



ASTRONOMÍA PARA INGENIEROS INQUIETOS II

EL SISTEMA SOLAR



Este documento es de uso único e intransferible para el alumno matriculado en el curso. Cualquier reproducción física o digital del documento sin permiso de los autores vulnera los derechos de propiedad intelectual de los mismos.

ÍNDICE

ÍNDICE.....	3
1. EL SISTEMA SOLAR.....	5
1.1 Los planetas del Sistema Solar	5
1.2 Cómo aprender a distinguir los planetas	8
1.3 En qué parte del cielo estrellado localizamos a cada planeta y cuándo.....	10
1.4 Los movimientos de los planetas. Relojes de precisión en el cielo	15

Para el estudio de este curso es imprescindible tener ya un cierto conocimiento de astronomía. En particular se recomienda haber realizado el curso anterior (Astronomía para ingenieros inquietos I).

En el anterior curso comenzamos con un breve análisis de nuestra posición en el universo, y enseguida comenzamos a analizar nuestro propio planeta. Vimos como los distintos movimientos de La Tierra nos podían ayudar a conocer las fechas, conocer nuestra posición, fechar distintas obras arquitectónicas o artísticas antiguas, detectar falsificaciones de fotos, etc...

Posteriormente explicamos cómo lograron los antiguos griegos conocer la inclinación del eje de la tierra, su distancia al sol, la distancia de la luna, el ciclo de la precesión de los equinoccios, etc...

Dedicamos un capítulo completo a explicar la transferencia de energía del sol hacia nuestro planeta. Insistimos en que todo lo que tiene energía y todo lo que se mueve en la Tierra, sean seres vivos o materias, obtienen su energía para moverse en última instancia del sol. Y explicamos cómo los movimientos orbitales de la Tierra provocan, matemáticamente, cambios climáticos a lo largo de la historia del planeta.

Por último dedicamos un extenso capítulo a la Luna, su origen y formación, su influencia sobre las mareas, por qué nos enseña siempre la misma cara, sus fases, su luz cenicienta, etc. ¡Incluso aprendimos a predecir eclipses!

En fin, creo que los que hicieron el primer curso entendieron que aprender (mejor dicho entender) astronomía va mucho más allá de aprenderse los nombres de las estrellas y las constelaciones (dejemos eso para aquellos que quieren impresionar a sus cuñados en las noches de verano).

En este segundo curso nos centramos en los distintos movimientos que percibimos de los planetas y las estrellas desde la tierra, y los modelos conceptuales que el hombre ha construido para intentar dar una respuesta a dichos movimientos. Esto nos llevará por una aventura apasionante de la historia de la ciencia, desde el final de la Edad Media hasta la edad contemporánea. Veremos cómo los enormes éxitos cosechados por Galileo, Kepler y Newton acabarán dando al hombre una confianza absoluta en la ciencia, cambiando con ello el rumbo de la historia. Finalmente acabaremos el curso haciendo ejercicios de contemplación del cielo, que nos servirán de repaso de todo lo estudiado hasta ahora.

1. EL SISTEMA SOLAR

Dedicaremos el primer capítulo de este curso al estudio de los planetas. Creo que es muy importante detenernos en ellos porque, durante toda la historia de la humanidad, el conocimiento astronómico se limitó únicamente a intentar lograr entender sus movimientos. Desde la tierra se percibían como movimientos tan complicados, que nadie, hasta Kepler y Newton, logró predecirlos correctamente.

Parte del objetivo de este capítulo es intentar explicar por qué el estudio de los movimientos de los planetas tuvo tanta importancia en la historia de la humanidad en general, y en el desarrollo de la ciencia universal en particular. Se podría decir que, si no hubiese sido por la existencia de los planetas, probablemente la ciencia occidental apenas existiría. Como vimos en el curso anterior, el éxito parcial griego a la hora de predecir eclipses y predecir los movimientos de los planetas les convenció de que el universo era un lugar ordenado, era un COSMOS y no un CAOS. Había por tanto unas leyes que eran obedecidas, y era preciso conocer dichas leyes. Por su parte, veremos ahora que el éxito abrumador de Newton y Kepler con sus modelos matemáticos avanzados, dieron un espaldarazo tan fuerte al método científico occidental que desde entonces parece imparable. Fue en el siglo XX cuando la relatividad y la mecánica cuántica empezaron a cuestionar a Newton, pero eso lo dejaremos para más adelante.

1.1 Los planetas del Sistema Solar

Los planetas del sistema solar son ocho: Mercurio, Venus, La Tierra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno. Los planetas interiores son planetas rocosos, son los más pequeños y apenas tienen satélites: Mercurio, Venus, La Tierra y Marte. Mientras que los exteriores son gaseosos y son gigantes y tienen muchos satélites: Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno.

	Mercurio	Venus	Tierra	Marte	Júpiter	Saturno	Urano	Neptuno
Número de Satélites	0	0	1	2	69	62	27	14
Satélites más importantes			Luna	Fobos y Deimos	Io, Europa, Gamínedes y Calisto	Titán		Tritón



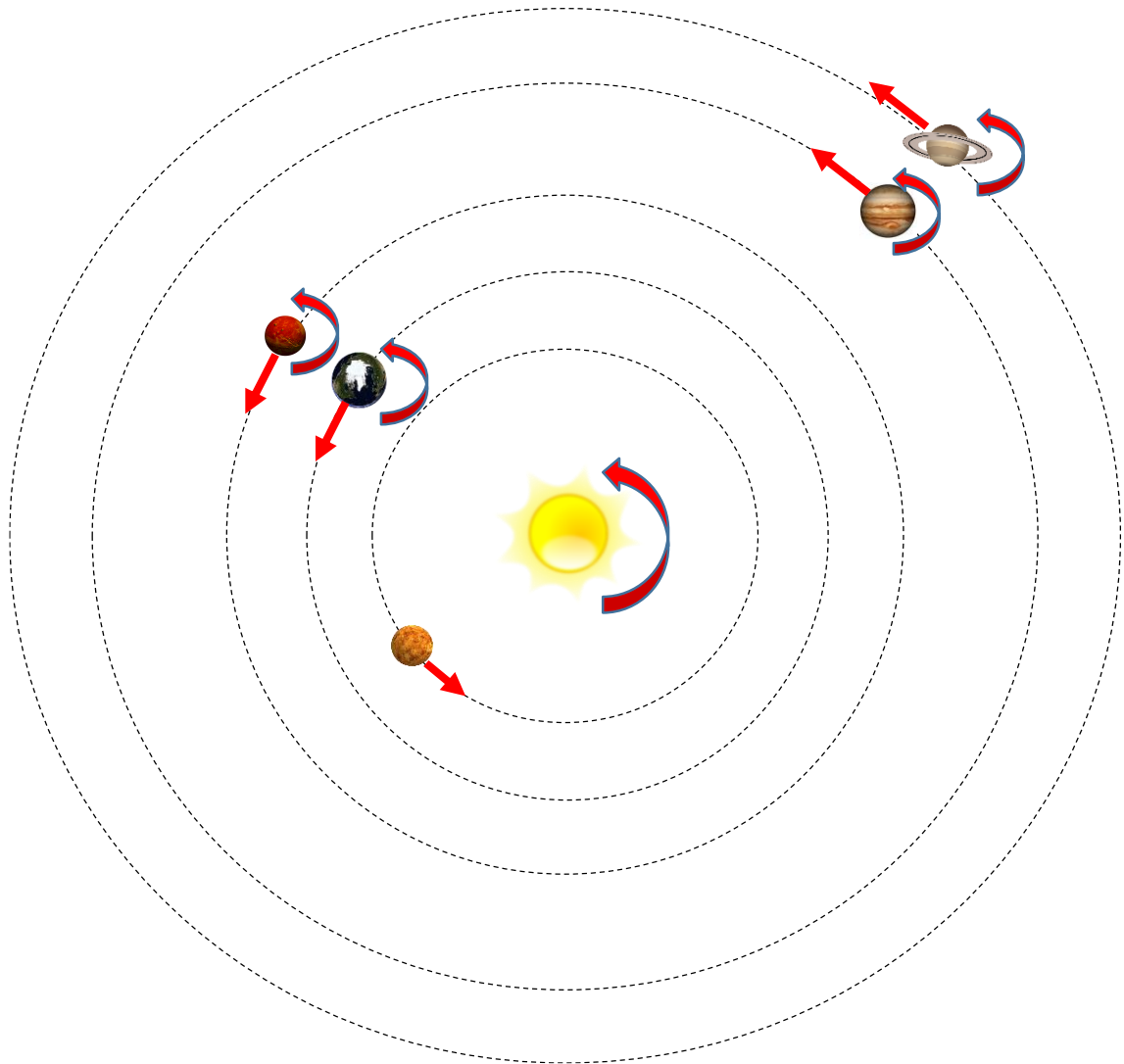
Neptuno y Tritón vistos desde la Voyager 2 en 1989

Es curioso que todos los planetas giran en el mismo sentido alrededor del sol. También la luna gira en el mismo sentido alrededor de la tierra. Y todos los satélites de los planetas giran en el mismo sentido alrededor de cada planeta. Y todos los planetas y los satélites giran alrededor de sí mismos en el mismo sentido. E incluso el sol también gira sobre sí mismo en el mismo sentido. Esto es realmente notable pero no es una casualidad.

Todo el sistema solar se formó a partir de polvo estelar que giraba todo él en el mismo sentido. Al condensarse y compactarse se formó el sol, los planetas, los satélites, etc... y por este motivo todo quedó girando en el mismo sentido.

En este curso siempre representaremos a todos los planetas girando alrededor del sol en el sentido contrario a las agujas del reloj, tanto alrededor de sí mismas como alrededor de su estrella o planeta. Lo mismo haremos con los satélites de los planetas.

Lo representaremos por tanto todo como si lo viéramos desde algún lugar situado aproximadamente entre la estrella polar y vega (lo veremos siempre desde el Norte del sistema solar).



Solo Venus gira alrededor de sí mismo en sentido contrario. Ya veremos por qué.

1.2 Cómo aprender a distinguir los planetas

Cualquier aficionado a la astronomía que se precie no puede, ni debe, confundir nunca un planeta de una estrella. De hecho, con el tiempo, según nos vayamos acostumbrando a mirar al cielo, sabremos casi siempre por dónde anda cada uno de los cuatro planetas que nos interesa distinguir en el cielo, Júpiter, Saturno, Venus y Marte.

Lo primero que debemos recordar es que los planetas no tienen luz propia, sino luz reflejada del sol. Esto les diferencia a simple vista porque las estrellas “titilan” (emiten luz vibrante y con destellos) mientras que los planetas emiten una luz nítida y sin destellos.

Sin embargo, a los ojos inexpertos los planetas parecen estrellas porque emiten mucha luz desde un único punto del cielo, lo cual deslumbra a nuestro ojo y nos hace percibirlo como un punto brillante y resplandeciente, como si fuera una estrella.

Por supuesto todo cambia en cuanto lo miramos con el telescopio. Enseguida vemos como el planeta aumenta de tamaño y tiene una forma circular definida y una luz nítida y clara. Mientras que la estrella en el telescopio, por encontrarse lejísimos, sigue viéndose exactamente igual que a simple vista, como un punto de luz minúsculo y brillante (lo cual realmente decepciona).

El siguiente concepto para distinguirlos es que, dado que sabemos que todos los planetas giran alrededor del sol aproximadamente en el mismo plano (el plano de la eclíptica), siempre veremos a los planetas en algún punto de esa línea del cielo que llamamos eclíptica (en Libra, en Acuario, en Géminis, en Leo,...). Evidentemente a un planeta nunca lo veremos cerca de la estrella polar.

El otro concepto a tener claro es que algunos planetas los veremos siempre muy cerca del sol, y otros pueden estar en cualquier punto de la eclíptica, cerca o lejos del sol. Mercurio y Venus siempre los veremos cerca del sol (justo después de atardecer o bien justo antes de amanecer). Esto lo explicaremos mejor en breve.

Mientras que Marte, Júpiter y Saturno, por estar más lejos del sol que la Tierra, los podemos ver en la dirección del sol, en la dirección opuesta, o en cualquier otro sitio de la eclíptica (depende de en qué parte de su órbita se encuentren en ese momento). Explicaremos enseguida por qué.

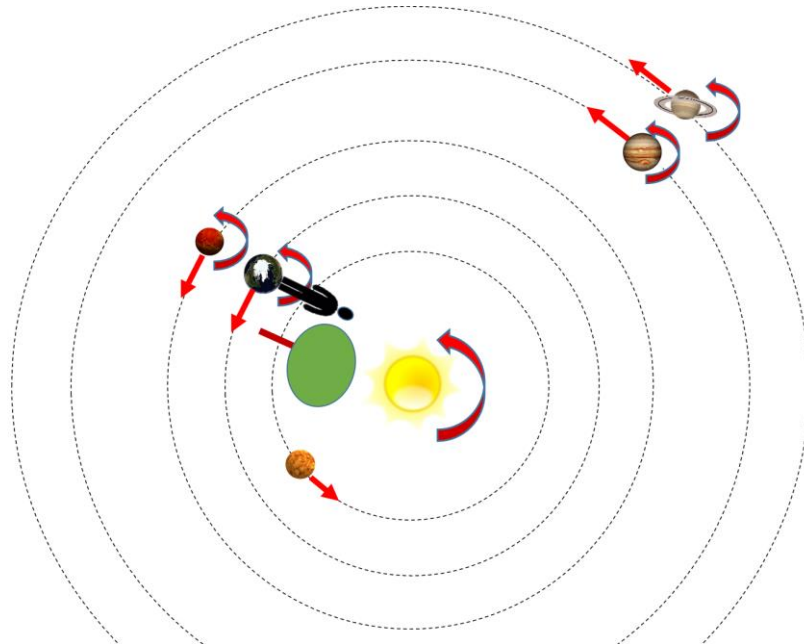
Para distinguir cada uno de ellos, cuando vayamos teniendo un ojo más experto, sabremos diferenciarlos del siguiente modo:

- Venus es la estrella vespertina (la que a veces se ve muy brillante cuando se pone el sol) o el lucero del alba (la que se ve cuando va a amanecer) en función de en qué punto de su órbita se encuentre respecto a la tierra. Su color es blanco brillante (por tener una atmósfera espesa que refleja una buena parte de la luz que recibe). Aun así, su brillo varía ostensiblemente en función de su posición respecto a la Tierra, y sobre todo en función de su fase (lo veremos más adelante).
- Marte tiene un color claramente rojizo, que es el color que le dan sus rocas, que contienen hierro oxidado. Pero debemos tener cuidado porque hay estrellas gigantes rojas o gigantes naranjas que también tienen un color similar (Aldebarán, Betelgeuse y Antares por ejemplo). En concreto es Antares la que fácilmente puede dar lugar a confusión por encontrarse en la eclíptica (en Escorpio). Aldebarán también se encuentra en la eclíptica (en Tauro) pero esta es más fácil de distinguir por su posición cercana a la fantástica constelación de Orión. El brillo de Marte varía muchísimo en función de su posición. Cuando más brilla es, obviamente, cuando está más cerca de la Tierra y se encuentra en oposición al sol, como veremos.
- Júpiter es el gran lucero luminoso que brilla en el cielo nocturno. Sirius también brilla muchísimo en el cielo invernal pero no se encuentra en la eclíptica y por eso ambas son fáciles de diferenciar. El brillo de Júpiter también varía en función de su posición pero mucho menos que los otros dos planetas vistos. Una vez que lo localicemos nos será fácil de identificar en el futuro porque estará más o menos en la misma posición por mucho tiempo (se mueve muy despacio por la eclíptica porque tarda casi 12 años en dar una vuelta al sol). Es un planeta totalmente gaseoso (todo él es gas) y, al mirarlo al telescopio, lo primero que nos llamará la atención son sus cuatro lunas principales y las dos bandas de nubes rojizas que le atraviesan.
- Saturno es un punto brillante amarillento, pero está lejos de brillar tanto como Júpiter. En el telescopio nos enamorarán para siempre sus anillos. Una vez que lo distingas del cielo, lo harás siempre porque se mueve muy despacio por la eclíptica (tarda 30 años en dar la vuelta completa) y, además, estoy seguro de que le seguirás la pista.

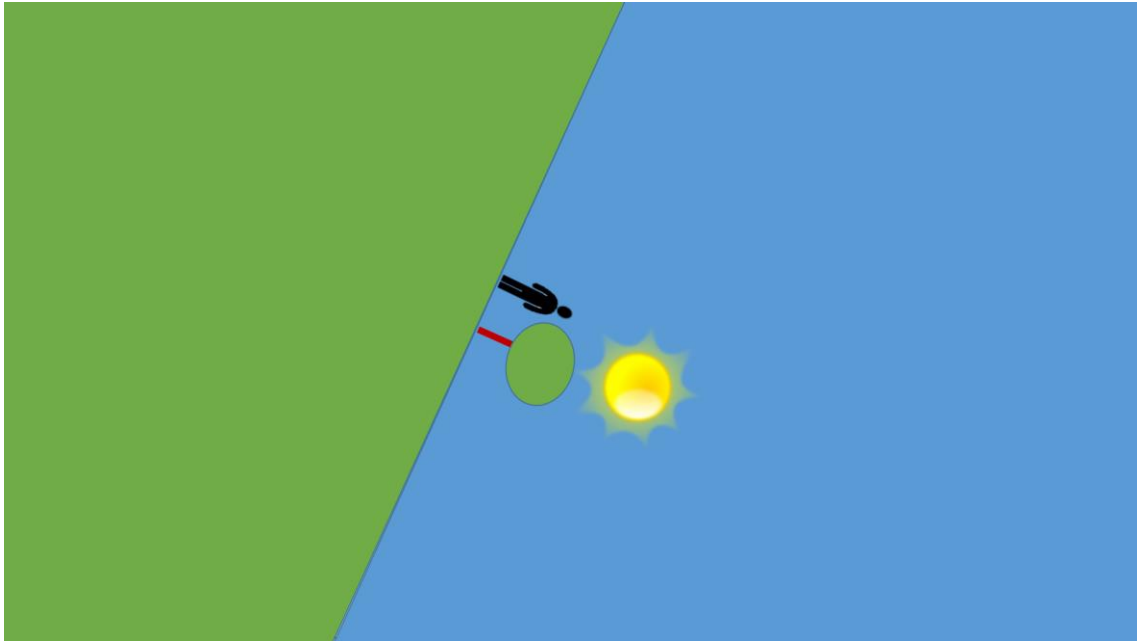
Por supuesto, el truco definitivo es saber dónde debemos encontrarlos exactamente (en qué constelación). Analicemos a continuación cómo podemos saber dónde localizar a cada planeta, y cómo cambia nuestro punto de vista con el paso de las horas.

1.3 En qué parte del cielo estrellado localizamos a cada planeta y cuándo

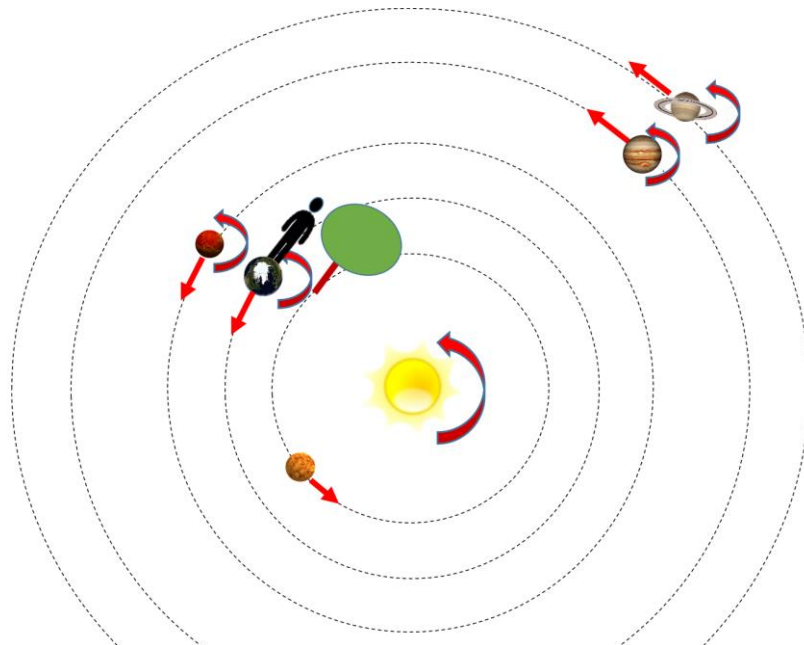
Cuando estamos en la parte de la tierra que mira hacia el sol, no veremos ningún otro planeta ni estrella, solo el astro rey. Será de día



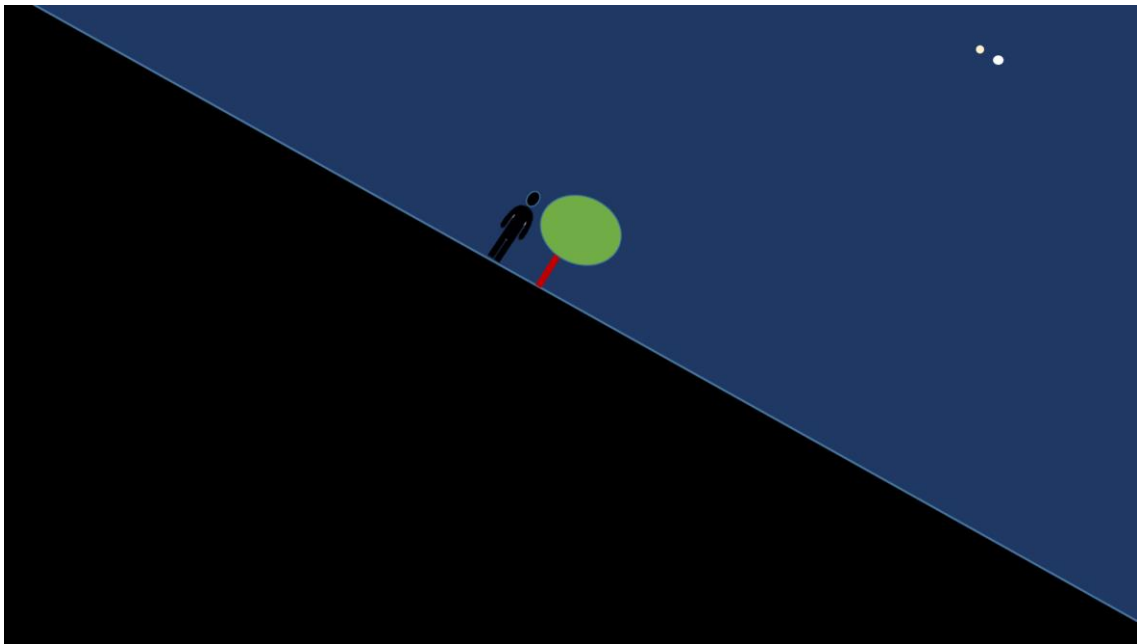
Por tanto esto es lo que veremos:



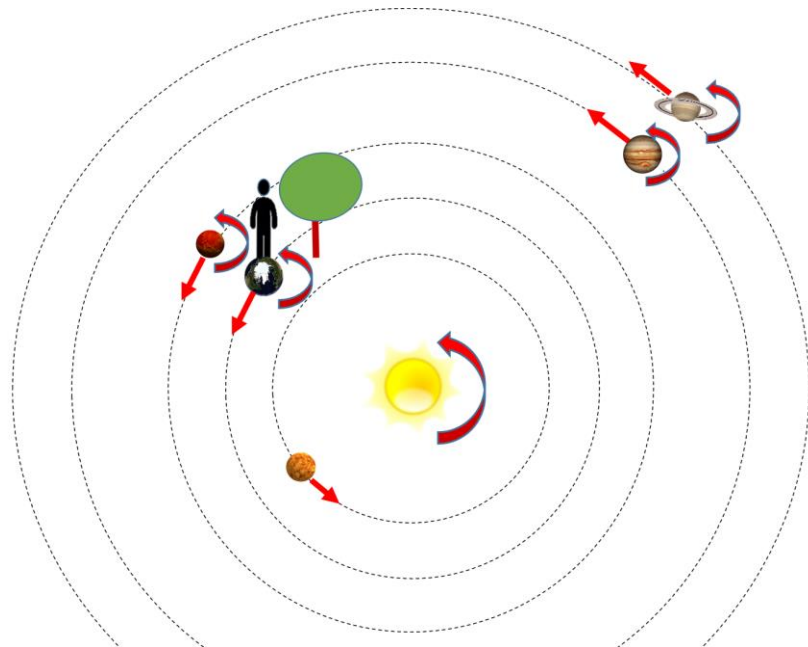
Pasadas seis horas, la tierra habrá girado 90 grados



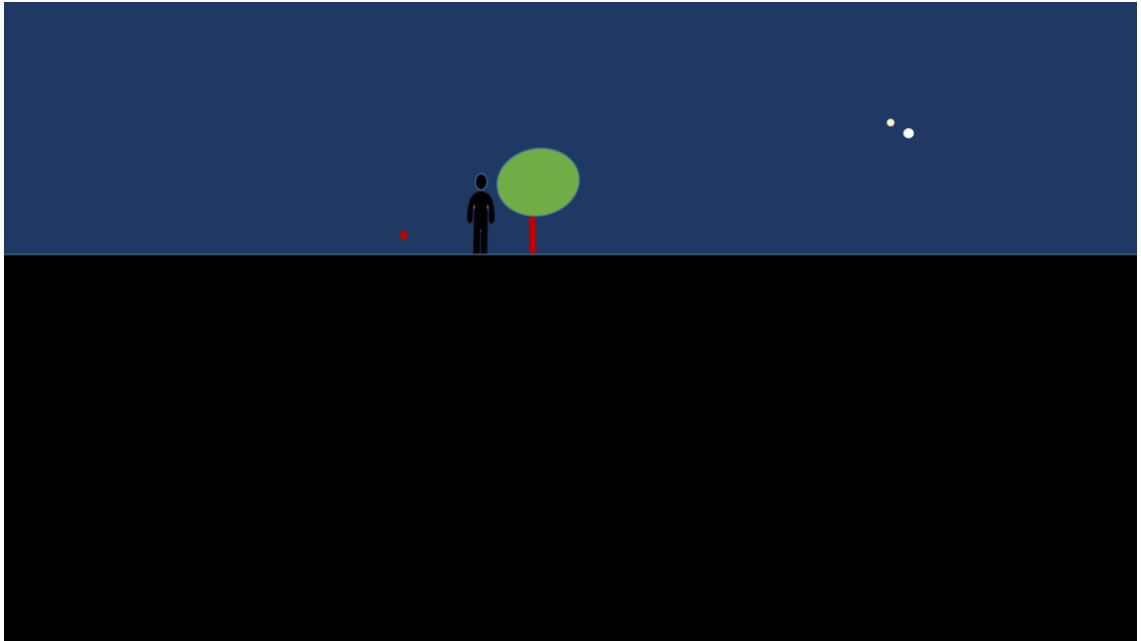
Y podemos deducir fácilmente que el sol ya se habrá puesto y comienza la noche. Ahora sí podemos ver a Saturno y Júpiter brillando orgullosos en el cielo.



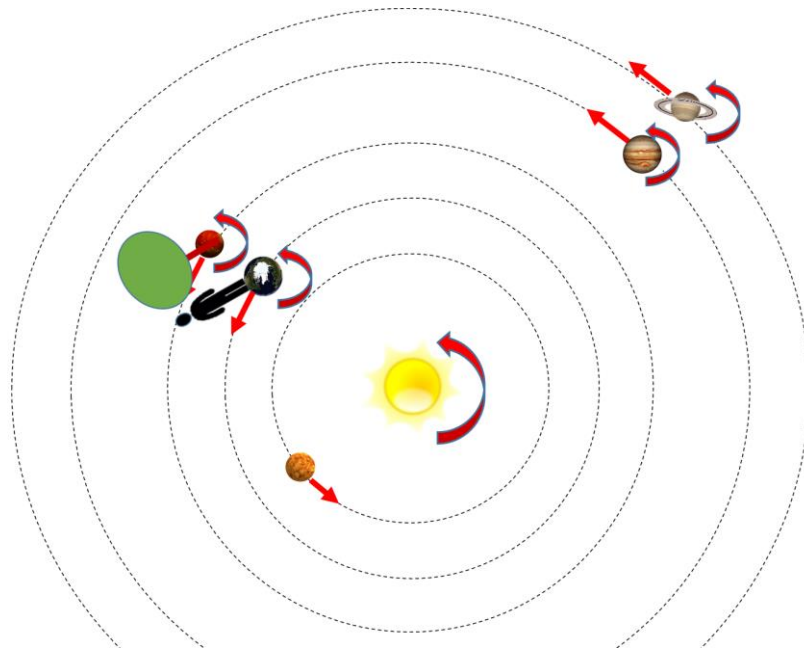
Tres horas después la tierra habrá girado 45°



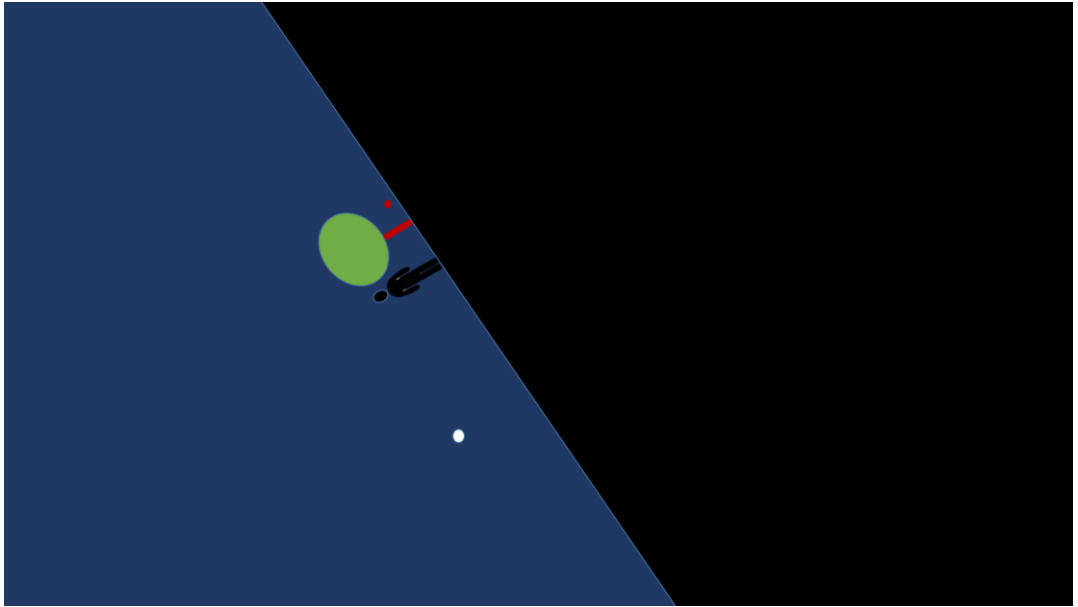
Y ya asomará Marte por el Este, mientras que Júpiter y Saturno van cayendo hacia el horizonte del Oeste.



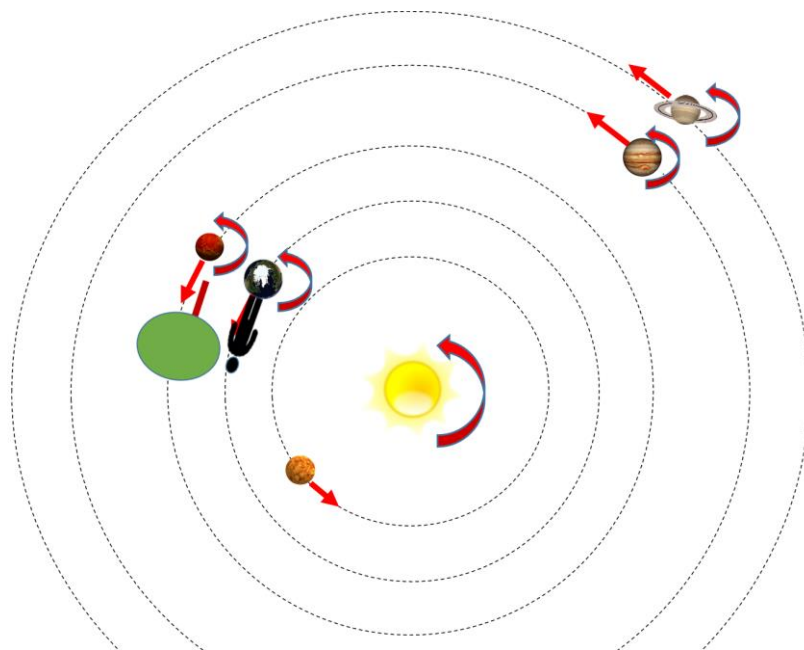
Pasadas nueve horas la tierra ha girado otros 135°



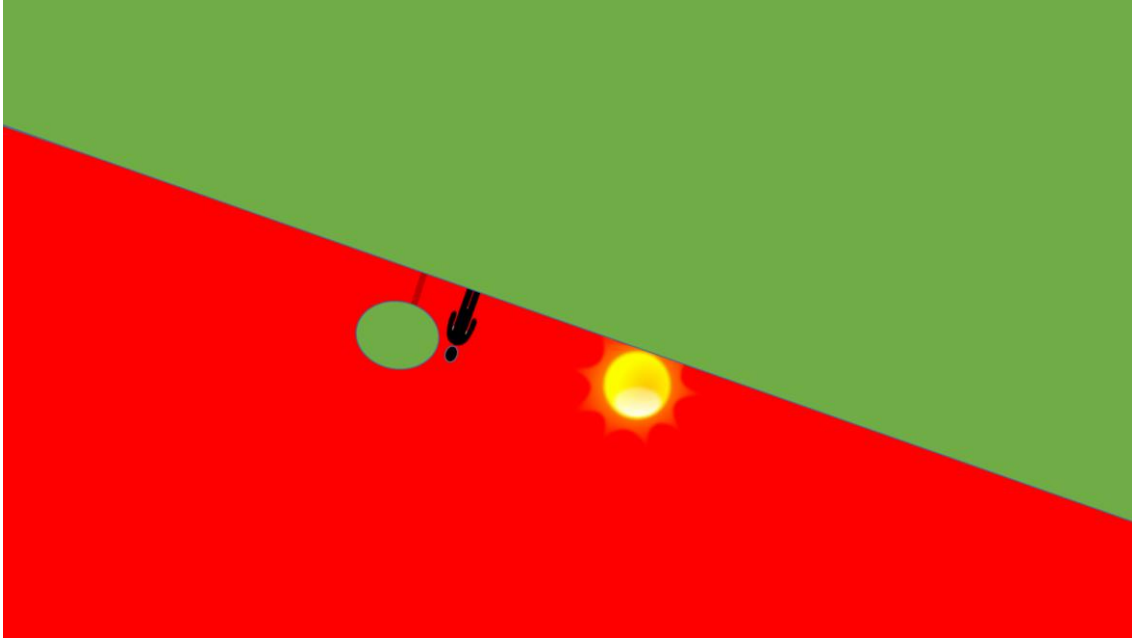
En esta nueva posición ya no vemos ni a Júpiter ni a Saturno, y el funesto Dios de la guerra va alcanzando su ocaso. Mientras que por el este podemos ver los rayos de la esperanza del lucero del Alba, Venus, que nos indica que pronto saldrá el sol.



Finalmente, pasada una hora larga,



Ya sale el sol por el horizonte inundándolo todo con su luz rojiza del amanecer



Pero obviamente, no todos los días sucede así, de hecho cada día es distinto. Porque cada planeta gira alrededor del sol a una velocidad angular distinta, y por tanto sus posiciones relativas cambian constantemente.

1.4 Los movimientos de los planetas. Relojes de precisión en el cielo

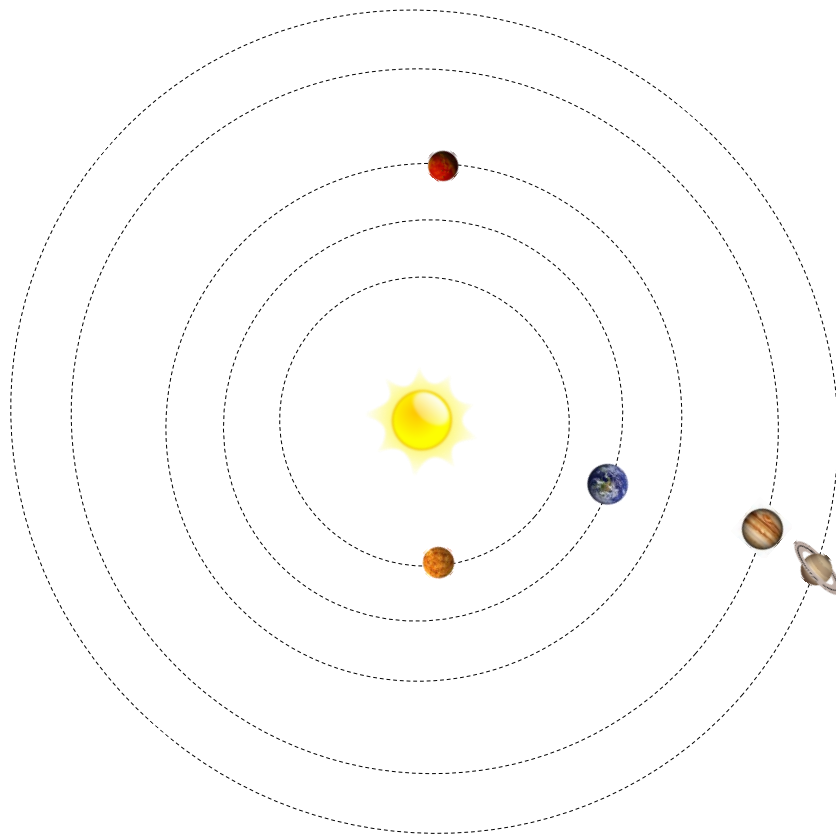
El “año” de cada planeta es totalmente distinto. En Mercurio dura 88 días, mientras que en Saturno dura más de 10.000 días. Desde muy antiguo se conocen estos valores porque bastaba con seguir la pista a los planetas y ver cuándo habían completado su ciclo, como enseguida sabrás hacer tú. Sus periodos son estos:

	Mercurio	Venus	Marte	Júpiter	Saturno
Duración del año (en días terrestres)	88	224	687	4330	10752

EJERCICIO:

Era el 30 de Noviembre del año 2000, San Andrés. Habías salido con tu padre a ver el cielo de media noche. Recuerdas que te dijo que era una noche realmente mágica por cómo brillaba Venus cuando se puso el sol. Saturno y Júpiter se veían realmente cerca el uno del otro y muy brillantes, especialmente Júpiter. Marte sin embargo no apareció en el cielo hasta unas horas antes del amanecer. Recuerdas que le preguntaste a tu padre ¿Júpiter y Saturno siempre están cerca? Él te explicó que en realidad giraban alrededor del sol a velocidades diferentes y muy pocas veces se encuentran en el cielo. En realidad solo se encuentran cada 19 años y 309 días. Ahora es 5 de Octubre de 2020 y al mirar al cielo no puedes evitar acordarte de tu padre.

Entrando en la App Star Walk podemos ver cuál era exactamente la posición de cada planeta el día 30 de Noviembre del año 2000.



Posición de los principales planetas el 30 de Noviembre de 2000.

Si nos fijamos en la posición de la Tierra, podemos llegar a comprender que ese día Júpiter y Saturno se verán realmente brillantes en lo alto del cielo (están muy cerca de la tierra y totalmente iluminados por estar en oposición al sol) y además se ven muy cerca entre ellos. Venus se ve muy brillante porque está bastante cerca y una buena parte del planeta está iluminado. Se verá al atardecer, después de ponerse el sol. Marte asciende por el horizonte unas horas antes de amanecer.

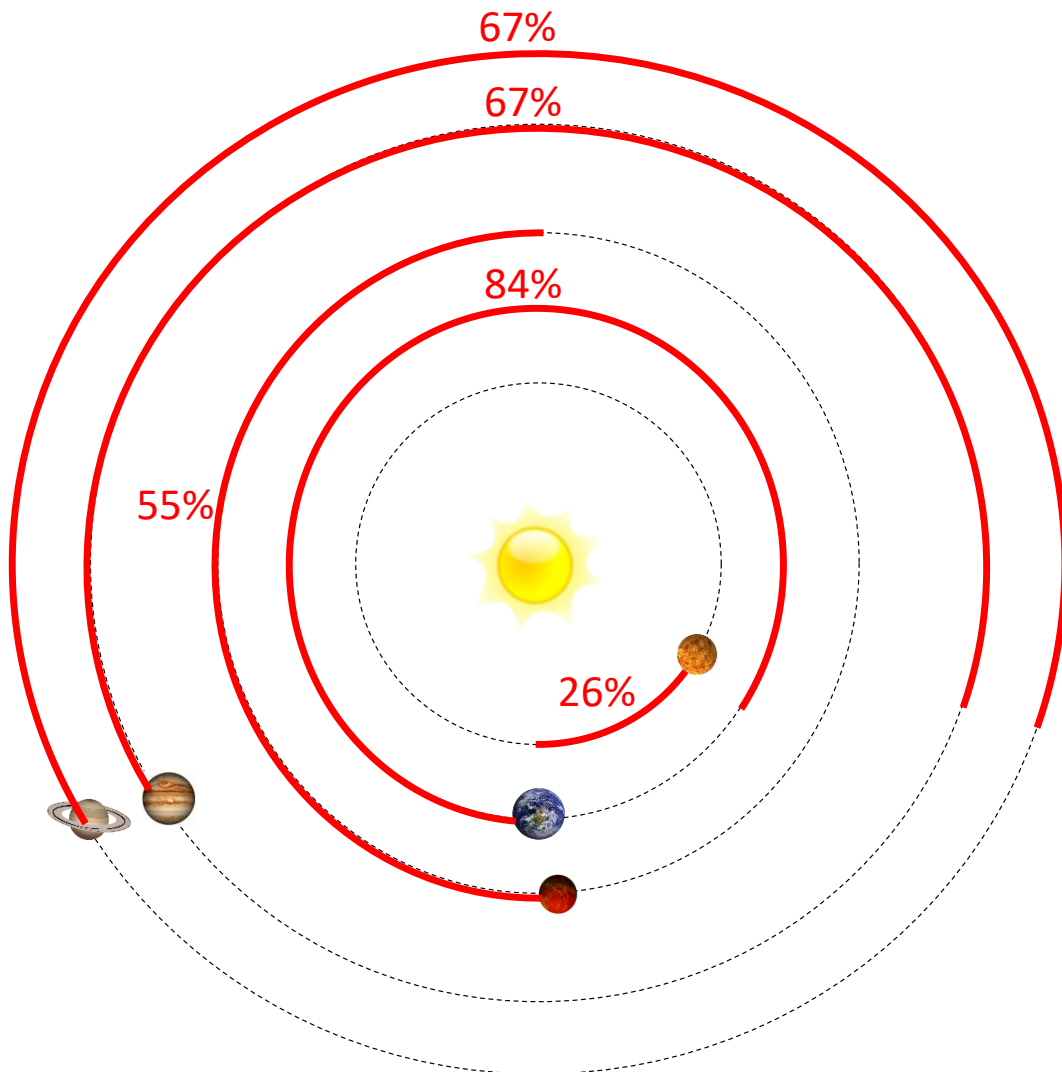
Para conocer la posición de cada uno de los planetas pasados 19 años y 309 días (7.249 días) veamos la velocidad de cada uno de los planetas (vueltas por día) y podremos calcular el número de vueltas que ha dado cada planeta en ese tiempo.

	Periodo orbital (días)	Vueltas/día	Nº de vueltas después de 7.249 días
Venus	224,701	0,004450358	32,2606486
La Tierra	365,256	0,002737806	19,84635434
Marte	686,971	0,001455666	10,55211938
Júpiter	4332,861833	0,000230794	1,673028192
Saturno	10759,70317	0,000092939	0,67371747

En seguida nos llama la atención que Júpiter ha dado 1,67 vueltas y Saturno ha dado 0,67 vueltas. Es decir, Júpiter ha dado exactamente una vuelta más y le acaba de doblar en su loca carrera en dar vueltas alrededor del sol. Saturno no ha llegado a completar su primera vuelta. En el mismo tiempo la tierra ha dado ya casi 20 vueltas (casi 20 años han pasado).

Veamos cómo queda entonces el cielo. Venus ha dado 32 vueltas y ha avanzado un 26% de vuelta respecto a su posición anterior. La Tierra ha dado 19 vueltas y ha avanzado un 84% de vuelta. Marte ha dado 10 vueltas y ha dado un 55% de vuelta adicional. Y por último Júpiter ha dado una vuelta y ha avanzado un 67% desde su posición anterior, lo mismo que Saturno (pero este sin haber dado aún ninguna vuelta).

Teniendo en cuenta todo esto, y partiendo del gráfico anterior podemos dibujar la posición de cada planeta. El dato del número de vueltas completas que ha dado podemos olvidarlo para este ejercicio, lo más importante es fijarnos en el % de vuelta que ha dado de más.



Posición de los planetas en el cielo el día 5 de Octubre de 2020.

Vemos que, en efecto, Júpiter y Saturno vuelven a estar juntos (casi 20 años después). Marte se encuentra justo muy cercano a la tierra y en oposición al sol, y por tanto se encuentra en el momento de más brillo y se verá en lo alto del cielo a media noche. Venus también brillará mucho y se verá de nuevo en su rol de “estrella vespertina”, al atardecer.

Si nos fijamos en la App Solar Walk podemos comprobar que efectivamente esta es la posición de los planetas el 5 de Octubre de 2020.

Por tanto vemos que tenemos en el cielo relojes de la máxima precisión, que nos pueden informar de los días que pasan (ciclos de Marte y Venus) y los años que pasan (ciclos de Júpiter y Saturno).

Calcular el número de días que deben pasar para ver a Júpiter y Saturno a la misma distancia entre sí es muy sencillo. Basta con saber el tiempo que debe pasar para que Júpiter de una vuelta más que Saturno. Para ello solo tenemos que pensar que el número de vueltas que da cada planeta se calcula multiplicando su velocidad angular (medido en vueltas/día) por el tiempo en días.

Cuando Saturno y Júpiter se vuelvan a encontrar se habrá cumplido esta fórmula:

$$\text{Número de vueltas de Júpiter} = \text{Número de vueltas de Saturno} + 1$$

$$W_{\text{Júpiter}} \times T = W_{\text{Saturno}} \times T + 1$$

$$0,000231T = 0,000093T + 1$$

$$T = 7.249 \text{ días} = 19 \text{ años y } 314 \text{ días}$$

De una manera idéntica podemos calcular, por ejemplo, cada cuánto tiempo coincidirá Júpiter en su punto más cercano a la Tierra, o cada cuánto tiempo estarán Marte y Júpiter en su máxima cercanía, etc...

Por tanto, con este ejercicio no solo hemos aprendido a localizar los planetas, sino que sabemos medir el tiempo que va pasando (en días y en años) y también sabemos predecir la posición exacta de los planetas en el futuro.

Es habitual que en una vida humana veas la conjunción de Júpiter y Saturno **5 veces**. Ocurrió en mi **infancia** en 1981, cuando tenía 7 años. Volvió a acontecer en 2000 en mi **juventud**, cuando tenía 26 años, de hecho este fenómeno hizo que me aficionara a la astronomía. Vuelve a ocurrir ahora en 2020 en mi **madurez** (cuando tengo 45 años y estoy escribiendo este curso). De nuevo ocurrirá en 2040, que tendría 65 años y ya podría ser **abuelo**. Y quizás, si tengo suerte, lo veré una última vez en 2060, cuando tenga 85 años en mi **ancianidad**.

Os invito a que, cada vez que se produzca la conjunción de Júpiter y Saturno, nos replanteemos el tiempo que llevamos vivido, sin duda se trata de un hito magnífico que nos marca Saturno (Cronos), el dios del tiempo.

¿Pudo ser la conjunción de Saturno y Júpiter la estrella de Belén?

Si consideramos ciclos de 19,86 años, y nos vamos hacia atrás en el tiempo, llegamos al año 7 a.C. Se da la circunstancia además de que en ese año Júpiter y Saturno se vieron excepcionalmente cerca.

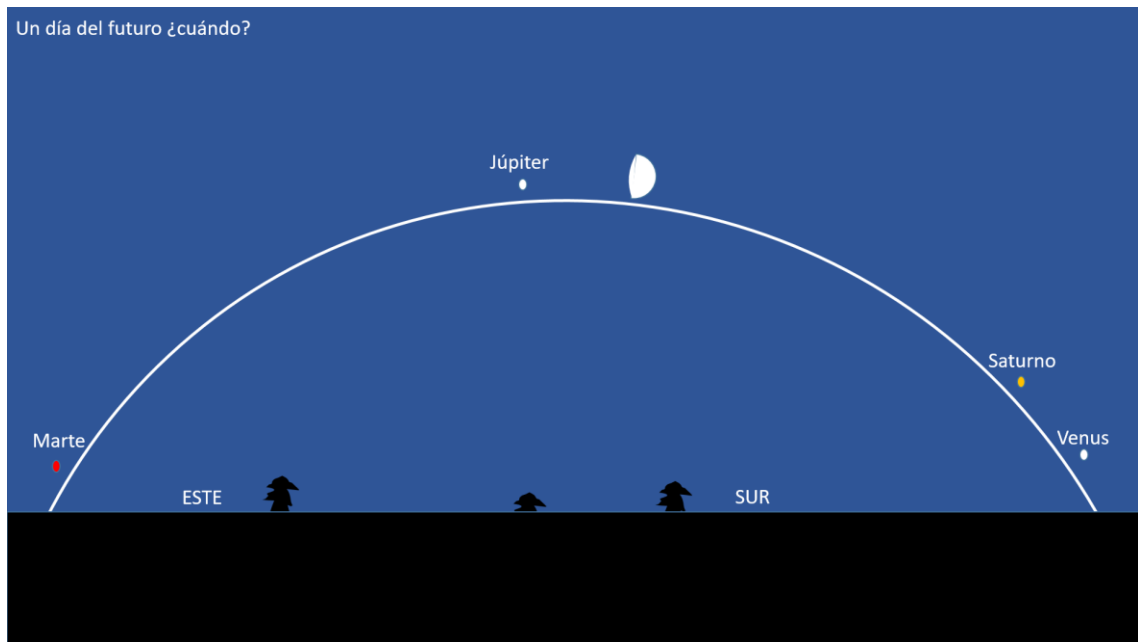
Curiosamente en la noche de navidad de 2020 se da la máxima conjunción de Júpiter y Saturno, se ve justo al anochecer y luego se oculta por el Oeste. Es decir, a unos magos que vinieran de la región de Persia, les marca justo la dirección de Belén.



Sin embargo la mayoría de los expertos dudan de que esa fuera la estrella de Belén. Muchos expertos coinciden en que la supernova avistada por los chinos y coreanos en el 5 a.C. pudo haber sido la estrella de Navidad.

CASO PRÁCTICO ¿En qué año estamos? ¿Qué día es hoy?

El 5 de octubre de 2020 inicias tu viaje hacia el futuro y entras en la máquina del tiempo. Tu intención era viajar un año en el tiempo, pero ha habido un cortocircuito y el viaje ha salido mal. Al salir de la máquina no sabes en realidad en qué año, ni en qué día te encuentras, solo sabes que estás en algún momento del futuro. Sabes que la máquina no tiene potencia para viajar más allá de diez años. Estás en un desierto y necesitas saber qué día y qué año es para que vengan a rescatarte. Miras al cielo y ves esto:



Calculas que, aproximadamente, Júpiter y Saturno se han separado en el cielo 90 grados. Recuerdas que en noviembre de 2020 estaban juntos. Por tanto han pasado, o bien unos 5 años (20/4), o bien unos 25 (20+20/4). Pero sabes que la máquina no tiene potencia para viajar más de diez años, así que han pasado aproximadamente unos cinco años.

Pero además, recuerdas que en noviembre de 2020 Marte estaba en oposición al sol, y que se veía bien rojo y grande en lo alto del cielo a media noche.

Calculas el ciclo de Marte para ver cada cuánto está en oposición con la Tierra. Sabes que La Tierra tarda 365,25 días en dar una vuelta y que Marte tarda 687 días.

$$W_{\text{LaTierra}} = 1 / 365,25 = 0,002738 \text{ vueltas/día}$$

$$W_{\text{Marte}} = 1 / 687 = 0,001456 \text{ vueltas/día}$$

$$\text{Número de vueltas de La Tierra} = \text{Número de vueltas de Marte} + 1$$

$$W_{\text{LaTierra}} \times T = W_{\text{Marte}} \times T + 1$$

$$0,002738T = 0,001456T + 1$$

$$T = 779 \text{ días} = 2 \text{ años y } 49 \text{ días}$$

Por tanto el ciclo de las oposiciones de Marte es de 2 años y 49 días. Calculas que, en efecto, Marte se encuentra ahora mismo, más o menos, en oposición, porque aún ves la aurora de la puesta de sol por el Oeste, y ya está saliendo Marte por el Este. Si está en oposición, es que han pasado, o bien dos años y 49 días, o bien 4 años y 98 días. Por el cálculo que has hecho con Saturno te quedas con la segunda opción.

Debes estar entonces, más o menos en el 11 de enero de 2025.

Pero, de repente recuerdas que el ciclo de las fases de la luna es de 29,53 días. Y recuerdas que tres días antes de partir, el 2 de octubre de 2020, había sido luna llena. Así que, considerando que estás aproximadamente en el 11 de enero de 2025, calculas cuántas lunas llenas han pasado, y ves que han pasado casi 53 porque el 14 de enero de 2025 será luna llena.

$$2/10/2020 + 53 \times 29,53 = 14/01/2025$$

Por tanto siete días antes, el 7 de enero de 2025, es cuarto creciente. Te fijas en la luna y ves que ha pasado, al menos un día desde cuarto menguante. **Hoy debe ser 8 de enero de 2025**, y dado que estamos en invierno y el sol se ha puesto ya hace unas dos horas, **son aproximadamente las nueve de la noche.**

¿Te imaginabas antes de empezar este curso aprender a saber el día y la hora en que se tomó esa foto del cielo? ¡Yo mismo me quedo sorprendido de lo que estamos logrando!

Con este ejercicio he intentado dar a entender que cada astro es como una aguja de un reloj. Unos nos marcan los años, otros nos marcan los meses, otros nos marcan los días, y el sol nos marca las horas.