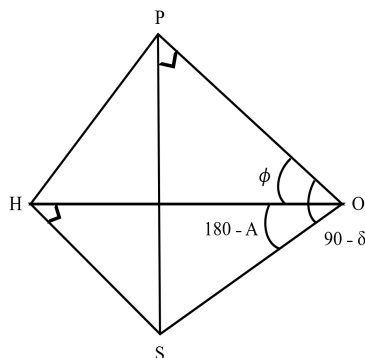


Figura 1.1: El astro se pone en el punto S y sobre la esfera, describe un pequeño círculo centrado en P. El plano de este círculo se interseca con la línea de los polos en H (Fundamentada en Parisot y Suagher [22]).

inclinarse la parte superior, describiendo un movimiento cónico de centro en la Tierra y que tiene un periodo de, aproximadamente, 26.000 años. Hiparco de Nicea (S.II a.C.) fue el primero en dar el valor de la precesión de la Tierra con una aproximación extraordinaria para la época.

Debido a este giro del eje de la Tierra, el paisaje de estrellas que se ve en el firmamento varía muy lentamente con el tiempo y por el movimiento del ecuador, la línea de equinoccios¹⁰ también gira a una velocidad de una vuelta en 26.000 años. Si uno se coloca en la eclíptica, la línea de equinoccios gira en sentido horario, mientras que la Tierra gira en sentido contrario yendo al encuentro del punto γ .

4. **Nutación:** Oscilación periódica del eje de rotación de la Tierra alrededor de su posición media en la esfera celeste con un periodo de 18,6 años, debido a las fuerzas externas de atracción gravitatoria entre la Luna y el Sol con la Tierra. De hecho, está causada principalmente porque el plano orbital de la Luna, alrededor de la Tierra, está inclinado aproximadamente 5° respecto al plano de la eclíptica. Fue el astrónomo británico James Bradley quien descubrió este movimiento en 1748.

El punto γ colocado en la intersección del ecuador y la eclíptica se ve afectado por cualquier variación del ecuador, sabiendo que el plano de la eclíptica es inmutable. Si la Tierra fuera esférica y estuviera aislada de cualquier perturbación, tendría un movimiento regular alrededor del eje de los polos. Sin embargo, tiene una protuberancia en el ecuador y la presencia de la Luna y de los grandes planetas perturba esta regularidad al generar movimientos complejos del eje, estos son los ya definidos precesión

¹⁰La intersección del ecuador y la eclíptica.

y nutación. Estas perturbaciones tienen dos consecuencias importantes, una es que el plano del ecuador no sea fijo (gira a la velocidad de una revolución en 26.000 años) y la otra es que la estrella *polaris*, es decir, la Estrella Polar¹¹ no permanezca en la dirección de la línea de los polos¹².

1.2.2. Movimientos lunares

La Luna es el único satélite natural de la Tierra y se desarrollarán sus dos movimientos más importantes.

1. **Rotación:** Este satélite gira sobre su propio eje (al igual que la Tierra) con una inclinación de $88,3^\circ$ respecto al plano de la elíptica de traslación y tiene un periodo regular de 27,32 días. Dicha inclinación se debe a la fuerza gravitatoria formada entre la Luna y la Tierra.
2. **Traslación:** El movimiento de traslación lunar alrededor de la Tierra se realiza sobre una elipse cuya distancia media a la Tierra es de 384.400 km, aunque realmente varía entre 356.400 y 406.700 km, y en sentido antihorario. El periodo sidéreo de la Luna, *i.e.*, el intervalo de tiempo que separa el paso de la Luna por la misma zona del cielo, tiene el valor de 27,3216610 días, o sea, 27 días 7 horas 43 minutos 11,5 segundos. Esto significa que el movimiento de traslación lunar tiene una duración de un poco más de 12 vueltas por año y, por tanto, se desplaza a lo largo de nuestro cielo más rápido que el Sol. Además, dicho periodo coincide con el de rotación lunar, de ahí que siempre se muestre la misma cara lunar.

Sobre este movimiento de traslación, la Luna posee cuatro posiciones diferenciadas, que son sus cuatro fases: Luna Nueva, Cuarto Creciente, Luna Llena y Cuarto Decreciente; denominándose lunación¹³ o mes sinódico al intervalo de tiempo que transcurre entre dos fases idénticas de la Luna, el cual tiene una duración media de 29,531 días, o sea, 29 días 12 horas 44 minutos, 2,82 segundos, pero puede variar entre 29 días 7 horas 12 minutos y 29 días 19 horas 31 minutos (dicha diferencia muestra que existen años con 12 lunaciones y otros con 13). De esta forma, si el movimiento lunar alrededor de la Tierra fuese circular y uniforme, el intervalo entre dos fases sucesivas de la Luna duraría un cuarto de lunación (7 días 9 horas 11 minutos), pero como el movimiento lunar no es ni circular ni uniforme, este varía entre 6 días 15

¹¹Llamada así por ser la estrella situada encima del Polo Norte.

¹²Actualmente, se posiciona a 1° de la Estrella Polar.

¹³Se tiene en cuenta que la Luna ha efectuado una vuelta alrededor de la Tierra y, a su vez, la Tierra se ha desplazado un cierto ángulo alrededor del Sol.

horas y 8 días 5 horas, dando lugar en el perigeo¹⁴ de la elipse a las semanas lunares más cortas, y en el apogeo¹⁵ a las semanas más largas.

Por otro lado, si la Tierra no rotase sobre su propio eje, sería muy fácil detectar que la Luna cruzaría la bóveda celeste en sentido oeste-este durante dos semanas y después no se visualizaría durante otras dos (pues el satélite sería visible en el lado opuesto de la Tierra). Pero como existe la rotación terrestre, después de una revolución completa de la Tierra sobre sí misma, un observador encuentra prácticamente las mismas estrellas en el meridiano, pero no la Luna, ya que teniendo en cuenta que la Luna tarda aproximadamente 28 días en completar su órbita alrededor de la Tierra, y esta tarda 24 horas en completar una revolución alrededor de su eje. En una revolución de la rotación terrestre, la Luna sólo habrá completado $\frac{1}{28}$ de su periodo, por lo que la Luna avanzará alrededor de 12° en el cielo cada día.

$$\frac{360^\circ}{28} = 12^\circ \quad (1.3)$$

y se obtienen los minutos que la Tierra tarda en su rotación para recorrer dicho arco,

$$\frac{12^\circ 51'}{360^\circ} \times 24 \times 60 = 48' \quad (1.4)$$

Luego, la diferencia promedio entre dos salidas de la Luna consecutivas es de 24 horas 48 minutos, por lo que si un día sale la Luna poco antes de la medianoche, esta volverá a salir a la una de la mañana del segundo día, existiendo así días en los que la Luna no salga. Estos 48 minutos de demora en la salida de la Luna están relacionados con el fenómeno de las mareas, donde cada día, el horario de pleamar se prorroga la misma cantidad de tiempo.

De esta forma, debido al movimiento rotacional de la Tierra, la Luna es conducida (al igual que las estrellas) hacia el oeste, lo que se conoce como movimiento aparente lunar, pero, a su vez, la Luna gira sobre su órbita en sentido contrario (movimiento propio lunar).

Además, el plano de la órbita lunar está inclinado $5^\circ 09'$ sobre el plano de la eclíptica y los dos puntos donde se cortan ambos planos se denominan nodos (véase la figura 1.2).

El ecuador y la eclíptica mantienen el ángulo de $23^\circ 27'$ ya mencionado en la 1.1, luego la declinación máxima de la Luna es de $28^\circ 36'$, dándose lugar el lunistio¹⁶,

¹⁴Punto en el que la Luna se encuentra más alejada del centro de su órbita de traslación.

¹⁵Punto en el que la Luna se encuentra más próxima al centro de su órbita de traslación.

¹⁶Momento en el que la Luna se encuentra en uno de los nodos de su elipse y, a su vez, en uno de los puntos de la eclíptica más alejado del ecuador.

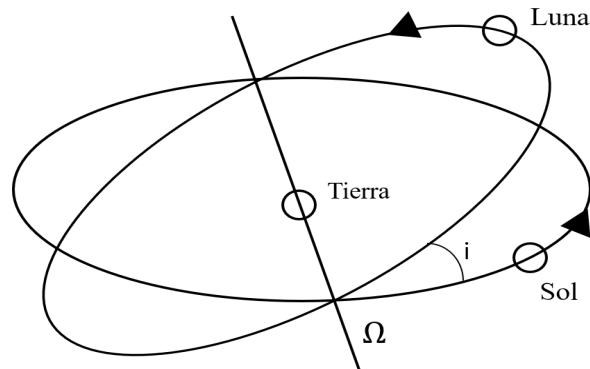


Figura 1.2: La inclinación de la órbita lunar sobre la eclíptica es de $5^{\circ}09'$, ángulo i (Fundamentada en Parisot y Suagher [22]).

como muestra la figura 1.3.

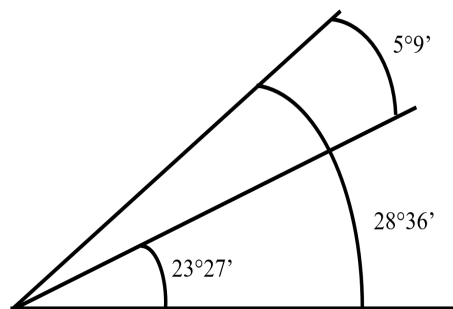


Figura 1.3: Órbita lunar inclinada $5^{\circ}09'$ sobre la eclíptica y, a su vez, la eclíptica forma un ángulo de $23^{\circ}27'$ con el ecuador. Surgiendo la declinación máxima lunar (Fundamentada en Parisot y Suagher [22]).

Además, el plano de la órbita de la Luna está influido por la precesión, por lo que los nodos recorren la eclíptica en el sentido de oeste a este en un periodo de 18,61 años trópicos, o sea, 18 años 222 días 19 horas 8 minutos. Por tanto, la determinación de los lunisticios puede darse mediante el ciclo de 18,61 años, pues las fechas de las fases lunares van derivando sobre el calendario solo volviendo a coincidir en el mismo día del año solar tras pasar este periodo de tiempo.

Los eclipses (lunar y solar) vistos desde la Tierra tienen lugar cuando la Luna o el Sol, respectivamente, se hallan próximos a los nodos de la órbita lunar. Para ello deben cumplirse las siguientes condiciones: que el Sol se halle en la proximidad de un nodo (al que regresa tras 346,6296 días) y que la Luna se encuentre o bien próxima

a ese mismo nodo, dando lugar al eclipse solar, o bien en el nodo opuesto, generando el eclipse lunar al pasar por la sombra generada por la Tierra. Sin embargo, debido al movimiento irregular de la Luna sobre su órbita, la predicción de los eclipses posee un cierto desfase.

Capítulo 2

Tipos de calendarios

Una vez presentado el calendario y los movimientos celestes influyentes en él, cabe indicar que los almanaques pueden clasificarse desde distintos puntos de vista, aunque en esta memoria solo se desarrollará una clasificación en concreto. En esta sección se analizará la siguiente organización y se ejemplificará con tres calendarios en uso en la actualidad.

Dicha clasificación divide los calendarios según qué astros utilizan como referencia:

- **Solares:** Emplean el Sol como fundamento y se caracterizan porque las estaciones suceden aproximadamente en las mismas fechas de ese calendario.
- **Lunares:** Utilizan la Luna como base y precisan que el comienzo del mes corresponda con la Luna Nueva.
- **Lunisolares:** Disponen del satélite y del Sol como apoyos para su desarrollo y es una mezcla de los dos previos, pues sus meses son lunares, pero limitando la movilidad de las estaciones.

Cabe citar que existen calendarios, como el cómputo del día juliano o Data Juliana y el calendario egipcio, que, aunque no están conectados a los movimientos solares y lunares, sí están ligados (como todos los demás) al movimiento de rotación terrestre, o sea, al día.

No obstante, otra distribución significativa de los calendarios podría ser esta:

- **Computacionales:** Se basan en reglas aritméticas preestablecidas y trazan en promedio los movimientos solares, lunares o de ambos astros simultáneamente; el meridiano de cambio de fecha¹ es arbitrario. Un ejemplo son el calendario juliano o el calendario gregoriano.

¹Línea imaginaria en la superficie de la Tierra que, al atravesarla, supone el cambio de fecha de exactamente un día.

- **Astronómicos:** Precisan de la teoría y el cálculo astronómico para fijar el suceso origen a partir del cual implementar el calendario, poseen el meridiano de cambio de fecha arbitrario y un meridiano de referencia determinado respecto al que se hace el cálculo o la observación astronómica (estos dos meridianos pueden coincidir o no²). Por ejemplo, el calendario chino, donde su Año Nuevo se celebra en la fecha de la segunda Luna Nueva tras el solsticio del invierno boreal (es decir, del hemisferio norte).
- **Observacionales:** Necesitan la observación física de un fenómeno astronómico que sirva de inicio para la creación y regulación del calendario. Un ejemplo es el calendario lunar musulmán, que precisa la observación de la primera Luna Nueva para establecer el nuevo mes.

En la tabla 2.1 se muestra la correlación entre las dos clasificaciones anteriormente citadas (que no se excluyen una a la otra) y los calendarios concretos que se desarrollarán a lo largo de este capítulo:

	Computacional	Astronómico	Observacional
Solar	Gregoriano		
Lunar	Islámico (civil)		Islámico (religioso)
Lunisolar	Judío		

Cuadro 2.1: Correlación entre dos clasificaciones distintas de calendarios con los ejemplos concretos desarrollados en esta memoria (Tomada de Barja [4]).

2.1. Calendario solar

Un calendario solar es aquel cuyos días indican la posición terrestre en su traslación en torno al Sol, luego toma como referencia el Sol y las estaciones tienen un papel importante, pues acontecen en torno a las mismas fechas del calendario. Como ya se expuso en el capítulo anterior de forma más detallada, el primer calendario solar fue el calendario egipcio, posteriormente adoptado por el calendario juliano hasta la reforma gregoriana; siendo hoy

²El calendario astronómico iraní toma como meridiano de cambio de fechas el antimeridiano de Greenwich y, como meridiano de referencia para establecer cuándo comienza el nuevo año, el que pasa por Teherán. De esta forma, el día de Año Nuevo es el día civil en el que el equinoccio de primavera viene a mediodía o posterior según la hora local de Teherán.

en día el calendario gregoriano el más utilizado. Algunos calendarios solo se distinguen por la posición de los años bisiestos o por la posición del primer día del año.

Se introducirán unos conceptos previos relativos a las distintas escalas de tiempo para un mejor entendimiento de la sección.

Por un lado, la escala de tiempo sidéreo, o sea, el ángulo horario del equinoccio vernal, es local y no uniforme.

Definición 2.1. El día sidéreo medio es el tiempo entre dos pasos consecutivos del equinoccio vernal medio por el meridiano superior. Está compuesto por 24 horas sidéreas, divididas, a su vez, en 3.600 segundos sidéreos.

Definición 2.2. El año sidéreo es el tiempo transcurrido entre dos pasos consecutivos del Sol por el equinoccio. Tiene una duración aproximada de 365,2564 días, o sea, 365 días 06 horas 09 minutos 9,98 segundos.

Por otro lado, la escala de tiempo solar, o sea, tiempo basado en el movimiento aparente del Sol alrededor de la Tierra, tampoco es un tiempo uniforme.

Definición 2.3. El año estacional verdadero es el tiempo que transcurre entre dos pasos consecutivos del Sol por un mismo punto estacional (equinoccios y solsticios).

Este año puede ser de cuatro clases según se elija como referencia el equinoccio de primavera, el solsticio de verano, el equinoccio de otoño o el solsticio de invierno. Además, debido al movimiento no uniforme de traslación, la duración de los años estacionales varía.

Buscando una escala regular, se obtiene la siguiente definición:

Definición 2.4. El Sol medio es un punto imaginario que recorre el ecuador con velocidad constante igual al movimiento medio de la órbita aparente del Sol alrededor de la Tierra.

Al ser uniforme respecto al meridiano (no respecto al equinoccio) es adecuado para la determinación de una escala de tiempo uniforme.

Definición 2.5. El tiempo solar medio es el tiempo solar sin tener en cuenta los términos no uniformes, es decir, toma como base el Sol medio y se comienza a contar desde mediodía.

Definición 2.6. El día solar medio es el tiempo transcurrido entre dos pasos consecutivos del Sol medio por el meridiano superior del lugar. Se compone de 24 horas, divididas cada una en 3.600 segundos solares medios; este tipo de segundo es constante (suponiendo la uniformidad del giro terrestre).

Definición 2.7. El año trópico o solar medio es el tiempo que tarda el Sol medio en pasar dos veces consecutivas por el equinoccio medio³. Dura aproximadamente 365,2422 días medios, o sea, 365 días, 5 horas, 48 minutos y 45,97 segundos. También es la media aritmética de la duración de los cuatro años estacionales.

Y por último,

Definición 2.8. El año anomalístico es el tiempo que transcurre entre dos pasos consecutivos del Sol por el perigeo. Tiene una duración aproximada de 365,22596 días medios, es decir, 365 días 6 horas 53 minutos 53,01 segundos.

En consecuencia del movimiento de traslación, entre dos equinoccios, la Tierra no ha completado una revolución completa y, por lo tanto, el año de las estaciones y el año trópico son ligeramente más cortos que el año sidéreo.

Teniendo presente las definiciones previas, hay dos subtipos de calendarios solares, los sidéreos y los trópicos.

1. **Calendario solar sidéreo:** Calendario que se rige por el año sidéreo de 365 días 6 horas 9 minutos 9,98 segundos de duración (365,2564 días). Por ejemplo, serían el calendario bengalí y el calendario sánscrito.
2. **Calendario solar trópico:** Calendario que se rige por el año trópico de 365 días, 5 horas, 48 minutos y 45 segundos de duración (365,24219 días), dicho año trópico se puede medir desde el equinoccio vernal u otoñal hasta el siguiente, o desde el solsticio de verano o de invierno hasta el próximo. Entre otros, estarían el calendario juliano y el calendario gregoriano.

Debido a que el número anual de días no es entero, existe un desfase entre los calendarios solares y el año que tratan de imitar; por eso, existe el género de año, que es la clasificación en años normales y años abundantes. La diferencia entre estos dos tipos de años es que a los años abundantes se les agrega el embolismo, o sea, uno o varios días que consiguen que en promedio el año del calendario se acerque lo más posible al año astronómico.

El calendario con carácter más internacional (aunque no oficialmente) es de tipo solar y es el calendario gregoriano, por ello, será presentado en este trabajo.

2.1.1. Calendario gregoriano

En primer lugar, hay que mencionar la fiesta de Pascua, una festividad de origen hebreo donde los judíos celebran la liberación de la esclavitud en Egipto y los 40 años vagando

³Equinoccio que no se ve afectado por la nutación.

por el desierto en busca de una tierra donde vivir como un pueblo libre. Sin embargo, la Pascua de la Iglesia Cristiana es una fiesta en la que se conmemora la Resurrección de Jesucristo al tercer día después de haber sido crucificado, según los evangelios canónicos, y es, en la actualidad, la celebración más importante del catolicismo.

El primer Concilio Ecuménico (325 d.C.) se celebró en Nicea, Asia Menor, convocado por el emperador Constantino y fue cuando se estableció el algoritmo para el cálculo de la fecha de la Pascua de Resurrección, que aún se continúa empleando. Principalmente debían cumplirse las tres siguientes reglas: la celebración debía ser en domingo, no podía coincidir con la Pascua judía y no debía celebrarse más de una vez cada año.

Esta decisión solucionó parcialmente el problema del cálculo de la Pascua, pero seguían existiendo diferencias, principalmente relacionadas con la forma de calcular la posición de la Luna. Fue en el 525 d.C. cuando Dionisio el Exiguo estableció las bases para el cálculo de la fecha de la Pascua de Resurrección, siendo estas:

- Debe ser un domingo.
- Ese domingo debe ser el siguiente a la primera Luna Llena de la primavera boreal (aunque si esa fecha cae en domingo, se traslada al domingo siguiente para no coincidir con la Pascua judía).
- La Luna pascual es la que cumple que su plenilunio se produce en el equinoccio de primavera en el hemisferio norte o inmediatamente después. Dicho equinoccio es el 21 de marzo.
- Se precisa saber el día del ciclo lunar en el que está la Luna el 1 de enero del año del que se quieren realizar los cálculos. Ese dato variará entre 0 y 29.

Así, el Domingo de Resurrección debía caer, obligatoriamente, entre el 22 de marzo y el 25 de abril. Sin embargo, esto no sucedió como debería.

El calendario gregoriano es solar y computacional, fue el sucesor y la mejora del calendario juliano, pues en los siglos que siguieron al Concilio de Nicea, los defectos del calendario aumentaron y la fiesta de Pascua se celebraba cada vez más tarde. Fue en el Concilio de Trento cuando el Papa Gregorio XIII tuvo el encargo de llevar a cabo dicha reforma. Con este fin, Gregorio XIII nombró un comisionado compuesto por matemáticos, astrónomos y clérigos dirigido por el matemático jesuita Christopher Klau de Bamberg, más conocido como Clavius. Sin embargo, el plan básico necesario para la reforma fue ideado por Luigi Lilio, que sugirió el 21 de marzo como fecha del equinoccio vernal y que se omitiesen en un solo año los días acumulados de atraso, proponiendo una regla de bisiestos. El resultado fue promulgado en la bula *Inter gravissimus*, del 24 de febrero de 1582, acompañada de un

conjunto de reglas, *Canones in Kalendarium Gregorianum perpetuum*, y apareciendo, así, el calendario gregoriano.

El calendario gregoriano, al igual que el calendario juliano, trata de reproducir el año trópico, pues, de esta forma, el comienzo de las estaciones tendrá lugar siempre en las mismas fechas. Sin embargo, como la duración del año no es un número entero de días, ya en el calendario juliano se constituyeron ciclos de tres años de 365 días, y otro, llamado año bisiesto, de 366 días. En promedio, el año del calendario juliano tiene una duración de 365,25 días y, aunque dicha cantidad es muy próxima a la duración del año trópico, lleva un desfase de 0,0078 días al año, es decir, casi un día cada 128 años. Dicho desfase, con el paso del tiempo, se fue haciendo cada vez más evidente, de modo que los comienzos de las estaciones y la Fecha de Pascua se adelantaban varios días. Por lo que se motivó una profunda reforma del calendario, la que se conoce con el nombre de Reforma Gregoriana y al calendario que se adoptó se le dio el nombre de calendario gregoriano. Dicha reforma corrigió el desfase acumulado e intentó paliar, dentro de lo posible, el desfase para los años venideros.

Ya que en 1582 la primavera comenzaba el 11 de marzo, la reforma gregoriana dispuso, en primer lugar, la desaparición de 10 días, con lo que al jueves 4 de octubre de 1582 le sucedió el viernes 15 de octubre de 1582⁴, así se restauraba el equinoccio al 21 de marzo. Además, se siguió con el sistema de años bisiestos (un año bisiesto cada cuatro años), pero de modo que los años seculares (años que acaben en 00) no serían bisiestos, excepto aquellos múltiplos de 400. Con este método, la duración media del año es de 365,2425 días, por lo que acumula un error de 1 día en 3.314 años.

El error de 11 días que llevaba el calendario juliano era una discrepancia menor; de hecho, hoy en día lleva un error de dos semanas y no es motivo suficiente para que el hemisferio norte perciba que las fechas del final de la primavera caen en el verano. La principal razón era *devolver la festividad de la Pasión del Señor a la fecha que le corresponde*. Las principales fiestas occidentales proceden del calendario eclesiástico y, por eso, están ligadas a la fecha de la Pascua. Cristo fue crucificado un viernes, día 14 del mes de Nisán, la víspera de *Pesah*, la pascua judía; como el mes de Nisán comienza el primer novilunio de la primavera, el día 14 era, por lo tanto, Luna Llena. El cálculo de la Luna Nueva próxima al equinoccio vernal obliga a coordinar calendarios distintos: el solar y el lunar. Y, de hecho, la verdadera innovación del calendario gregoriano fue la revisión del cómputo de la Luna Nueva, para mejorar el ajuste entre los calendarios lunar y solar, produciendo tablas exactas que cubren todas las posibles edades de la Luna⁵ el 1 de enero. Aunque los viejos

⁴Estas fechas fueron escogidas para minimizar la importancia de las fiestas que se omitían.

⁵Se llama edad de la Luna al número de días y fracción de día transcurridos desde la última Luna Nueva. Varía de 1 a 29,5.

límites de las fechas fueron mantenidos y se retuvo también la propiedad de no repetir la fecha de la Pascua dentro de cada ciclo de 19 años, sin duda alguna, el cómputo de la fecha de la Pascua es la operación más compleja del calendario y para calcular la fecha exacta de cada año existen varios métodos, aunque el más sencillo de comprender es el conocido como algoritmo de Gauss [10], que se basa en la aritmética modular y que es el que se va a desarrollar a continuación:

Se llama A al año para el cual se quiere calcular la fecha del Domingo de Resurrección. Para calcular dicha fecha con este método, se deben definir previamente diez variables:

1. $a \equiv A \pmod{19}$, *i.e.*, el resto de dividir A entre 19.
2. $b \equiv A \pmod{4}$, *i.e.*, el resto de dividir A entre 4.
3. $c \equiv A \pmod{7}$, *i.e.*, el resto de dividir A entre 7.
4. $k = \lfloor \frac{A}{100} \rfloor$, *i.e.*, el redondeo por defecto del resultado de dividir A entre 100.
5. $p = \lfloor \frac{13+8k}{25} \rfloor$, *i.e.*, el redondeo por defecto del resultado de dividir $13 + 8k$ entre 25.
6. $q = \lfloor \frac{k}{4} \rfloor$, *i.e.*, el redondeo por defecto del resultado de dividir k entre 4.
7. $M \equiv 15 - p + k - q \pmod{30}$, *i.e.*, el resto de dividir $15 - p + k - q$ entre 30.
8. $N \equiv 4 + k - q \pmod{7}$, *i.e.*, el resto de dividir $4 + k - q$ entre 7.
9. $d \equiv 19a + M \pmod{30}$, *i.e.*, el resto de dividir $19a + M$ entre 30.
10. $e \equiv 2b + 4c + 6d + N \pmod{7}$, *i.e.*, el resto de dividir $2b + 4c + 6d + N$ entre 7.

Y a partir de esto, la fecha del Domingo de Pascua es la siguiente:

- Si $d + e \leq 9$, el Domingo de Pascua es el día $d + e + 22$ de marzo.
- Si $d + e > 9$, el Domingo de Pascua es el día $d + e - 9$ de abril.

Ejemplo 2.9. Sea $A = 2021$ el año para el que se calculará la fecha de Pascua y sean, entonces,

1. $a = 7$, *i.e.*, el resto de dividir $A = 2021$ entre 19.
2. $b = 1$, *i.e.*, el resto de dividir $A = 2021$ entre 4.
3. $c = 5$, *i.e.*, el resto de dividir $A = 2021$ entre 7.
4. $k = 20$, *i.e.*, el redondeo por defecto del resultado de dividir $A = 2021$ entre 100.

5. $p = 6$, *i.e.*, el redondeo por defecto del resultado de dividir $(13 + 8 \times 20)$ entre 25.
6. $q = 5$, *i.e.*, el redondeo por defecto del resultado de dividir $k = 20$ entre 4.
7. $M = 24$, *i.e.*, el resto de dividir $(15 - 6 + 20 - 5)$ entre 30.
8. $N = 5$, *i.e.*, el resto de dividir $(4 + 20 - 5)$ entre 7.
9. $d = 7$, *i.e.*, el resto de dividir $(19 \times 7 + 24)$ entre 30.
10. $e = 6$, *i.e.*, el resto de dividir $((2 \times 1) + (4 \times 5) + (6 \times 7) + 5)$ entre 7.

Entonces, como $d + e = 13 > 9$, se tiene que, en 2021, el Domingo de Resurrección será el $13 - 9 = 4$ de abril, como ocurrirá en el futuro.

Por ciertas razones históricas, existen dos excepciones que necesariamente hay que comentar: Si se obtiene el 26 de abril, se sale del intervalo, por lo que el Domingo de Pascua será el 19 de abril (una semana antes). Si se obtiene el 25 de abril con $d = 28$, $e = 6$ y $a > 10$, el Domingo de Resurrección será el 18 de abril, o sea, la semana anterior. La fecha más probable para la Pascua gregoriana es el 16 de abril y la que menos el 22 de marzo.

El método puede dividirse en dos partes: el cálculo de d (número de días desde el 22 de marzo hasta la primera Luna Llena) y el cálculo de e (el número de días desde esa primera Luna Llena hasta el primer domingo).

El ciclo lunar se repite cada 19 años (con un error de 2 horas), por lo que el cálculo de a controla eso, la posición entre esos 19 años en la que se encuentra el año A . Como un año lunar tiene, aproximadamente, 354 días, restarían 11 para llegar a los 365 de un año del calendario. Y como, al hablar de restos módulo 30, es lo mismo restar 11 que sumar 19, lo que explica el término $19a$ de la fórmula de cálculo de d . El cálculo de M tiene que ver con el cambio del calendario juliano al gregoriano, con los años bisiestos múltiplo de 100 y con el ajuste de ese pequeño error de 2 horas en el ciclo lunar. El módulo 30 que aparece tanto en la variable M como en la d tiene que ver con el ciclo lunar de 30 días entre el 22 de marzo y el 20 de abril.

Cuando ya se tiene calculada esa primera Luna Llena, se tiene que avanzar hasta el primer domingo posterior a ella. De dicho cálculo se ocupa e , que tendrá un valor entre 0 y 6 (ya que la semana tiene 7 días) y por eso su cálculo es módulo 7. Su definición controla el desplazamiento del día de la semana de un año a otro (tanto si es bisiesto como si no lo es) y que el comienzo de los cálculos para cada siglo sea el correcto.

Además, para que se repitan todas las fechas de Pascua en el mismo orden deberán pasar 5.700.000 años: el mínimo común múltiplo de 19, 400, 4.000 y 9.375, debido al ciclo metónico y al ciclo semanal gregoriano.

Como este trabajo se realiza en la Universidad de Santiago de Compostela, es casi de obligado cumplimiento citar el año santo o jubileo compostelano que, tal y como se define en [27], es una celebración surgida en la primera mitad del S.XV para facilitar a los católicos la obtención de indulgencias plenarias. Para lograrlas, los creyentes pecadores deben peregrinar al sepulcro del apóstol Santiago el Mayor, en la catedral de la ciudad gallega de Santiago de Compostela y, en ella, cumplir una serie de requisitos espirituales. Dichas indulgencias permiten la total remisión de las penas temporales impuestas por la Iglesia para el perdón de los pecados.

La indulgencia plenaria fue evolucionando a través del tiempo, pero siempre resultó condición indispensable para obtenerla, visitar la catedral de Santiago cualquier día de un periodo jubilar. Más tarde, se añadió el rezo de alguna oración al llegar, pedir por las intenciones del Papa y recibir los sacramentos de la penitencia y la comunión. El jubileo compostelano se presenta, según la Iglesia, como un tiempo especial para la renovación y purificación espiritual, de acuerdo con la antiquísima tradición hebrea en la que se inspira.

Los años jubilares compostelanos en el calendario juliano se celebraban cada 11, 6, 5 y 6 años (4 de cada 28 años), pues $\text{mod}[\text{año} + \text{Quotient}[\text{año}, 4], 7] = 0$ si, y solo si, el 25/julio/año (juliano) es domingo. Sin embargo, la reforma gregoriana con la variación de los años bisiestos provocó que los años santos compostelanos sigan un ciclo más complejo (56 cada 400 años), pero manteniendo la condición de que coincida en domingo la festividad del martirio del apóstol Santiago (25 de julio). En condiciones normales, tras un ciclo de 18 años con 4 años santos muy próximos entre sí -sólo se interponen periodos de 4 y 5 años sin esta celebración- se abre un vacío de 10 seguidos, para, en el año 11, iniciarse un nuevo ciclo de 4 eventos, y así sucesivamente. El jubileo comienza oficialmente en la tarde de cada 31 de diciembre del año anterior con la apertura de la Puerta Santa de la catedral compostelana, situada en la Praza das Praterías, y concluye con su cierre el 31 de diciembre siguiente. Siendo posible ganar el jubileo cualquier día de este periodo. Dos consecuencias curiosas de la reforma gregoriana en este año santo son:

1. El año santo posterior a 1574 fue 1593, en vez de 1585, provocando una separación de 19 años que no se volverá a producir con el calendario actual.
2. En el año 1993 se inició el segundo ciclo de años santos en el calendario gregoriano y se mantendrá el ciclo 11-6-5-6 hasta el 2100.

Respecto a los meses del calendario gregoriano cabe destacar que no están ligados a ningún fenómeno astronómico. Son 12 los meses que componen el año gregoriano y su nombre procede de dos calendarios: el republicano romano (el cual comenzaba el primer día de marzo) y el calendario juliano (el cual empezaba el primer día de enero). Tomando

como base el calendario republicano romano, se cree que el nombre de los primeros meses del año procede de dioses y festividades romanas: *Martius*, por el dios de la guerra (*Mars*); *Aprilis*, viene por el nombre de la diosa *Afrodita* o por *aperire*, (abrir); *Maius*, por la diosa *Maia*; *Iunus*, por la diosa *Iuno*. El nombre de los siguientes meses en orden cronológico se enumeraron: *Quintilis*, *Sextilis*, *September*, *October*, *November*, *December*. Y los dos últimos meses del año recibieron los nombres de *Ianuarius*, procede del dios *Ianus*, y *Februarius*, procede de *Februa*, fiesta de purificación que tenía lugar el día 15 de este mes. Después, del calendario juliano, se obtuvo el orden y duración actual de los meses, incluso, el cambio de *Quintilis* y *Sextilis* por *Iulius* y *Augustus*, respectivamente. A efectos civiles, en los años bisiestos se agrega un día en la posición 29 de febrero, pero la iglesia cristiana mantiene todavía la práctica de duplicar el 24 de febrero.

Respecto a la semana de este calendario, esta es la mezcla de la semana planetaria y la hebdomadaria, pues se ha conservado la relación astrológica con los cuerpos celestes, pero sustituyendo algunos de los días por términos relacionados con festividades religiosas. En castellano, los días de la semana mantienen su relación con los astros (lunes, día de la Luna; martes, día de Marte; miércoles, día de Mercurio; jueves, día de Júpiter y viernes, día de Venus), pero los del fin de semana no (sábado proviene del nombre hebreo *sabbath* y domingo proviene de la expresión *dies dominica*, día del Señor). Al igual que en la religión judía, la religión cristiana adoptó un día de festividad con la diferencia de que este sería el domingo y no el sábado judío.

Como el motivo principal de la Reforma Gregoriana fue religioso, solamente aceptaron el calendario de forma inmediata aquellos países católicos romanos. Una real cédula del rey Felipe II (19 de septiembre de 1582) promulgó la bula *Inter gravissimus* en España, Portugal y la parte de Italia que estaba bajo su soberanía. En Francia, en el mismo año, Henrique III ordenó que al domingo 9 de diciembre le siguiese el lunes 20. Los países protestantes lo introdujeron bastantes años más tarde y los ortodoxos lo rechazaron hasta comienzos del S.XX. Sin embargo, la norma de no alterar la secuencia de los días de la semana la siguieron todos los países que fueron adoptando el calendario gregoriano: en diciembre de 1582, Holanda y Luxemburgo; en 1583, Austria; en 1587, Hungría; en 1700, Alemania, Noruega y Dinamarca; en 1752, Gran Bretaña y sus colonias; en 1911, China; en 1918, Japón y la antigua U.R.S.S.⁶; en 1919, Rumanía; en 1924, Grecia y en 1926, Turquía.

⁶La revolución rusa de octubre se celebra en noviembre debido al cambio tardío del calendario, pues la fecha del calendario juliano es el 25 de octubre de 1917 y la del gregoriano el 7 de noviembre de 1917.

2.2. Calendario lunar

Un calendario lunar es aquel que calcula los años y los meses según los ciclos de la Luna; es decir, toma como base el movimiento de traslación de la Luna alrededor de la Tierra. Como ya se expuso en el capítulo anterior de forma más detallada, los primeros calendarios de la historia eran de este tipo.

Aunque el movimiento lunar no es uniforme, el valor promedio de la lunación o mes sinódico sí que es conocido, 29,531 días, o sea, 29 días 12 horas 44 minutos 3 segundos. De esta manera, el periodo de tiempo que transcurre entre dos fases idénticas de la Luna no es un número entero de días; lo que provoca que se alternen meses de 29 y 30 días. De esta forma, un año lunar es aquel conformado por 12 meses lunares y estaría constituido por 354 días, pudiendo ser comparado con el número de días en 12 lunaciones:

$$12 \times 29,531 = 354,372 \quad (2.1)$$

i.e., 354 días 8 horas 48 minutos 33 segundos. Por lo que al finalizar un año, la Luna se encuentra con una dilación de 8 horas respecto al calendario y de prácticamente un día cada tres años. En estos almanaques, existe el inconveniente para la vida cotidiana de que las estaciones no están ligadas a sus fechas, de hecho, derivan aproximadamente 11 días al año.

El único calendario puramente lunar que todavía se utiliza en la actualidad es el calendario musulmán, motivo por el cual será comentado en esta memoria.

2.2.1. Calendario musulmán

El calendario musulmán actual es puramente lunar, pero existen distintas opiniones sobre la naturaleza de los calendarios anteriores en los que este se basó, pues muchos historiadores creen que existió un antiguo calendario lunisolar cuya intercalación fue abolida por Mahoma. De hecho, se menciona en el Corán un mes perdido llamado *nost*, que sería el mes intercalar de ese supuesto calendario lunisolar y su método de intercalación empírica se habría inspirado en el de los judíos. La era mahometana o de la hégira comienza el viernes 16 de julio de 622 d.C., fecha en la que Mahoma se refugió en Medina.

Este calendario posee un año compuesto por doce meses de 29 y 30 días alternos, cuyos nombres están relacionados con las estaciones y que se suceden en el siguiente orden:

- *Muharram*: Es el primer mes del calendario desde que así lo estableció el califa Omar en el 637 d.C., tiene 30 días. Su nombre viene de la palabra *harram* que significa prohibido. Es uno de los cuatro meses sagrados, en los que está prohibido ir a la guerra, y es el segundo en importancia después del Ramadán.

- *Safar*: Es el segundo mes del calendario musulmán y tiene 29 días. Su nombre proviene de *sufr* que tiene dos significados: vacío, en relación a que las casas se dejaban vacías ya que, al acabar la prohibición del mes anterior, los hombres partían a la guerra; amarillo o cuando las hojas se caen, haciendo referencia al otoño, estación con la que coincidiría en la época pre-islámica.
- *Rabi I*: Es el tercer mes del año y tiene 30 días. Significa el primer mes de la primavera. Durante este mes se celebra *Mawlid*, *i.e.*, el nacimiento de Mahoma.
- *Rabi II*: Es el cuarto mes y tiene 29 días. Significa el último mes de la primavera.
- *Yumada I*: Es el quinto mes y tiene 30 días. El origen de su nombre está relacionado con el significado de seco, sin lluvia; luego, sería el primer mes del periodo seco.
- *Yumada II*: Es el sexto mes y tiene 29 días. El origen de su nombre vuelve a estar relacionado con el significado de seco, sin lluvia; por lo que sería el último mes del periodo seco.
- *Rayab*: Séptimo mes del calendario y tiene 30 días. Su nombre significa respeto u honor y es otro de los cuatro meses sagrados para los musulmanes.
- *Sha'bán*: Tiene 29 días y significa separación.
- *Ramadán*: Es el noveno mes del año y tiene 30 días. Su nombre significa calor ardiente y es el mes sagrado más importante del Islam, pues es el mes en el que fue revelado el Corán.
- *Shawwal*: Es el décimo mes y tiene 29 días. Significa llevar o transportar, debido a que era la época en el que las camellas solían estar embarazadas.
- *Du al-Qa'da*: Penúltimo mes del año y tiene 30 días. Su nombre significa el mes de la tregua y es el último de los cuatro meses sagrados del Islam.
- *Du al-Hiyya*: Duodécimo y último mes del calendario musulmán y tiene 29 ó 30 días. Su nombre significa el mes de la peregrinación, pues es la época del año en la que los musulmanes realizan la peregrinación a La Meca.

Entonces, la desviación respecto a las doce lunaciones correspondientes a un año,

$$12 \times 29,531 - 354 = 0,372, \quad (2.2)$$

se resuelve con la adición de once días sobre un ciclo de treinta años

$$30 \times 0,372 = 11 \text{ días } 16 \text{ minutos.} \quad (2.3)$$

De esta forma, existen dos tipos de año, los comunes que constan de 354 días y los abundantes con 355 días. Así, este calendario reproduce la lunación promedio con una precisión de 16 minutos en treinta años. En esos treinta años, 11 años son abundantes y 19 son comunes; pero la repartición de los años abundantes no es la misma que usan todos los calendarios. En el ciclo más utilizado, los años abundantes ocupan las siguientes posiciones: 2, 5, 7, 10, 13, 15⁷, 18, 21, 24, 26 y 29. Los turcos han utilizado una corrección ligeramente distinta estableciendo un ciclo de ocho años con cinco años de 354 días y tres años de 355 días. Este calendario tiene la ventaja de reducir los mismos días de la semana a las mismas fechas en el calendario durante el ciclo de ocho años.

El día del calendario islámico comienza con la puesta de Sol y, por lo tanto, la noche o víspera precede siempre a la claridad o diurno al cual pertenece. En relación con el calendario, cabe destacar su ritual religioso, el cual requiere cinco oraciones diarias y cuya definición está estrechamente relacionada con la posición del Sol. De acuerdo con la reconstrucción de las viejas reglas, se siguen los siguientes criterios:

- *Isha*: Oración de la noche que termina con la aparición del crepúsculo y con una altura solar de -18° a -12° .
- *Subh*: Oración de la mañana que termina con la aparición del Sol y con una altura solar de $-20'$.
- *Zuhr*: Oración que se realiza poco después del paso del Sol por el meridiano.
- *Asr*: Oración de la media tarde.
- *Maghrib*: Oración que comienza con la desaparición del Sol y se termina con las últimas luces del día y con una altura solar de $-52'$ a -12° .

Sin embargo, la parte más compleja de este calendario es la determinación de las fechas del inicio y final del Ramadán, ya que requiere no solo la consideración del movimiento de la Luna, sino también la determinación de un criterio de visibilidad del delgado primer creciente lunar en el periodo de la Luna Nueva. En la práctica, los meses reales no siempre están en concordancia con los calendarios impresos, pues el primer día del mes requiere la visibilidad del primer creciente lunar, el cual aparece 1 ó 2 días después de la Luna Nueva. Incluso puede haber desacuerdo entre ciudades diferentes debido a las condiciones meteorológicas que permitan o no ver dicho fenómeno.

Los musulmanes adoptaron la semana con el domingo como primer día y el viernes como su día de reposo y oración. De acuerdo con sus prácticas religiosas, el mes solo

⁷Hay una variante donde el año abundante es el año 16 en vez del 15.

comienza si la Luna Nueva ha sido avistada independientemente por dos hombres “dignos de confianza”. Esta observación se vuelve particularmente importante por el principio y final del Ramadán, ya que obliga a los fieles a una observación asidua del atardecer en la época de la Luna Nueva. Según reporta Parisot y Suagher [22], usando un criterio de visibilidad, uno puede determinar las fechas de inicio y finalización del Ramadán de la siguiente manera:

En el momento del inicio aproximado del Ramadán, se determina el momento de la puesta de Sol, su acimut A_S , así como la posición de la Luna calculando su acimut (A_L) y su altura (h_L). Luego, se usa un criterio de visibilidad llamado criterio de Fotheringham, que se basa en observaciones cuidadosas efectuadas en Grecia a finales del S.XIX. Da la altura mínima (h_V) para que el primer creciente lunar sea visible (Figura 2.1). Si el criterio no se verifica, el inicio del Ramadán se pasa al día siguiente, repitiéndose el procedimiento hasta que se verifique.

$$h_V = 12^\circ - 0,008^\circ(A_S - A_L)^2. \quad (2.4)$$

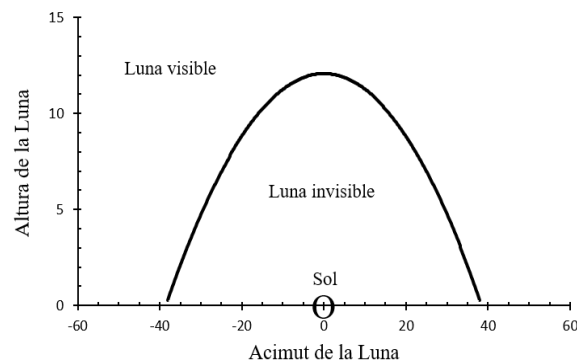


Figura 2.1: En el instante del ocaso del Sol, se determina la posición lunar. El acimut es medido con relación al del Sol. Si la Luna está en el exterior de la curva, el primer creciente lunar es visible (Fundamentada en Parisot y Suagher [22]).

Y, precisamente, con ocasión del comienzo y fin del ayuno del mes de Ramadán y de la celebración de la fiesta del Sacrificio (décimo día del último mes), un gran caos surge en el mundo islámico, resultado de no existir un calendario definido. Las celebraciones en un país u otro pueden separarse hasta cuatro días, ya que existen numerosos criterios actualmente en uso: En algunos países como Bangladesh o Pakistán, el comienzo del mes lunar resulta de la visión real del creciente; en otros, como Estados Unidos y Canadá, también se basan en la visión del creciente lunar, pero debe estar confirmada por el cálculo astronómico; en países

como Arabia Saudí, Qatar o Turquía, existe un criterio basado en la conjunción lunar; en Egipto se considera que el nuevo mes comienza si la Luna Nueva acontece 5 minutos antes de la puesta del Sol... Por último, destacar que varias comunidades musulmanas siguen el calendario computacional lunar, en vez del observacional, este es el caso de los ismaelitas.

2.3. Calendario lunisolar

La mayoría de las culturas tuvieron y tienen un calendario lunisolar, es decir, calendarios que no solo tienen en cuenta los ciclos de la Luna, sino también los del Sol, que son los que determinan las estaciones.

Como ya se ha visto, el año lunar está compuesto por doce lunaciones y cada año solar medio contiene doce lunaciones y un poco más de diez días,

$$365,24219878 = 12 \times 29,530588 + 10,8751427, \quad (2.5)$$

no coincidiendo los años lunares y los trópicos, pues cada cierto tiempo existe un año trópico con trece meses lunares. Por este motivo, los calendarios lunisulares se guían por las lunaciones, pero cuando corresponde añaden un mes al año, que se denomina embolístico, para que el comienzo del nuevo año solar coincida con el año lunar; también tratan de seguir el año trópico, ya que el ciclo lunar no es tan determinante en la vida cotidiana como el ritmo marcado por las estaciones. En resumen, los calendarios lunisulares se basan en la traslación lunar para marcar los meses y en la traslación solar para contar los años.

La transición del calendario lunar al calendario solar tiene cierta dificultad, ya que los periodos involucrados no siguen una relación matemática fácil de reproducir mediante la intercalación de meses enteros. De hecho, en gran parte, es esta dificultad la que explica la gran diversidad de calendarios implementados por la humanidad. Para abordar este problema de los calendarios lunisulares, se puede utilizar una técnica que emplea las fracciones continuas.

En primer lugar, se explica qué son las fracciones continuas, descomposición creada por Laplace en 1768 con el propósito de obtener una aproximación de un número real positivo en forma de una razón de 2 números enteros. Sea q dicho número real que se descompone en 2 partes, la parte entera q_0 y la parte decimal u_1 (siendo esta inferior a 1):

$$q = q_0 + u_1 \quad (u_1 < 1), \quad (2.6)$$

y si se toma su inverso y se procede de manera iterante como en el primer paso con los restos sucesivos, se obtiene:

$$\frac{1}{u_1} = q_1 + u_2 \rightarrow \frac{1}{u_n} = q_n + u_{n+1} \quad (u_{n+1} < 1). \quad (2.7)$$

Luego, al reemplazar el u_i por sus expresiones, se consigue una representación del número q en forma de fracciones anidadas que forman una fracción continua:

$$q = q_0 + \frac{1}{q_1 + \frac{1}{q_2 + \frac{1}{q_3 + \frac{1}{q_4 + \frac{1}{q_5 + \dots}}}}} \quad (2.8)$$

Escribiéndolo simbólicamente de la forma $q = \{q_0, q_1, q_2, q_3, \dots\}$, se obtienen aproximaciones sucesivas de q mediante relaciones enteras truncando el desarrollo a órdenes más o menos altas que se denominan reducciones de orden n :

$$\frac{P_n}{Q_n} = \{q_0, q_1, q_2, \dots, q_n\} \quad (2.9)$$

y, teniendo en cuenta que,

$$\frac{P_{n+1}}{Q_{n+1}} = \frac{q_{n+1} \times P_n + P_{n-1}}{q_{n+1} \times Q_n + Q_{n-1}}. \quad (2.10)$$

Las reducciones sucesivas convergen a q , pues las reducciones de orden par son menores que q y las reducciones impares son superiores. Por lo tanto, se garantiza que se llegará a un entorno de solución cada vez más cercano a la solución exacta a medida que aumenta el orden de reducción.

En segundo lugar, se ve cuál es la aplicación de esta técnica para la sincronización de los ritmos del Sol y la Luna. El conteo básico es lunar con un periodo mensual medio de 29,531 días y con un número entero y de lunaciones y se busca la coincidencia que ocurre cada x años trópicos, los enteros x e y verifican la siguiente ecuación:

$$29,53058 y = 365,2422 x \Rightarrow \frac{y}{x} = 12,36827 \quad (2.11)$$

Este resultado, dividido en una fracción continua y utilizando lo explicado anteriormente se puede representar de la siguiente manera $\frac{y}{x} = \{12, 2, 1, 2, 1, 1, 17\dots\}$. Al detener la fracción en sus primeros términos, se obtienen las intercalaciones más simples que transforman un calendario lunar en un calendario lunisolar. Las intercalaciones $\frac{1}{2}$ (un mes bisiesto cada dos años) y $\frac{1}{3}$ (un mes bisiesto cada tres años) fueron utilizadas por los griegos que finalmente adoptaron el ciclo basado en tres meses bisiestos cada 8 años. Si bien nadie ha usado el ciclo de 11 años, el ciclo de Metón (7 meses bisiestos cada 19 años) ha sido universalmente reconocido. La solución (1 + 2) que opera en un ciclo de cinco años es la solución original utilizada por los celtas y superpone las dos intercalaciones más simples, $\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{3}$, para dar como resultado dos meses intercalados cada cinco años lunares. Sin embargo, no se debe perder de vista el hecho de que todas estas soluciones son tan imperfectas entre sí tan pronto como se pretenda armonizar el ritmo de las estaciones con la Luna: solo la utilidad del calendario y su simplicidad pueden justificar la solución decidida.

Por último, hay que mencionar que, en los calendarios lunisulares, también existen dos subtipos. Los calendarios budista e hindú tratan de seguir el año sidéreo, mientras que los calendarios chino y hebreo intentan imitar el año trópico, siendo este último el expuesto a continuación.

2.3.1. Calendario judío

El calendario judío es lunisolar y computacional. El año de este almanaque está caracterizado por el género, que es el número de meses que tiene el año, 12 para los años normales y 13 para los años abundantes o embolísmicos. A su vez, cada uno de estos géneros de años pueden tener tres duraciones diferentes, que representan la especie. Así los años normales pueden ser defectivos, con 353 días; regulares de 354 días y abundantes con 355 días. Mientras que los años embolísmicos pueden tener 383, 384 ó 385 días, correspondientes a los años defectivos, regulares y abundantes, respectivamente. Los meses siempre tienen las mismas duraciones, excepto Hechvan y Kislev, que tienen una duración variable de 29 ó 30 días, lo que permite que los años sean de especies diferentes (tabla 2.2).

Meses	Año común			Año embolísmico		
	Defectivo	Regular	Abundante	Defectivo	Regular	Abundante
Tishri	30	30	30	30	30	30
Hechvan	29	29	30	29	29	30
Kislev	29	30	30	29	30	30
Tevet	29	29	29	29	29	29
Chevat	30	30	30	30	30	30
Adar I	29	29	29	30	30	30
Adar II	-	-	-	29	29	29
Nisan	30	30	30	30	30	30
Iyar	29	29	29	29	29	29
Sivan	30	30	30	30	30	30
Tammuz	29	29	29	29	29	29
Av	30	30	30	30	30	30
Elul	29	29	29	29	29	29
Suma	353	354	355	383	384	385

Cuadro 2.2: Duración de cada mes y año en el calendario judío según su género y especie (Tomada de Segura [23]).

En la tabla 2.2 se visualiza que, en un año embolístico, al mes intercalar se le denomina Adar I y tiene 30 días, en este caso el mes que ordinariamente se llama Adar viene después del embolismo, toma la numeración II y continúa teniendo los 29 días habituales.

El calendario judío toma 29,50594 días como duración de la lunación, pero en vez de usar los minutos y segundos se hace uso del *'helek* (en plural *'halakim*), definido de tal forma que una hora tenga 1.080 *'halakim*. Existen dos motivos para hacer dicha elección, la primera es porque el 1.080 es el número más pequeño que permite expresar la lunación con un número entero, pues 29,50594 días es igual a 765.433 *'halakim*, y la segunda es el gran número de divisores que tiene, lo cual facilita las operaciones algebraicas. Además, los hebreos tomaron prestado de los mesopotámicos el periodo de siete días, pero no usaron los nombres de los días de la semana relacionados con los planetas y astros del sistema solar conocidos en ese momento, sino que centraron la semana en el día de reposo y los sucesivos días fueron designados de acuerdo con su intervalo desde el sábado: primero, segundo, hasta el sexto o día de Preparación. En realidad, los días hebreos se compensan con los nuestros porque el día comienza al atardecer y continúa hasta la puesta de Sol del día siguiente, entendiéndose que ese momento corresponde a las 0 horas judías.

El calendario judío sigue el ciclo de Metón, compuesto de 19 años y 235 lunaciones, siendo embolísticos 7 de esos años. Tomando la fórmula razonada pormenorizadamente en Segura [23]:

$$Y_n = \text{int} \left(\frac{nA}{E} + 1 \right) - \text{int} \left[\frac{E}{nA} \times \text{int} \left(\frac{nA}{E} \right) \right], \quad (2.12)$$

donde Y_n es el orden del año embolístico, int es la función de número entero, n es un número natural, A es el año de duración 365,25 días y E es el número de embolismos. Así, la fórmula 2.12 proporciona los años situados en las posiciones 3, 6, 8, 11, 14, 17 y 19. Una forma sencilla de saber si un año hebreo es o no embolístico es tomar dicho año y dividirlo entre 19, el resto de esta operación indicará qué posición ocupa en el ciclo decemnoenal y así saber si posee 12 ó 13 meses.

Para el cálculo de este calendario es conveniente hacer uso de los *she 'riot*, que son los excesos sobre semanas enteras de un periodo de tiempo determinado. Los *she 'riot* de interés son los que se muestran en la tabla 2.3.

El primer día del año 1 del calendario judío corresponde al día 7 de octubre del año -3760 de nuestra era. Según la tradición, el mundo fue creado a las 0 horas del domingo 24 de Elul y el hombre apareció el viernes 29 de Elul a las 17 horas de tiempo judío, ambos sucesos se produjeron en el año de *Tohu*, que fue el anterior al primero. También se supone que el primer *molad* (o Luna Nueva) después de la creación tuvo lugar a las 14 horas del viernes 29 de Elul, momento que se representará por 6d 14h, indicando con ello que es el

Periodo de tiempo	<i>She 'riot</i>
Mes lunar	1 día 12 horas 793 <i>'halakim</i>
Año común	4 días 8 horas 876 <i>'halakim</i>
Año embolístico	5 días 21 horas 589 <i>'halakim</i>
Ciclo lunar	2 días 16 horas 595 <i>'halakim</i>

Cuadro 2.3: *She 'riot* que se utilizarán en el documento (Tomada de Segura [23]).

viernes (día 6 de la semana) a las 14 horas. La tradición judía considera que los astros quedaron inmovilizados durante el año del diluvio, por lo que las posiciones del Sol y la Luna no cambiaron, pero el número de años aumentó en una unidad. También se supone que el año del diluvio fue un año común, entonces se puede omitir dicho año suponiendo que el primer *molad* de la creación ocurrió en el momento

$$6 \text{ días } 14 \text{ horas} - 4 \text{ días } 8 \text{ horas } 867 \text{ 'halakim} = 2 \text{ días } 5 \text{ horas } 204 \text{ 'halakim.} \quad (2.13)$$

En la ecuación 2.13 se hace uso del *She 'riot* del año común presentado en la tabla 2.3. Si se quiere determinar el primer *molad* de un año cualquiera, se sumará, al supuesto momento del primer *molad* (que es 2 días 5 horas 204 *'halakim*), la duración de todas las lunaciones ocurridas desde el comienzo del mundo hasta el comienzo del año considerado.

El año comenzaba con el mes de Nisan, en la época de la Luna Nueva de primavera, para conmemorar la huida de Egipto; actualmente comienza el 1 del mes de Tishrei y conmemora la Creación del mundo. El primer día del año se denomina *Roch-hachana* y su día semanal es el carácter de ese año. Para determinar el carácter es necesario tener en cuenta los *dehiyyot* o aplazamientos, que establecen cinco excepciones para la celebración del *Roch-hachana*:

1. Si el *molad* del nuevo año tiene lugar el domingo, miércoles o viernes, el primer día del año se traslada al día siguiente. Si *Roch-hachana* fuera miércoles o viernes, entonces, el *Yom Kipur* (que cae el 10 de Tishri) sería viernes o domingo. Esto significaría dos días de reposo absoluto, al venir el sábado antes o después del *Yom Kipur*. Si *Roch-hachana* cayera en un domingo, entonces la fiesta de *Hocha'ana-Rabba* (que cae el 21 de Tishri) coincidiría con un sábado, lo que se trata de evitar, pues esa celebración quedaría anulada al coincidir en sábado.
2. Si el *molad* calculado ocurre a las 18 horas judías (es decir, mediodía) o posterior, el *Roch-hachana* debe trasladarse al día siguiente. Este *dehiyyah* proviene de cuando

el calendario judío era empírico⁸. En efecto, se supone que el *molad* coincide con la Luna Nueva, pero el mes debe comenzar con el momento en que es observado el primer creciente lunar. Suponiendo que las observaciones se realizan desde Jerusalén, el intervalo mínimo entre ambos acontecimientos es de 6 horas y, por tanto, si el *molad* cae después del mediodía, la observación del nuevo creciente no podría ser ese mismo día, sino el siguiente, que sería el primer día del año.

3. Si por causa de la anterior regla el día de año nuevo acontece en domingo, miércoles o viernes, se retrasa otro día más el comienzo del año.
4. Si el año es común y el *molad* cae un martes a las 9 horas 204 *'halakim* o posterior, el *Roch-hachana* se retrasa al jueves. La razón de este *dehiyyah* se encuentra en que si el *molad* cae en el día y hora indicado o posterior, el primer *molad* del año siguiente sería

$$\begin{aligned} 29 \text{ días } 12 \text{ horas } 793 \text{ 'halakim} \times 12 + 3 \text{ días } 9 \text{ horas } 204 \text{ 'halakim} = \\ 357 \text{ días } 18 \text{ horas} = 7 \text{ días } 18 \text{ horas,} \end{aligned} \quad (2.14)$$

es decir, sería un sábado a las 8 horas o posterior, por lo que el comienzo del año tendría que trasladarse al siguiente día que es domingo, pero como este día no puede ser el *Roch-hachana*, será necesario hacer el desplazamiento un día más y pasar el inicio del año al lunes. Pero en este caso la duración del año común alcanzaría los 356 días, lo que está prohibido.

5. Si en un año ordinario que sigue a un año embolístico (es decir los que están en los puestos 1, 4, 7, 9, 12, 15 y 18 del ciclo lunar) el *molad* calculado cae el lunes a las 15 horas 589 *'halakim* o posterior, entonces se traslada el comienzo del año al martes. La razón de esta regla se encuentra en que si el *molad* ocurriera en el día y hora

⁸Una de las funciones más importantes del Sanedrín es la fijación de un calendario con, en particular, la proclamación del mes nuevo. Como era necesario observar el primer creciente de la Luna, se reunían en Jerusalén los testimonios de aquellos que piensan que fueron los primeros en haber visto el primer creciente lunar. En particular, las dos primeras llegadas eran meticulosamente cuestionadas y si sus testimonios concordaban, se anunciaba el nuevo mes. Si no aparecía ningún testigo, el mes actual se llevaba 30 días. Inmediatamente, el anuncio se transmitía mediante una luz en la cima del Monte de los Olivos. Esta práctica fue abandonada porque los samaritanos emitieron señales falsas. A partir del S.IV, los cristianos descontentos obtuvieron de los romanos una prohibición del envío de emisarios y la recepción de testigos. Así, en el 359 d.C., se instituyeron reglas complejas de cálculo y en el 922 d.C., el secreto de los cálculos se reveló durante una controversia entre los cálculos de los judíos de Babilonia y de Jerusalén. Desde esta fecha, el método no ha sido modificado.

indicado o posterior, el *molad* del principio del año anterior habría sido

$$2 \text{ días } 15 \text{ horas } 589 \text{ 'halakim} - 13 \times 29 \text{ días } 12 \text{ horas } 793 \text{ 'halakim} = \quad (2.15)$$

$$3 \text{ días } 18 \text{ horas}$$

es decir, el primer *molad* del año embolístico sería el martes a las 18 horas, por lo que tendría que ser postpuesto al jueves, pero entonces el año embolístico tendría una duración de sólo 382 días, lo cual no puede ser porque la duración mínima es de 383 días.

Al hacer uso de las reglas anteriores se puede determinar el carácter del año o del día semanal de su primer día. Aunque para hallar la especie del año es necesario determinar previamente el día semanal de *Roch-hachana* del año siguiente, según la tabla 2.4.

Género	Diferencia	Especie	Días de Hechvan y Kislev	Días del año
Común	3	Defectivo	29 y 29	353
Común	4	Regular	29 y 30	354
Común	5	Abundante	30 y 30	355
Abundante	5	Defectivo	29 y 29	383
Abundante	6	Regular	29 y 30	384
Abundante	0	Abundante	30 y 30	385

Cuadro 2.4: Relación entre el género y especie del año y la determinación del día semanal del *Roch-hachana* en el calendario judío (Tomada de Segura [23]).

La segunda columna de la tabla 2.4 indica el día semanal del año siguiente menos el día semanal del año analizado (añadiéndole 7 si el resultado fuera negativo).

Finalmente, para determinar un año del calendario judío lo primero que hay que hacer es determinar su posición lunar; es decir, el número de ciclos lunares completos que han transcurrido desde el momento de la creación, así como los años normales y abundantes que han transcurrido en el ciclo en curso. A continuación, se multiplican los anteriores números por los *she'riot* correspondientes, a los que se le suma el momento del primer *molad* del año. Luego, se determina si el año es normal o abundante, utilizando para ello su posición en el ciclo lunar. Con todo esto se aplican los *dehiyyot* y se determina el día de *Roch-hachana*. Entonces, para hallar la especie del año, se repite todo el cálculo para el siguiente año y haciendo uso de la tabla 2.4 se averiguan los días de los meses de Hechvan y Kislev. Conociendo el día semanal de *Roch-hachana*, el género y la especie del año ya se

puede construir el calendario. Además, el año se divide en cuatro partes iguales cubriendo aproximadamente las estaciones, estas se celebran en los primeros días de los meses de Tishri, Tevet, Nisan y Tammuz.

Ejemplo 2.10. Se quiere conocer que tipo de año será 5781, que empezará en dos meses:

En primer lugar, se realiza el cálculo para averiguar el género del año:

$$(7 \times 5781 + 1) \bmod 19 = 16, \quad (2.16)$$

que es mayor que 7, luego el año será común. Y entonces, se procede a la búsqueda del día semanal del *Roch-hachana*:

$$\begin{aligned} 29 \text{ días } 12 \text{ horas } 793 \text{ 'halakim} \times \left(\frac{235 \times 5781 + 13}{19} \right) + 3 \text{ días } 9 \text{ horas } 204 \text{ 'halakim} = \\ 2111499 \text{ días } 22 \text{ horas } 210 \text{ 'halakim} \\ 2111499 \bmod 7 = 5, \end{aligned} \quad (2.17)$$

lo que indica que el *Roch-hachana* será jueves. Sin embargo, debido a que el primer creciente lunar excede las 18 horas, *Roch-hachana* debería coincidir con un viernes, que contradice las reglas expuestas anteriormente y debe posponerse al sábado, cuyo valor es 7.

Realizando las mismas operaciones para el año siguiente (5782):

De nuevo, se calcula el género del año:

$$(7 \times 5782 + 1) \bmod 19 = 5, \quad (2.18)$$

que es menor que 7, luego el año será abundante. Y, entonces, se vuelve a proceder con la búsqueda del día semanal del *Roch-hachana*:

$$\begin{aligned} 29 \text{ días } 12 \text{ horas } 793 \text{ 'halakim} \times \left(\frac{235 \times 5782 + 13}{19} \right) + 3 \text{ días } 9 \text{ horas } 204 \text{ 'halakim} = \\ 2111854 \text{ días } 7 \text{ horas } 6 \text{ 'halakim} \\ 2111854 \bmod 7 = 3, \end{aligned} \quad (2.19)$$

lo que corresponde con que el *Roch-hachana* será martes.

La diferencia del día semanal de 5782 y 5781 es:

$$3 - 7 = -4 \Rightarrow -4 + 7 = 3 \quad (2.20)$$

Y, de acuerdo con la tabla 2.4, el año 5781 es un año común defectivo, pues los meses de Hechvan y Kislev poseen 29 días cada uno; es decir, es un año de 353 días.

El año judío viene caracterizado por el carácter, el género y la especie. Sin embargo, es habitual expresar las características del año mediante su carácter, especie y el día semanal en que cae la Pascua (que es siempre el día 15 de Nisán). Por lo que, de manera abreviada, se define el tipo de año por tres letras correspondientes a las iniciales en hebreo de las características anteriormente citadas.

Existen dos géneros de años, cuatro posibilidades para las duraciones de los meses Hechvan y Kislev, lo que quiere decir que, en principio, deberían existir 24 variedades o *kebiot* de años en el calendario judío ($2 \times 4 \times 3$); sin embargo, en la realidad, solo 14 de esos tipos pueden darse.

Por último, si el sistema de cálculo se basase en un ciclo inmutable de 19 años, durante más de 1.500 años de uso, el calendario lunar se vería descompensado por más de una semana del Sol. Sin embargo, como los ciclos de 19 años sucesivos son diferentes, pues hay 61 variantes dependiendo de la distribución relativa de los años de diferentes duraciones, su duración también es variable, ya que vale 6.939, 6.940 ó 6.941 días. La precisión es tal que las fases de la Luna se reproducen con una deriva de menos de una hora en 4.000 años. Pero el calendario hebreo comete un error que se irá acumulando con el tiempo, pues el año implicado en dicho almanaque posee un valor medio de

$$\frac{29,50594 \times 12 \times 12 + 29,50594 \times 13 \times 7}{19} = \quad (2.21)$$

365 días 5 horas 55 minutos 25,29 segundos,

lo que generará, a la larga, un error acumulado y una movilidad de todas las estaciones respecto al calendario.

Capítulo 3

Conversión de fechas

En este último capítulo, primero se desarrollarán el formato ISO-8601, la Data Juliana y las épocas besseliana y juliana y, a continuación, se mostrará la implementación en el lenguaje de programación Python de un algoritmo que hará conversiones de fechas y que será accesible para cualquier persona con un dispositivo electrónico.

3.1. ISO-8601

En 1988, la Organización Internacional de Normalización ISO publicó la norma ISO-8601 sobre la representación de fechas y tiempo, y fue adoptada por la Unión Europea. La norma ISO-8601 define, por tanto, un nuevo calendario, que utiliza como unidad principal la semana en vez del día.

Las normas sobre el formato y la representación de fechas y tiempo unifican la multitud de notaciones existentes. Su forma básica de representar las fechas viene dada por la notación $CCYY - MM - DD$, colocando primero el año con cuatro cifras $CCYY$, luego el mes y, por último, el día (ambos con dos cifras MM y DD), referenciando al calendario gregoriano y separadas todas las cifras por un guión, colocando inicialmente la unidad mayor (el año) y al final la unidad más pequeña (el día).

Existen varias maneras de simplificar la notación anterior: representando la fecha omitiendo los guiones; eliminando las cifras de milésima y centenas del año; si el día no es significativo, eliminándolo...

La norma ISO-8601 define como primer día de la semana el lunes, asociándole el número 1, siendo el 7 el correspondiente al domingo. La primera semana del año es aquella que contiene el primer jueves de ese año, o equivalentemente, aquella que incluye el día 4 de enero. Es decir, que la primera semana del año puede comenzar en los días comprendidos entre el 29 de diciembre y el 4 de enero, ambos inclusive, tal como se ve en la tabla 3.1.

Día 1 de enero	Primer jueves	Comienzo del año ISO
Lunes	4-enero	1-enero
Martes	3-enero	31-diciembre
Miércoles	2-enero	30-diciembre
Jueves	1-enero	29-diciembre
Viernes	7-enero	4-enero
Sábado	6-enero	3-enero
Domingo	5-enero	2-enero

Cuadro 3.1: Correlación entre el calendario gregoriano y el calendario ISO-8601 para la estipulación de la primera semana (Tomada de Segura [23]).

La determinación del orden semanal provoca que el año pueda tener, en algunas ocasiones, 52 semanas y en otras 53, variando su número de días entre 364 y 371. Existe una forma de representar las semanas siguiendo el patrón CCYY-Www-D¹ También existe un método complementario de representación de fechas contando ininterrumpidamente los días desde el comienzo del año, siendo la notación CCYY-DDD².

3.2. Data Juliana y Épocas Besseliana y Juliana

3.2.1. Data Juliana

Desde el punto de vista matemático, el uso del calendario no es muy práctico; basta simplemente con calcular el intervalo de tiempo transcurrido entre dos fechas separadas varios meses para constatar lo tediosa que es la operación, puesto que hay que tener en cuenta el número de días que hay en cada mes y si aparece involucrado algún año bisiesto o no en el lapso de tiempo considerado. Una escala continua simplificaría notablemente el cálculo. Esto se consiguió con un procedimiento de datación llamado Data Juliana y propuesto por Joseph Justus Scaliger en 1582 y, posteriormente, aplicado al cómputo de los días por el astrónomo William Herschel en 1851. Tal y como recoge Segura [23], Scaliger dejó constancia de las razones para darle el nombre de juliano a su ciclo: “Le he llamado periodo juliano porque se ajusta al año juliano”.

El ciclo o periodo juliano es de 7.980 años, es decir, este calendario no es perpetuo en ninguno de los dos sentidos que esta expresión puede tener, pues:

¹Ejemplo tomado de Segura [23]: 2000-W29-3 significa el día 3 (miércoles) de la semana número 29 del año 2000.

²Ejemplo tomado de Segura [23]: 2000-211, significa día 211 del año 2000.

- Se utiliza de forma que se conozca el día de la semana que corresponde a la fecha dada, ya que el día de la semana es cambiante con los años y no es fácil de determinar.
- No sirve *in aeternum*, *i.e.*, para siempre, pues una vez acabe ese ciclo de años, habrá que comenzar un segundo ciclo.

En realidad, el periodo juliano es el producto de otros tres ciclos: el solar (de 28 años de duración), el de Metón (de 19 años) y el de indicción³ (de 15 años). Los orígenes de estos tres periodos son tales que al año 1 de nuestra era le correspondió el 2 del ciclo de Metón, el 10 del ciclo solar y el 4 del de la indicción. Por tanto, los comienzos de los tres ciclos coincidieron en el año -4712 , que se toma como el origen del primer periodo juliano, por lo que el segundo ciclo tendrá inicio en el año 3178.

Aunque el denominado día juliano cronológico empieza, al igual que el día civil⁴, a medianoche, la cuenta de los días julianos comienza el 1 de enero del año -4712 del calendario proléptico juliano a las 12 horas de tiempo universal⁵. El 1 de enero del -4712 fue el día juliano cronológico cero, aunque ese año sea considerado como el primero del ciclo, y, por tanto, el día juliano cronológico coincide con el día juliano astronómico a las 12 horas. El día juliano cronológico siempre toma un valor entero, no así el astronómico, que puede tener cifras decimales correspondientes a la fracción del día.

Una de las mayores utilidades que tiene la Data Juliana (y que se pone en práctica en este trabajo) es que para casi todos los calendarios se puede considerar un algoritmo capaz de pasar de la fecha de un calendario concreto a la data juliana y viceversa. Esto permite, en consecuencia, que sea relativamente fácil pasar de unos calendarios a otros utilizando el paso intermedio de conversión a la fecha juliana.

3.2.2. Épocas Besseliana y Juliana

La época estándar o época fundamental es la fecha para la que se calculan las coordenadas de las estrellas y otros datos en los catálogos estelares. El lugar estándar de una estrella es su ascensión recta y su declinación referidas al ecuador medio y al equinoccio de la época escogida. Al referir todas las posiciones de estrellas a una fecha estándar, se eliminan los efectos del movimiento propio, la precesión y la nutación.

³Es un periodo de quince años establecido en el calendario bizantino por el emperador romano Constantino en el año 312 d.C.

⁴El tiempo civil es el tiempo solar medio aumentado en 12 horas, por lo que se comienza a contar desde medianoche y es de carácter local.

⁵Tiempo civil local en el meridiano de Greenwich. Su unidad de tiempo es el segundo, definido como la 86.400 parte de un día solar medio. Depende de la variación de la velocidad de la rotación terrestre.

Con anterioridad a 1976, la época estándar estaba basada en el llamado año besseliano. Friedrich Wilhelm Bessel, matemático y astrónomo alemán, definió este como un año de duración idéntica al año trópico, pero que comienza en el instante en que la ascensión recta del Sol medio, afectada por aberración y contada desde el equinoccio medio, es de 280° ó 18 horas 40 minutos. Esta elección aparentemente artificial está hecha con la intención de aproximar al máximo el comienzo del año trópico con el del calendario.

Tomando el razonamiento de Segura [23], el año de Bessel viene definido por la expresión

$$\alpha_m \times (T + a_b) - \alpha_m \times (T) = 86,400, \quad (3.1)$$

donde la ascensión recta aparente media del Sol referida al equinoccio medio de la fecha es

$$\alpha_m = 18 \text{ horas } 38 \text{ minutos } 45,836 \text{ segundos} + \\ 8.640.184,542 \text{ segundos} \times T + 0,0929 \text{ segundos} \times T^2 \quad (3.2)$$

siendo T los siglos julianos contados desde las 12 horas del día 0 de enero del año 1900 en la escala de tiempo de las efemérides⁶ o tiempo terrestre⁷.

Al desarrollar la expresión 3.1 se obtiene la ecuación de segundo grado:

$$0,0929 \times a_B^2 + (8.640.184,542 + 0,1858 \times T) \times a_B - 86.000 = 0 \quad (3.3)$$

con solución:

$$a_B = 365 \text{ días } 5 \text{ horas } 48 \text{ minutos } 45,975 \text{ segundos} - 0,678 \text{ segundos} \times T, \quad (3.4)$$

que es ligeramente diferente del año trópico.

El año besseliano se escribe con una B seguida de un número que representa el año besseliano y un decimal que expresa la fracción de año trópico transcurrida desde el comienzo del año besseliano. Así, B1900,0 representa exactamente el comienzo del año besseliano 1900, mientras que B1900,5 significa medio año trópico después. La primera época origen estándar establecida fue precisamente B1900,0 y, posteriormente, hacia la mitad del S.XX, se usó B1950,0 como época estándar.

Por otro lado, B1900,0 \equiv JD2415020,31352 coincide con la fecha 0,813 días de enero de 1900 TE, pues al inicio del año 1900 (T = 0) al Sol medio le faltaban todavía

$$18 \text{ horas } 40 \text{ minutos} - 18 \text{ horas } 38 \text{ minutos } 45,836 \text{ segundos} = 74,164 \text{ segundos} \quad (3.5)$$

⁶Tiempo basado en la dinámica del sistema solar y es uniforme por definición. Su época origen es el instante en el que el Sol medio pasa por el meridiano del día que comienza el año 1900. Tuvo vigencia hasta 1967.

⁷Coincide de manera exacta con el tiempo de efemérides y es su continuación a partir del 1 de enero de 1977.

para llegar al punto desde donde debe comenzar el primer año de Bessel. La velocidad con que varía la ascensión recta del Sol en segundos por siglo juliano⁸ es

$$\frac{d\alpha_m}{dT} = 8.640.184,542 \text{ segundos} + 0,1858 \text{ segundos} \times T \quad (3.6)$$

y dividiendo entre 36.252 se obtiene

$$\frac{d\alpha_m}{dT} = 238,336768785 \text{ segundos} + 0,000005125 \text{ segundos} \times T \quad (3.7)$$

cuya unidad es segundos por día. Entonces los 74,164 segundos que le faltan a la ascensión recta para llegar al punto de inicio del año besseliano será recorrido en

$$\frac{74,164 \text{ segundos}}{238,336768785 \text{ segundos}} = 0,311173 \text{ días.} \quad (3.8)$$

Esto quiere decir que el año besseliano de 1900 comenzó 0,311173 días después del comienzo de la fecha de referencia ($T = 0$), que se produjo a las 12 horas del día 0 de enero (ó 31 de diciembre del año anterior); es decir, el año besseliano 1900 (que se representa por B1900,0) fue el día 0,813516 de enero del año 1900, expresado como se ha dicho antes, en tiempo terrestre.

En 1976, la Unión Astronómica Internacional redefinió los conceptos anteriores, estableciendo una duración constante del año besseliano e igual a la duración del año trópico en este año B1900,0. Para calcular el segundo año besseliano se le suma a la fecha de comienzo del primer año, la duración del año trópico 365,242198781 días de tiempo universal, y se le quita la duración del año 1900, que fue de 365 días (pues, por la regla gregoriana, no fue bisiesto); resultando, por lo tanto, que el segundo año besseliano comenzó el 1,055715 de enero de 1901. Se debe tener en cuenta que los días que median desde el comienzo del año civil (el 1 de enero) y el comienzo del año besseliano pueden ser de cantidad negativa, significando que el año de Bessel comienza antes del año civil.

La relación entre la época besseliana y el día juliano viene dada por

$$J = (B - 1900) \times 365,242198781 + 2.415.020,31352 \quad (3.9)$$

donde B representa la época besseliana cuyo día juliano, J, se quiere calcular.

Sin embargo, la duración variable del año trópico hacía difícil la medición de intervalos entre dos épocas, lo que aconsejó buscar un nuevo método de representación de una época basado, esta vez, en el año juliano (365,25 días) y en otra época estándar, la época juliana. Esta se introdujo en 1984 y se denomina época J2000,0 \equiv JD2451545,0, que coincide con la fecha 1 de enero de 2000 a las 12 horas de tiempo universal. Este nuevo sistema se adapta muy bien al uso del día como unidad para expresar un cierto intervalo de tiempo.

⁸El siglo juliano contiene 36.525 días.

Las siguientes épocas julianas se calculan añadiendo a la anterior fecha la duración del año juliano, o sea, 365.25 días. La relación entre la época juliana y el día juliano es

$$J = (A - 2000) \times 365,25 + 2.451.545,0 \quad (3.10)$$

donde A representa el año para el que se quiere calcular la época juliana. Se puede ver en la tabla 3.2 la fecha gregoriana del comienzo de distintas épocas julianas:

Época	J1900	J2000	J2100	J2200	J2300
Fecha	31,5-enero-1899	1,5-enero-2000	1,5-enero-2100	2,5-enero-2200	3,5-enero-2300

Cuadro 3.2: Relación de la época juliana con su fecha gregoriana (Tomada de Segura [23]).

3.3. Aplicación

Para esta memoria se ha decidido implementar un programa *calendarios-astronomicos* que permite que cualquier usuario introduzca una fecha del calendario más utilizado, el gregoriano, y obtenga de forma inmediata las conversiones al formato ISO-8601, al calendario judío, al almanaque musulmán y a la Data Juliana; es decir, a los calendarios desarrollados a lo largo de este Trabajo Fin de Grado.

Para ello, dicho programa funciona de dos formas diferentes:

1. Versión terminal: El usuario utiliza la consola de su ordenador para realizar las conversiones.
2. Versión web: El usuario puede acceder desde cualquier dispositivo electrónico con acceso a internet.

El código se encuentra en el Anexo I y su explicación se halla al final de esta sección, aunque este también se encuentra disponible en el portal GitHub, concretamente, en <https://github.com/poure13/calendarios-astronomicos>. Además, se puede acceder a la segunda versión ya señalada desde la siguiente dirección `poure.uber.space`.

- **Uso:** Requiere Python ≥ 3.8 . Primero de todo, hay que clonar el repositorio:

```
git clone https://github.com/poure13/calendarios-
astronomicos
```

Después se accede a la carpeta y se instalan los requisitos del programa:

```
$ cd calendarios-astronomicos
$ pip install -r requirements.txt
```

Para ejecutar calendarios-astronomicos, simplemente hay que usar:

```
python calendarios-astronomicos.py
```

En caso de querer invocar la versión web:

```
python calendarios-astronomicos.py web
```

También está disponible un pequeño comando de ayuda:

```
python calendarios-astronomicos.py help
```

que devuelve el siguiente mensaje:

Descripción: calendarios-astronomicos es un conversor de fechas con capacidad de transformar las fechas del calendario gregoriano al calendario judío, al calendario musulmán y a la data juliana. También devuelve la fecha en formato ISO-8061.

Argumentos: web ⇒ Crea un servicio web para acceder de forma más cómoda al conversor. help ⇒ Muestra este mensaje de ayuda.

- **Implementación:** La aplicación se ha implementado usando el lenguaje de programación Python (en concreto, Python3), ya que este es sencillo y su sintaxis es fácil de entender, es versátil a la hora de programar teniendo un código más organizado que otros lenguajes, es de tipado dinámico y de código abierto. Además, es multiplataforma y existe una gran comunidad alrededor de este lenguaje trabajando día a día, de hecho, existen múltiples tutoriales y páginas web para comenzar desde cero a trabajar con Python. Se ha construido una versión híbrida, facilitando así el uso del programa que permite invocar a ambas versiones al haber implementado en el mismo tanto la versión terminal, como la versión web.

Por un lado, para la parte terminal se ha implementado siguiendo el formato REPL, siglas en inglés de *Read-Eval-Print-Loop*, que significa que es un bucle de Lectura-Evaluación-Impresión, y detectando en la medida de lo posible todos los errores que el usuario pueda cometer hasta que la entrada sea válida.

Por otro lado, para la parte web de *calendarios-astronomicos* se ha utilizado el *framework Flask*, generando diversas rutas necesarias y permitiendo el acceso a los datos

proporcionados por los usuarios de una manera más sencilla. En la parte estática de la página web se han utilizado tanto HTML como CSS planos. Para la tipografía la fuente utilizada ha sido *Merriweather Google Fonts* y para el logo se ha utilizado *Openmoji*, una recopilación de emojis de código libre.

Cabe mencionar que, cuando se invoca el programa con el argumento *help*, se ha intentado que el menú de ayuda siga los estándares de otras aplicaciones de terminal disponibles en Linux.

El código encargado de realizar las conversiones está encapsulado en funciones independientes, lo que permite reutilizar el mismo desde la parte terminal y desde la web de *calendarios-astronomicos* de manera concisa y eficiente. Se han utilizado de forma complementaria las librerías *convertdate* y *pyluach*, ya que se buscó que la finalidad de esta aplicación fuese, por una parte, acercar al usuario hacia el uso de diversos calendarios y, a nivel personal, realizar una programación con un lenguaje más moderno de los conocidos en el Grado, en vez de reimplementar los códigos de conversión ya procurados por otros muchos programadores o investigadores.

Finalmente, el código se ajusta a los estándares de estilo de Python (PEP8), de hecho, para que los cumpliera, se ha utilizado la herramienta de autoformato *black*. También, se ha seguido la buena práctica de incluir un archivo de *Requirements.txt* para facilitar la instalación de dependencias externas a *calendarios-astronomicos*.

- **Despliegue:** Aunque este programa se puede ejecutar en la terminal del ordenador, se ha realizado el despliegue del modo web en un servidor para facilitar la prueba y uso del software. Para dicho despliegue se ha utilizado el servicio *Uberspace*, que facilita el acceso a un servidor Linux que dispone de un dominio ya configurado.

Luego, para desplegar *calendarios-astronomicos* se ha efectuado una conexión al servidor utilizando la herramienta SSH, se ha movido el código a dicho servidor y, por último, se ha ejecutado en segundo plano el servicio *Flask*.

- **Explicación:** La explicación de lo que realiza el programa empieza por el final del código (que se puede visualizar en el primer anexo), pues se puede ver una lógica con *if* y *elif* en los cuales se parsea el argumento que haya introducido el usuario. Incluso, se realiza la validación de si se ha introducido o no el número de argumentos válidos. En caso de que no haya ningún argumento incorrecto, se lanza *run terminal*, es decir, se inicia la parte terminal del programa; en caso de que sea web, se lanza *run web* y, en caso de que no sea ninguno de los dos anteriormente citados y sea *help*, se lanza un mensaje de ayuda. Por último, en la circunstancia de que no sean

ninguna de las tres situaciones anteriores, significa que el usuario ha introducido algo de forma incorrecta y, por lo tanto, se le avisa de que es un argumento desconocido y regresará al inicio del programa.

El flujo del programa se ha dividido en dos caminos distintos:

1. En caso de tomarse la ruta de la **terminal**, al entrar en ella se entra en un bucle infinito donde se solicitará constantemente al usuario que introduzca una fecha. En caso de que dicha fecha sea incorrecta (bien porque el número de argumentos no es válido, bien porque se haya introducido un día o año inapropiado o bien porque el formato no sea el correcto), se le avisa al usuario del error y se le solicita que vuelva a introducir la fecha. En caso de que todas estas validaciones se cumplan y el usuario haya introducido la fecha correctamente (por ejemplo, 15 Feb 2015), lo que se hace es extraer el mes introducido en letras (“Feb”) y convertirse a números para poder realizar la conversión de una forma más cómoda. Más adelante se explicarán las funciones de conversión a las que llama el programa.
2. En caso de tomar la ruta **web**, este camino lo que hace es crear un servidor web en *Flask* que tiene una ruta base que acepta peticiones del tipo *GET* y del tipo *POST*. Si un usuario llegue a la página web, se le devuelve la petición del tipo *GET*, pues se le muestra una *landing page* donde podrá ver una descripción de lo que realiza el programa, un formulario y un botón. Cuando el usuario complete este formulario y pulse el botón, se realiza otra petición, esta vez de tipo *POST*. Lo primero que se hará en el código Python será extraer dicha fecha solicitada y se le dará el formato correcto, a continuación, se realizarán los cálculos necesarios y se le dará la conversión formateada en otra página HTML. En caso de que el usuario quiera regresar a la página principal, se le ofrece un botón (*Volver*).

Por último, se procede a la explicación de las funciones que se utilizan en ambos bloques, tanto en terminal como en web:

- *convert format* \Rightarrow Invierte el día, mes y año para ajustarlo al formato ISO-8601.
- *convert hebrew* \Rightarrow Convierte del calendario gregoriano con formato ISO-8601 a la Data Juliana y de esta al calendario hebreo.
- *convert islamic* \Rightarrow Convierte del calendario gregoriano con formato ISO-8601 a la Data Juliana y de esta al calendario musulmán.

- *convert julianday* \Rightarrow Convierte del calendario gregoriano con formato ISO-8601 a la Data Juliana.

Para las tres últimas funciones se ha tomado la librería ya implementada *convertdate*, que tiene los códigos necesarios para hacer la conversión de fechas. Para obtener el mes judío correspondiente al número obtenido de la transformación, se ha tomado la librería ya existente *pyluach*. Para proporcionar el mes musulmán, una vez obtenido el mes numérico en la conversión, se ha implementado de forma manual.

- **Ejemplo:** Se dispone a continuación, a modo de ejemplo, la conversión de la fecha límite de entrega de este trabajo fin de grado (13 de Julio de 2020) con la versión web.

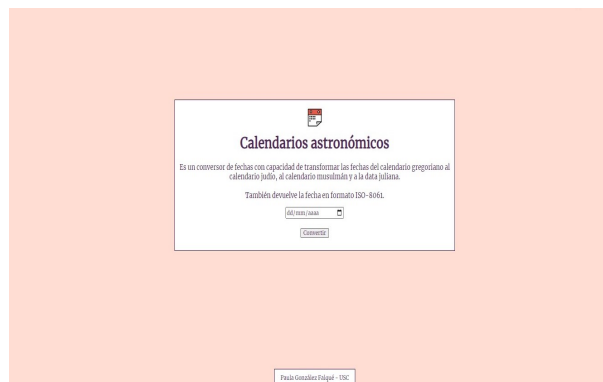


Figura 3.1: Página web principal (Captura de `poure.uber.space`).

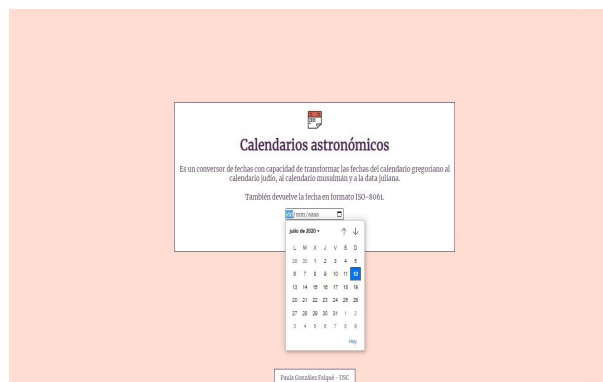


Figura 3.2: Página web principal con el calendario desplegado (Captura de `poure.uber.space`).

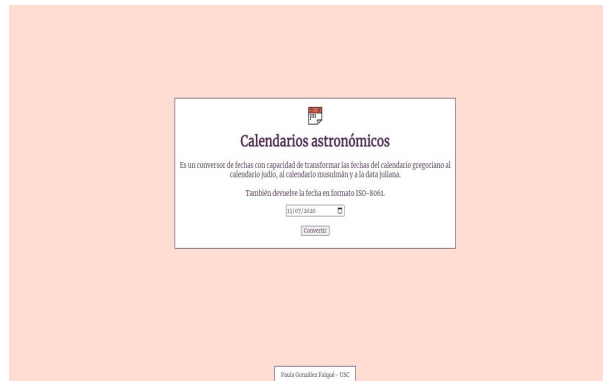


Figura 3.3: Página web principal con la fecha elegida (Captura de `poure.uber.space`).

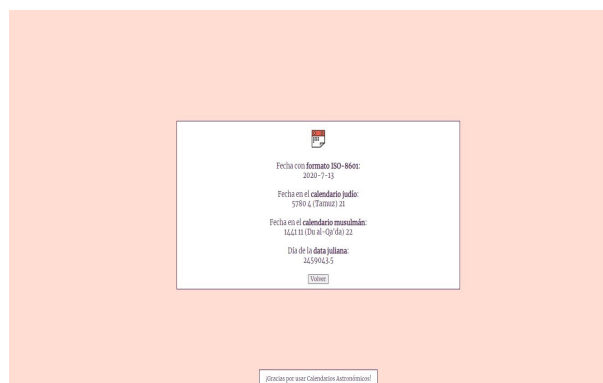


Figura 3.4: Página web con la conversión de la fecha escogida (Captura de `poure.uber.space`).

Anexos

Anexo I: Código del programa

calendarios-astronomicos

A pesar de que la forma recomendada de ver este programa es visualizarlo en *Gihub*, se adjunta a continuación parte de este. Además, se recuerda que dicho código es accesible de manera ya ejecutada en el link `poure.uber.space`.

```
import sys
from convertdate import hebrew
from convertdate import islamic
from convertdate import julianday
from flask import Flask, request
from pyluach import hebrewcal

app = Flask(__name__)

def get_islamic(year, month, day):
    return islamic.from_gregorian(year, month, day)

def get_hebrew(year, month, day):
    return hebrew.from_gregorian(year, month, day)

def get_hebrew_month(year, month, day):
    year, month, _ = get_hebrew(year, month, day)
    return hebrewcal.Month(year, month).name

def get_islamic_month(year, month, day):
    year, month, _ = get_islamic(year, month, day)
```

```

islamic_months = [
    "Muharram",
    "Safar",
    "Rabi_I",
    "Rabi_II",
    "Yumada_I",
    "Yumada_II",
    "Rayab",
    "Sha'ban",
    "Ramadan",
    "Shawwal",
    "Du_al-Qa'da",
    "Du_al-Hiyya",
]
return islamic_months[month - 1]

def convert_format(year, month, day):
    return "Fecha_con_<strong>formato_ISO-8601</strong>:
    <br>{}-{}-{}<br>".format(year, month, day)

def convert_hebrew(year, month, day):
    return "Fecha_en_el_<strong>calendario_judio</strong>:
    <br>{0}_{1}_{3}_{2}<br>".format(
        *get_hebrew(year, month, day),
        get_hebrew_month(year, month, day)
    )

def convert_islamic(year, month, day):
    return "Fecha_en_el_<strong>calendario_musulman</strong>:
    <br>{0}_{1}_{3}_{2}<br>".format(
        *get_islamic(year, month, day),
        get_islamic_month(year, month, day)
    )

def convert_julianday(year, month, day):
    return "Dia_de_la_<strong>data_juliana</strong>:<br>{}".

```

```

    format(
        julianday.from_gregorian(year, month, day)
    )

@app.route("/", methods=["GET", "POST"])
def easy_calendar():
    if request.method == "POST":
        year, month, day = str(request.form["gregorian"]).split("-")
        year, month, day = int(year), int(month), int(day)
        return """<link href="https://fonts.googleapis.com/css2?
            family=Merriweather&display=swap" rel="stylesheet">
        <body style="background-color:#ffddd3;color:#522959;font-
            family: 'Merriweather', serif;">
        <div style="margin-top: 15%;margin-left: auto;margin-right:
            auto;width: 45%;border: 1.5px solid #522959;padding: 10
            px;text-align: center;background-color:white;">
        
        <br><br>
        {}<br/>{}<br/>{}<br/>{} </br></br><button style="color
            :#522959;font-family: 'Merriweather', serif;" onclick="
            location.href='/'" type="button">
        Volver</button><br></div><div style="margin-top: 10%;margin
            -left: auto;margin-right: auto;width: 18%;text-align:
            center;border: 1.5px solid #522959;padding: 10px;text-
            align: center;background-color:white;">
        <small>Gracias por usar Calendarios Astronomicos</small>
        </div>
        """ .format(
            convert_format(year, month, day),
            convert_hebrew(year, month, day),
            convert_islamic(year, month, day),
            convert_julianday(year, month, day),
        )

```

```
else:
```

```
    return """
    <link href="https://fonts.googleapis.com/css2?family=
        Merriweather&display=swap" rel="stylesheet">
    <body style="background-color:#ffddd3;color:#522959;font-
        family: 'Merriweather', serif;">
    <div style="margin-top: 15%;margin-left: auto;margin-right:
        auto;width: 45%;border: 1.5px solid #522959;padding: 10px;
        text-align: center;background-color:white;">
    
    <h1 style="margin-top: 1%;">Calendarios astronomicos</h1>
    <p>Es un conversor de fechas con capacidad de transformar las
        fechas del calendario gregoriano al calendario judio , al
        calendario musulman y a la data juliana. <br><br> Tambien
        devuelve la fecha en formato ISO-8061.</p>
    <form action="/" method="post">
    <input style="color:#522959;font-family: 'Merriweather', serif
        ;" type="date" id="gregorian" name="gregorian" required></
        br></br>
    <input style="color:#522959;font-family: 'Merriweather', serif
        ;" type="submit" value="Convertir">
    </form>
    </div>
    <div style="margin-top: 15%;margin-left: auto;margin-right:
        auto;width: 12%;text-align: center;border: 1.5px solid
        #522959;padding: 10px;text-align: center;background-color:
        white;">
    <small>Paula Gonzalez Falque - USC</small>
    </div>
    """
```

```
def run_web():
```

```
    app.run(debug=True, port="3000", host="0.0.0.0")
```

```
def run_terminal():  
    while True:  
        user_input = input("Introduce una fecha (ej. 12_Feb_2015): ")  
        user_input = user_input.split()  
  
        if len(user_input) != 3:  
            print("El número de argumentos es incorrecto.")  
            continue  
  
        day, month, year = user_input  
  
        if day.isdecimal() is not True:  
            print(f"Has introducido {day}, que no es un número")  
            continue  
  
        if month.isalpha() is not True:  
            print(f"Has introducido {month}, que no sigue el formato  
                correcto")  
            continue  
  
        if year.isdecimal() is not True:  
            print(f"Has introducido {year}, que no es un número")  
            continue  
  
        day = int(day)  
        month = month.lower()  
        year = int(year)  
  
        if day < 1 or day > 31:  
            print(f"Has introducido {day}, que es un día incorrecto")  
            continue  
  
        if year < 1 or year > 3000:  
            print(f"Has introducido {year}, que es un año")
```

```
        incorrecto ")
    continue

month_names = [
    "jan ",
    "feb ",
    "mar ",
    "apr ",
    "may ",
    "jun ",
    "jul ",
    "aug ",
    "sep ",
    "oct ",
    "nov ",
    "dec ",
]

try:
    month_number = month_names.index(month) + 1
except ValueError:
    print ("El_mes_introducido_no_coincide_con_las_
           abreviaturas_de_un_mes.")
    continue

print(convert_format(year, month_number, day))
print(convert_hebrew(year, month_number, day))
print(convert_islamic(year, month_number, day))
print(convert_julianday(year, month_number, day))

break

if len(sys.argv) > 2:
    print(
        "El_numero_de_argumentos_no_es_valido ,_si_necesitas_ayuda ,_
        utiliza :_calendarios-astronomicos_help"
```

```

)
elif len(sys.argv) == 1:
    run_terminal()
elif sys.argv[1] == "web":
    run_web()
elif sys.argv[1] == "help":
    print(
        """Descripcion:

calendarios-astronomicos es un conversor de fechas con
capacidad de transformar las fechas del calendario
gregoriano al calendario judio, al calendario musulman
y a la data juliana. Tambien devuelve la fecha en formato
ISO-8061.

Argumentos:

web      Crea un servicio web para acceder de forma mas
comoda al conversor.
help    Muestra este mensaje de ayuda.
"""
    )
else:
    print(
        "Argumento desconocido. Si necesitas ayuda, utiliza:
calendarios-astronomicos_help"
    )

```

Bibliografía

- [1] Abad Medina, A.; Docobo Durante, J. A. y Elipe Sánchez, A., *Curso de Astronomía*, Prensas de la Universidad de Zaragoza, Zaragoza, España, 2002, 103–129.
- [2] <https://www.astromia.com/tierraluna/> (Último acceso: 15-Junio-2020).
- [3] <https://astronomiaparatodos.com/2019/04/12/dia-solar-y-dia-sideral/> (Último acceso: 03-Junio-2020).
- [4] Barja Pérez, J. M., *Calendarios: matemáticas para organizar o tempo*, Gamma: revista galega de educación matemática, 2003, Número 3, 87–98.
- [5] <http://www.bdigital.unal.edu.co/1700/6/guia4.pdf> (Último acceso: 28-Junio-2020).
- [6] <https://curiosfera-historia.com/historia-del-calendario/> (Último acceso: 30-Mayo-2020).
- [7] https://www.ecured.cu/Invasi%C3%B3n_aria_a_la_India (Último acceso: 01-Junio-2020).
- [8] https://www.ecured.cu/Calendario_lunar (Último acceso: 23-Junio-2020).
- [9] <https://erenovable.com/que-es-el-calendario-solar/> (Último acceso: 02-Junio-2020).
- [10] <http://edoix.blogspot.com/p/blog-page.html> (Último acceso: 06-Julio-2020).
- [11] <https://github.com/fitnr/convertdate> (Último acceso: 10-Julio-2020).
- [12] <https://github.com/simlist/pyluach> (Último acceso: 10-Julio-2020).
- [13] <https://www.historiando.org/historia-del-calendario/> (Último acceso: 27-Mayo-2020).

- [14] <https://lalunadealcala.com/los-movimientos-de-la-luna/#:~:text=La%20Luna%20es%20el%20C3%BAnico,nos%20muestra%20la%20misma%20cara>. (Último acceso: 23-Junio-2020).
- [15] López Saavedra, J. R., *Calendario: algoritmos para a súa construción*, Gamma: revista galega de educación matemática, 2003, Número 3, 69–73.
- [16] <https://www.meteorologiaenred.com/movimientos-de-la-luna.html> (Último acceso: 15-Junio-2020).
- [17] <http://museovirtual.csic.es/salas/universo/astro8.htm> (Último acceso: 03-Junio-2020).
- [18] <https://www.nationalgeographic.es/viajes/el-calendario-mas-antiguo-del-mundo> (Último acceso: 27-Mayo-2020).
- [19] <https://naukas.com/2010/07/10/los-cinco-movimientos-de-la-tierra/> (Último acceso: 03-Junio-2020).
- [20] <https://www.nuevamujer.com/lifestyle/2013/07/25/calendario-mas-antiguo-del-mundo-es-descubierto-en-escocia.html> (Último acceso: 27-Mayo-2020).
- [21] de Orús Navarro, J. J.; Catalá Poch, M. A. y Núñez de Murga, J., *Astronomía esférica y mecánica celeste*, Publicacions y Edicions de la Universitat de Barcelona, España, 2007, 153–193.
- [22] Parisot, J.-P. y Suagher, F., *Calendriers et chronologie*, Masson, París, Francia, 2002.
- [23] Segura González, W., *Hemerología. La Ciencia de los Calendarios*, Acento, Tarifa, España, 2006.
- [24] Segura González, W., *Movimientos de la Luna y el Sol. Una introducción*, eWTEdiciones, España, 2018.
- [25] https://www.ucm.es/data/cont/docs/446-2013-08-22-07_munoz%20box.pdf (Último acceso: 30-Junio-2020).
- [26] http://www5.uva.es/trim/TRIM/TRIM6_files/Datajuliana.pdf (Último acceso: 30-Junio-2020).
- [27] https://xacopedia.com/a%C3%B1o_santo_compostelano (Último acceso: 06-Julio-2020).