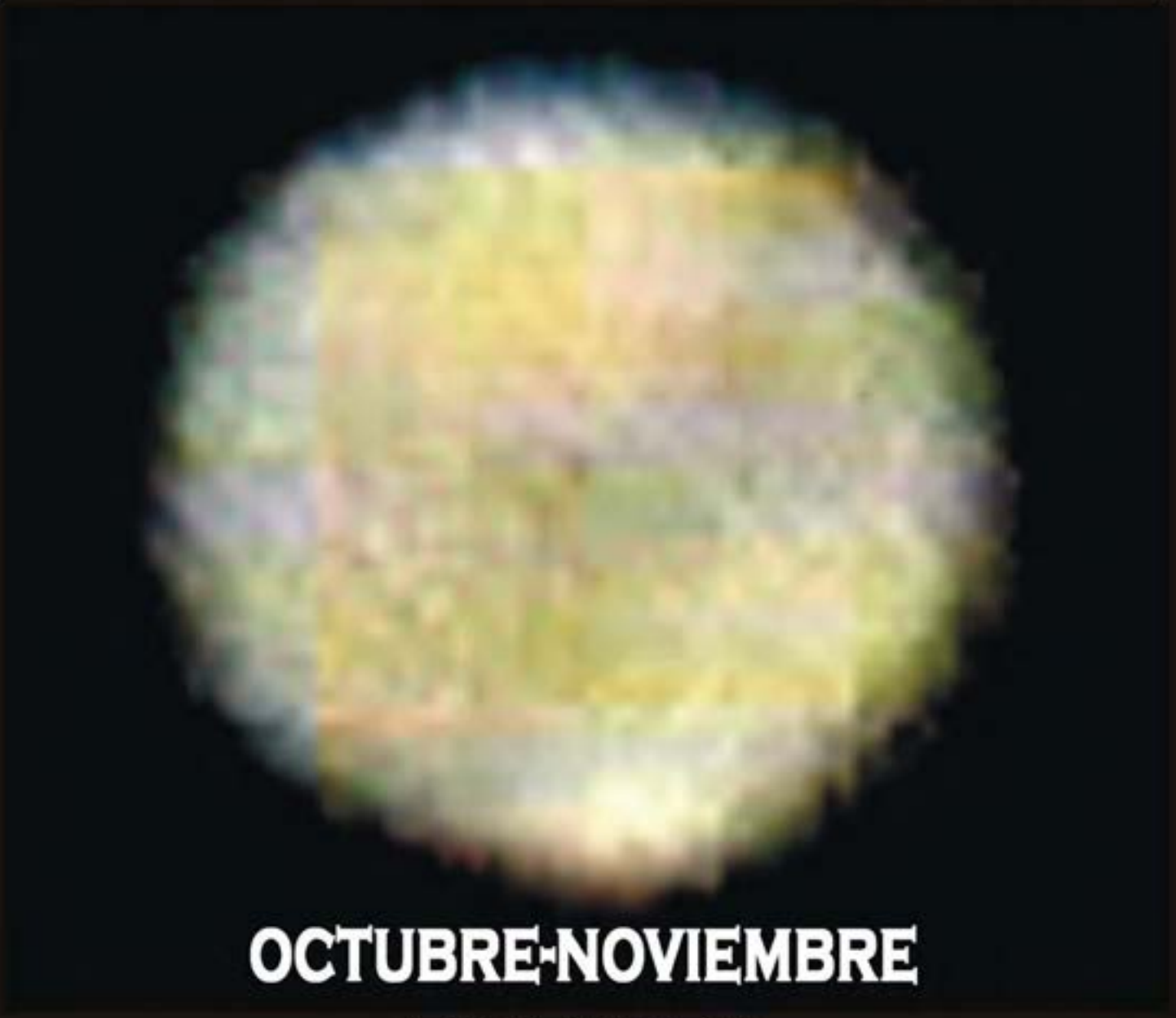
LEO

Nº 68



OCTUBRE-NOVIEMBRE
DICIEMBRE
2003

ASOCIACIÓN LEONESA DE ASTRONOMÍA
APTDO. DE CORREOS 1236 - 24080 - LEÓN

Asociación Leonesa de Astronomía

Presidente:
Jesús San José
Vicepresidentes:
Ricardo Chao Prieto
José Manuel García Díez
Secretario:
Saúl Blanco
Tesorero:
José María Pérez
Vocales:
Héctor de Dios
José Felipe Fraile
Víctor González

Director de la revista:
José María Pérez
Edición y redacción:
Ricardo Chao

Archivo y documentación:
José María Pérez
Jesús San José
Ricardo Chao
Diseño:
Iván Campo y Ricardo Chao
Fotografías:
Mª Teresa García Montes

Edita:
Asociación Leonesa de Astronomía
Apº. de Correos 1236
24080 León
Teléfono: 987 26 05 10
e.mail: astroleon@terra.es
Web:http://hosting.bornet.es/ala

Imprime:
CELARAYN, S.L.

Revista de la Asociación Leonesa de Astronomía
Asociación inscrita en el Registro Provincial de Asociaciones el día 7 de abril de 1986, con el nº 739
Revista con depósito legal
LE – 858 - 1990
Las inscripciones en la Asociación se pueden realizar personándose en el local social o por carta

LEO

Cuarto trimestre 2003
Octubre –Noviembre–Diciembre Nº 68

(**Portada:** Marte casi en oposición la noche del 25 de agosto. Imagen extraída del vídeo grabado en el Observatorio, por lo que ha perdido bastante calidad)

Sumario

Editorial ….. 2

Avisos y noticias ….. 3

Efemérides..... 5

Mapas del cielo….. 14

Posición de los planetas visibles..... 17

Artículos:

El problema de Roemer: ¿Cómo se calculó la velocidad de la luz en el año 1676? (Rogelio Meléndez Tercero)..... 20

Distancias a las estrellas (José María Pérez)..... 25

Sobre la representación de la superficie de la Tierra (Saúl Blanco Lanza)..... 30

Imagen de la Luna obtenida por Ricardo Chao a foco primario con el telescopio del Observatorio Municipal Pedro Duque.

EDITORIAL

Una vez pasados los sofocantes calores de este verano, comienza el otoño, las noches se alargan, y el frío leonés ya comienza a asomar las orejas. Sin embargo, un año más, el Observatorio Municipal Pedro Duque continúa sin calefacción, por lo que ya se puede anticipar que será el cuarto invierno en que permanecerá deshabitado y prácticamente sin uso. Y ello a pesar de que en nuestra visita oficial al nuevo Ayuntamiento hemos notado un cambio de actitud que nos hizo concebir esperanzas. Pero, al parecer, abundan las dificultades económicas y técnicas para poder suministrar el gas a la caldera, ya que los depósitos de combustible del Coto se encuentran bastante lejos de las instalaciones del Observatorio, y de momento no se contempla la posibilidad de poner uno en las cercanías.

Por otro lado, el Concejal de Patrimonio (el leonesista Alejandro Valderas) ha entrado en contacto con la Red Internacional de Observadores de Estrellas Dobles (una asociación astronómica internacional coordinada por el asturiano Pedro Argüelles) con la intención de dar los primeros pasos para la creación de un observatorio automatizado en las montañas de nuestra Provincia que transmita las imágenes del telescopio directamente a los colegios de León. Para ello se convocó una reunión el día 6 de septiembre en Sena de Luna a la que acudieron Jesús San José y Saúl Blanco como representantes de nuestra Asociación. Las conversaciones preliminares han sido prometedoras, y el concejal parece ilusionado con el proyecto, ya que tendría una clara orientación didáctica. En todo caso, su elevado coste haría necesaria la implicación de la Junta y, tal vez, de la Diputación, por lo que parece que aún queda mucho camino por andar. Sin embargo, la Junta ha dado muestras de interés, y podría ceder el uso de algún edificio de su propiedad en la zona de Luna o Babia. De momento, los lugares con más posibilidades son la propia Sena de Luna y Riolago de Babia. Os contaremos más detalles según éstos se vayan concretando.

En otro orden de cosas, se ha confirmado que Pedro Duque por fin verá realizado su sueño de visitar la Estación Espacial Internacional el próximo 18 de octubre. En la entrevista publicada por el periódico El Mundo el día 18 de septiembre, el astronauta español ha afirmado que ha sido mucho más duro entrenar en Rusia que en EEUU, y que no tiene mucho miedo por la seguridad, ya que los rusos tienen en este aspecto un historial mucho más brillante que los estadounidenses. Así, recuerda que las lanzaderas Shuttle han despegado unas doscientas veces, mientras que el cohete Soyuz lo ha hecho alrededor de unas tres mil. Cuando regrese, intentaremos ponernos en contacto con él para que nos cuente sus experiencias en una entrevista que, por supuesto, publicaríamos en LEO.

AVISOS Y NOTICIAS

ACTIVIDADES PREVISTAS PARA EL TRIMESTRE

-Observación del eclipse total de Luna (9 de noviembre):En principio, se realizará una jornada de puertas abiertas para este evento, ya que la hora no parece demasiado intempestiva (doce y media de la noche, hora oficial) Si los medios de comunicación reflejan la noticia, es de esperar una gran afluencia de público, ya que nuestro satélite ofrece siempre unas hermosas y espectaculares imágenes desde nuestro telescopio. Tan solo hemos de esperar que ese día no está nublado, lo que seguramente es mucho pedir...

-Ciclo de conferencias y curso de astronomía. Desgraciadamente, todavía no podemos adelantaros las fechas, ya que la agenda de la obra cultural de Caja España sigue llena, y como muy pronto las conferencias se podrían impartir en noviembre. De todas formas, ya hace un año que comenzamos a planificarlas, y es más que posible que los conferenciantes estén empezando a hartarse de este lío de fechas. Si finalmente conseguimos que las charlas se impartan en el presente trimestre, os lo haremos saber mediante circular o correo electrónico. Como ya hemos dicho en anteriores números de LEO, el Curso de Astronomía coincidirá con las fechas de las conferencias, ya que éstas figurarán como parte práctica del mismo.

-Observaciones otoñales. Estamos abiertos a todo tipo de sugerencias al respecto. Recordad que nos seguimos reuniendo en el local del CHF los martes de ocho a diez de la tarde, y que en estas reuniones podéis exponer vuestras propuestas: el Observatorio Municipal os espera, aunque, eso sí, id pensando en sacar del armario el abrigo, la bufanda y los guantes, ya que el edificio se irá convirtiendo progresivamente en una cámara frigorífica nocturna.

NOTICIAS DE LA ASOCIACIÓN

-Columna en el Diario de León: gracias a las gestiones de nuestro secretario Saúl Blanco, nuestra Asociación contará con una columna semanal en este periódico local. De momento se encargará él mismo de redactar su contenido, pero os animamos a que nos enviéis vuestros artículos para publicarlos allí (o, si son muy extensos, en esta vuestra revista)

-Reunión oficial con el alcalde Francisco Fernández y el concejal Alejandro Valderas: tuvo lugar el martes 26 de agosto, y acudieron por la Asociación Jesús San José (Presidente), José María Pérez (Tesorero), Saúl Blanco (Secretario) y Ricardo Chao (Vicepresidente). Después hubo una conferencia de prensa. Los resultados ya os los hemos contado en el Editorial.

-Equipamiento del Observatorio: recientemente se ha procedido a la adquisición e instalación de un pequeño frigorífico con congelador y de una cafetera eléctrica para tratar de mitigar los estragos del sueño y del frío de las observaciones nocturnas. La compra de filtros, oculares especiales, etc. está congelada, ya que los comercios estadounidenses con los que hemos contactado no han dado señales de vida.

-Observaciones públicas de Marte del mes de agosto: se realizaron todos los miércoles del mes, y fueron un éxito. Cabe destacar la masiva afluencia de público del día 27 (día de la oposición), ya que los miembros de la Asociación allí presentes nos vimos desbordados. Además de ir haciendo turnos para entrar en el salón de actos, nos vimos obligados a sacar tres telescopios al exterior para que la gente se entretuviera mientras hacía una larguísima cola. Además, Jesús San José mostraba y explicaba de vez en cuando las constelaciones más importantes del verano. En la cúpula, Saúl Blanco mostraba a los visitantes (en grupos de cinco) el telescopio principal y toda la instalación técnica del Observatorio. En total, calculamos que el número de asistentes sobrepasó claramente el medio millar, y es posible que llegara a ochocientos. Desgraciadamente, a la una de la mañana la noche se nubló, pero previsoramente habíamos grabado en vídeo el día 25 las imágenes del planeta marciano transmitidas por nuestro telescopio, por lo que se procedió a su exposición y explicación. La pericia de José María Pérez permitió que las imágenes tomadas por las videocámaras fueran aún mejores que las contempladas directamente por el telescopio, por lo que pudimos observar claramente numerosos detalles de la superficie marciana. Ni que decir tiene que mucha gente salió decepcionada, ya que parecían esperar contemplar las imágenes del Hubble, pero sin embargo, muchas personas marcharon encantadas, y de hecho se agotaron las solicitudes de inscripción en la Asociación.

Saúl mostrando la cúpula

José María explicando los detalles de la oposición

Estefanía tuvo mucho éxito con su telescopio

EFEMÉRIDES DEL SOL Y LOS PLANETAS PARA LEÓN HORAS EN TIEMPO UNIVERSAL (T.U.)[1]

Octubre

ASTRO	COORDENADAS A 0:00 T.U. A.R.	DEC	HORA SALIDA	HORA CULMINACIÓN	HORA PUESTA
	h m	° '	h m	h m	h m
DÍA 1					
Sol	12: 27	- 2: 57	6: 18	12: 11	18: 06
Mercurio	11: 28	+ 5: 15	4: 50	11: 12	17: 36
Venus	13: 12	- 6: 35	7: 18	12: 56	18: 36
Marte	22: 16	- 15: 41	16: 53	21: 57	3: 01
Júpiter	10: 38	+ 9: 38	3: 42	10: 21	17: 00
Saturno	6: 55	+ 22: 06	23: 07	6: 39	14: 10
Urano	22: 08	- 12: 22	16: 32	21: 49	3: 06
Neptuno	20: 52	- 17: 37	15: 38	20: 33	1: 29
DÍA 15					
Sol	13: 18	- 8: 17	6: 34	12: 07	17: 42
Mercurio	12: 53	- 3: 58	5: 55	11: 43	17: 32
Venus	14: 17	- 13: 13	7: 54	13: 07	18: 21
Marte	22: 21	- 13: 59	15: 58	21: 08	2: 18
Júpiter	10: 48	+ 8: 38	3: 01	9: 36	16: 12
Saturno	6: 57	+ 22: 04	22: 14	5: 46	13: 17
Urano	22: 06	- 12: 29	15: 36	20: 53	2: 09
Neptuno	20: 51	- 17: 39	14: 43	19: 38	0: 33

➢ FENÓMENOS

Día 25: Conjunción superior de Mercurio con el Sol.

➢ VISIBILIDAD DE LOS PLANETAS

Mercurio: En los primeros días del mes, visible poco antes de que comience a amanecer, muy próximo al horizonte Este.
Venus: En los últimos días del mes, visible mientras oscurece, muy próximo al horizonte Oeste.
Marte: Visible desde que anochece hasta avanzada la madrugada.
Júpiter: Visible sólo en las últimas horas de la noche.
Saturno : Visible desde antes de la medianoche hasta que amanece.
Urano y Neptuno: Visibles desde que anochece hasta algo después de la medianoche.

➢ LLUVIAS DE ESTRELLAS FUGACES (antiguo)

Durante este mes, se podrán observar las siguientes lluvias de estrellas fugaces:

Nombre del enjambre	Día del máximo	Número medio de apariciones por hora	Coordenadas del radiante A.R.	δ
Oriónidas	21	25	6 h 20 m	+15º

[1] Recordamos que para obtener la hora oficial hay que sumar dos horas hasta el último fin de semana de octubre: después tan solo habrá que añadir una.

EFEMÉRIDES DEL SOL Y LOS PLANETAS PARA LEÓN HORAS EN TIEMPO UNIVERSAL (T.U.)

Noviembre

ASTRO	COORDENADAS A 0:00 T.U. A.R.	DEC	HORA SALIDA	HORA CULMINACIÓN	HORA PUESTA
	h m	° '	h m	h m	h m
DÍA 1					
Sol	14: 23	- 14: 14	6: 55	12: 05	17: 17
Mercurio	14: 39	- 15: 39	7: 19	12: 22	17: 26
Venus	15: 41	- 19: 51	8: 38	13: 24	18: 11
Marte	22: 39	- 11: 01	14: 57	20: 20	1: 41
Júpiter	10: 59	+ 7: 32	2: 09	8: 41	15: 12
Saturno	6: 57	+ 22: 03	21: 08	4: 39	12: 10
Urano	22: 06	- 12: 33	14: 29	19: 45	1: 01
Neptuno	20: 51	- 17: 39	13: 36	18: 31	23: 27
DÍA 15					
Sol	15: 19	- 18: 19	7: 12	12: 06	17: 01
Mercurio	16: 07	- 22: 31	8: 22	12: 55	17: 30
Venus	16: 55	- 23: 25	9: 13	13: 42	18: 13
Marte	23: 01	- 8: 03	14: 12	19: 46	1: 18
Júpiter	11: 07	+ 6: 46	1: 25	7: 53	14: 22
Saturno	6: 56	+ 22: 06	20: 11	3: 42	11: 14
Urano	22: 05	- 12: 33	13: 34	18: 50	0: 06
Neptuno	20: 52	- 17: 37	12: 41	17: 37	22: 32

➢ FENÓMENOS

Día 9: Eclipse total de Luna visible desde León (comienza a las 23:32 T.U.).
Día 23: Perigeo anual de la Luna (distancia mínima anual, 356.818 km).
Día 23: Eclipse total de Sol invisible en España.

➢ VISIBILIDAD DE LOS PLANETAS

Mercurio: Invisible durante todo el mes
Venus: Visible próximo al horizonte Oeste, mientras oscurece.
Marte: Visible desde que anochece hasta algo después de la medianoche.
Júpiter: Visible desde algo después de la medianoche hasta que amanece.
Saturno: Visible desde poco después de anochecer hasta que amanece.
Urano y Neptuno: Visibles desde que anochece hasta aproximadamente la medianoche.

➢ LLUVIAS DE ESTRELLAS FUGACES (antiguo)

Durante este mes, se podrán observar las siguientes lluvias de estrellas fugaces:

Nombre del enjambre	Día del máximo	Número medio de apariciones por hora	Coordenadas del radiante A.R.	δ
Táuridas	4	12	3 h 30 m	+14º
Leónidas	17	15	10 h 15 m	+22º

EFEMÉRIDES DEL SOL Y LOS PLANETAS PARA LEÓN HORAS EN TIEMPO UNIVERSAL (T.U.)

Diciembre

ASTRO	COORDENADAS A 0:00 T.U. A.R	DEC	HORA SALIDA	HORA CULMINACIÓN	HORA PUESTA
	h m	° '	h m	h m	h m
DÍA 1					
Sol	16: 27	- 21: 42	7: 31	12: 10	16: 51
Mercurio	17: 49	- 25: 50	9: 15	13: 33	17: 53
Venus	18: 22	- 24: 44	9: 43	14: 06	18: 32
Marte	23: 29	- 4: 16	13: 24	19: 12	0: 58
Júpiter	11: 14	+ 6: 04	0: 32	6: 58	13: 23
Saturno	6: 52	+ 22: 11	19: 04	2: 36	10: 08
Urano	22: 06	- 12: 28	12: 32	17: 48	23: 04
Neptuno	20: 53	- 17: 32	11: 39	16: 35	21: 31
DÍA 15					
Sol	17: 28	- 23: 14	7: 44	12: 16	16: 50
Mercurio	18: 53	- 24: 05	9: 13	13: 40	18: 08
Venus	19: 37	- 23: 18	9: 56	14: 27	19: 00
Marte	23: 57	- 0: 44	12: 44	18: 45	0: 44
Júpiter	11: 19	+ 5: 41	23: 43	6: 07	12: 31
Saturno	6: 48	+ 22: 17	18: 05	1: 37	9: 09
Urano	22: 08	- 12: 20	11: 37	16: 54	22: 11
Neptuno	20: 54	- 17: 27	10: 45	15: 41	20: 37
DÍA 31					
Sol	18: 39	- 23: 08	7: 51	12: 24	16: 59
Mercurio	17: 59	- 20: 23	6: 58	11: 42	16: 24
Venus	21: 00	- 18: 57	9: 55	14: 46	19: 39
Marte	0: 31	+ 3: 25	11: 59	18: 16	0: 30
Júpiter	11: 21	+ 5: 31	22: 43	5: 06	11: 30
Saturno	6: 42	+ 22: 24	16: 56	0: 28	8: 01
Urano	22: 10	- 12: 08	10: 36	15: 53	21: 11
Neptuno	20: 56	- 17: 19	9: 44	14: 40	19: 37

➢ FENÓMENOS

Día 8: Luna llena aparentemente más pequeña (29' 30'').
Día 9: Fecha en que el Sol se pone más pronto (en León, a las 16:49 horas).
Día 9: Máxima elongación de Mercurio al Este del Sol.
Día 12: Conjunción de Plutón con el Sol.
Día 27: Conjunción inferior de Mercurio.
Día 22: Comienza el invierno a las 7:01 horas.
Día 31: Oposición de Saturno.

➢ VISIBILIDAD DE LOS PLANETAS

Mercurio: En la primera quincena del mes, visible mientras oscurece, muy próximo al horizonte Oeste.
Venus: Visible desde que empieza a oscurecer hasta dos horas después.
Marte: Visible desde que oscurece hasta aproximadamente la medianoche.
Júpiter: Visible desde aproximadamente la medianoche hasta que amanece.
Saturno: Visible durante toda la noche.
Urano y Neptuno: Visibles sólo en las primeras horas de la noche.

➢ LLUVIAS DE ESTRELLAS FUGACES (ANTIGUO)

Durante este mes, se podrán observar las siguientes lluvias de estrellas fugaces:

Nombre del enjambre	Día del máximo	Número medio de apariciones por hora	Coordenadas del radiante A.R.	δ
Gemínidas	13	50	7 h 30 m	+33º

La Luna

Octubre

➢ Fases de la Luna

DÍA	FASE	HORA	COORDENADAS A.R.	COORDENADAS DEC	SALE	CULMINA	SE PONE
		h m	h m	º '	h m	h m	h m
2	C. creciente	19:12	18:41	- 27:49	13:59	18:17	22:35
10	Luna llena	07:28	01:03	+03:12	18:09	00:02	06:25
18	C. menguante	12:33	07:48	+25:17	23:08	06:13	14:14
25	Luna nueva	12:51	14:00	- 11:16	06:29	12:07	17:34

➢ Ocultaciones de estrellas por la Luna

DESAPARICIÓN DÍA	DESAPARICIÓN HORA	DESAPARICIÓN BORDE	REAPARICIÓN DÍA	REAPARICIÓN HORA	REAPARICIÓN BORDE	MAGNITUD ESTRELLA
5	23:39:05	Oscuro	6	00:37:33	Iluminado	6,2
15	Bajo el horizonte		15	20:50:34	Oscuro	5,4
15	23:35:18	Iluminado	16	00:25:39	Oscuro	6,5
16	01:03:55	Iluminado	16	02:18:12	Oscuro	5,2
19	00:15:59	Iluminado	19	01:03:08	Oscuro	5,9
19	04:13:34	Iluminado	19	05:15:14	Oscuro	6,1
28	18:40:29	Oscuro	28	Bajo el horizonte		5,3
28	18:40:37	Oscuro	28	Bajo el horizonte		5,3

➢ Curiosidades

	DÍA	HORA	DISTANCIA (km)	DIÁMETRO APARENTE
APOGEO	14	03:00	405.710	29,5'
PERIGEO	26	11:29	358.538	33,3'

Día en que culmina más alto: Día 17, a 74º 12'

Día en que culmina más bajo: Día 29, a 19º 30'

La Luna

Noviembre

➢ Fases de la Luna

DÍA	FASE	HORA	COORDENADAS A.R.	COORDENADAS DEC	SALE	CULMINA	SE PONE
		h m	h m	º '	h m	h m	h m
1	C. creciente	04:27	20:47	- 23:31	14:19	19:02	23:53
9	Luna llena	01:15	02:55	+15:55	17:21	00:05	07:24
17	C. menguante	04:17	09:56	+17:57	---	06:38	13:55
23	Luna nueva	23:00	15:55	- 21:45	06:39	11:41	16:33
30	C. creciente	17:18	22:48	- 13:57	13:19	18:35	---

➢ Ocultaciones de estrellas por la Luna

DESAPARICIÓN DÍA	DESAPARICIÓN HORA	DESAPARICIÓN BORDE	REAPARICIÓN DÍA	REAPARICIÓN HORA	REAPARICIÓN BORDE	MAGNITUD ESTRELLA
1	21:27:38	Oscuro	1	22:46:28	Iluminado	5,8
10	21:05:40	Iluminado	10	22:15:05	Oscuro	4,3
14	22:49:03	Iluminado	14	23:51:24	Oscuro	6,3
29	21:11:11	Oscuro	29	21:36:25	Iluminado	6,3
30	16:42:51	Oscuro	30	17:58:36	Iluminado	5,7
30	18:20:25	Oscuro	30	19:40:40	Iluminado	4,0

➢ Curiosidades

	DÍA	HORA	DISTANCIA (km)	DIÁMETRO APARENTE
APOGEO	10	11:54	406.307	29,4'
PERIGEO	23	23:12	356.818	33,5'

Día en que culmina más alto: Día 13, a 74º 12'

Día en que culmina más bajo: Día 26, a 19º 24'

La Luna

Diciembre

➢ Fases de la Luna

DÍA	FASE	HORA	COORDENADAS A.R.	COORDENADAS DEC	SALE	CULMINA	SE PONE
		h m	h m	º '	h m	h m	h m
8	Luna llena	20:39	05:02	+24:39	16:26	---	07:22
16	C. menguante	17:44	11:46	+05:28	---	06:07	12:46
23	Luna nueva	09:45	18:07	- 27:39	08:09	12:28	16:47
30	C. creciente	10:05	00:38	- 00:27	12:26	18:39	---

➢ Ocultaciones de estrellas por la Luna

DESAPARICIÓN			REAPARICIÓN			MAGNITUD
DÍA	HORA	BORDE	DÍA	HORA	BORDE	ESTRELLA
8	5:53:54	Oscuro	8	6:46:27	Iluminado	4,3
15	4:30:48	Iluminado	15	5:50:53	Oscuro	5,5
24	16:39:48	Oscuro	24	17:35:24	Iluminado	5,5

➢ Curiosidades

	DÍA	HORA	DISTANCIA (km)	DIÁMETRO APARENTE
APOGEO	07	11:37	406.275	29,4'
PERIGEO	22	12:02	358.349	33,3'

Día en que culmina más alto: Día 11, a 74º 06'

Día en que culmina más bajo: Día 23, a 19º 30'

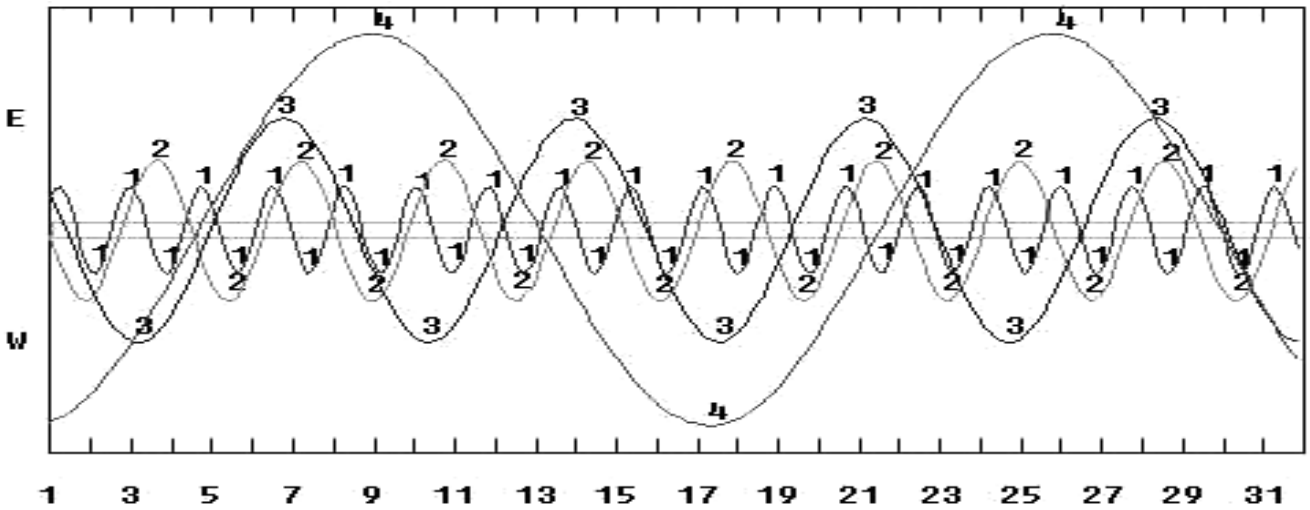
Satélites de Júpiter. Octubre 2003

I - Io. II - Europa. III - Ganimedes. IV - Calisto

E - Eclipse.
O -Ocultación.
T -Tránsito del satélite por delante del disco del planeta.
S - Proyección de la sombra del satélite sobre el disco del planeta.
c - comienzo del fenómeno.
f - final del fenómeno.

Día	Hora	Min	Sat	Fen	Día	Hora	Min	Sat	Fen	Día	Hora	Min	Sat	Fen	Día	Hora	Min	Sat	Fen	Día	Hora	Min	Sat	Fen
1	0	30	II	Tf	8	0	25	II	Tc	14	1	25	I	Sf	21	1	02	I	Sc	26	6	49	III	Ec
1	4	53	III	Sc	8	1	49	II	Sf	14	2	14	I	Tf	21	1	29	IV	Ec	26	8	27	I	Sc
1	7	27	III	Tc	8	3	16	II	Tf	14	20	17	I	Ec	21	1	56	I	Tc	26	9	24	I	Tc
1	8	28	III	Sf	8	8	52	III	Sc	14	23	23	I	Of	21	3	19	I	Sf	26	10	24	III	Ef
1	11	02	III	Tf	8	11	51	III	Tc						21	4	12	I	Tf	26	10	44	I	Sf
1	13	48	I	Sc	8	12	27	III	Sf	15	1	33	II	Sc	21	5	52	IV	Ef	26	10	45	III	Oc
1	14	27	I	Tc	8	15	25	III	Tf	15	3	11	II	Tc	21	10	17	IV	Oc	26	11	41	I	Tf
1	16	06	I	Sf	8	15	42	I	Sc	15	4	23	II	Sf	21	14	29	IV	Of	26	14	18	III	Of
1	16	44	I	Tf	8	16	27	I	Tc	15	6	01	II	Tf	21	22	10	I	Ec					
					8	18	00	I	Sf	15	12	50	III	Sc						27	5	35	I	Ec
2	10	59	I	Ec	8	18	44	I	Tf	15	16	13	III	Tc	22	1	22	I	Of	27	8	50	I	Of
2	13	55	I	Of						15	16	24	III	Sf	22	4	06	II	Sc	27	12	27	II	Ec
2	15	22	II	Ec	9	12	52	I	Ec	15	17	36	I	Sc	22	5	55	II	Tc	27	17	18	II	Of
2	19	36	II	Of	9	15	54	I	Of	15	18	26	I	Tc	22	6	57	II	Sf					
					9	17	58	II	Ec	15	19	45	III	Tf	22	8	45	II	Tf	28	2	55	I	Sc
3	8	17	I	Sc	9	22	24	II	Of	15	19	53	I	Sf	22	16	49	III	Sc	28	3	54	I	Tc
3	8	57	I	Tc						15	20	43	I	Tf	22	19	30	I	Sc	28	5	12	I	Sf
3	10	34	I	Sf	10	10	11	I	Sc						22	20	22	III	Sf	28	6	11	I	Tf
3	11	14	I	Tf	10	10	57	I	Tc	16	14	45	I	Ec	22	20	25	I	Tc					
					10	12	28	I	Sf	16	17	53	I	Of	22	20	33	III	Tc	29	0	03	I	Ec
4	5	27	I	Ec	10	13	14	I	Tf	16	20	34	II	Ec	22	21	47	I	Sf	29	3	20	I	Of
4	7	28	IV	Ec											22	22	42	I	Tf	29	6	40	II	Sc
4	8	25	I	Of	11	7	20	I	Ec	17	1	11	II	Of						29	8	39	II	Tc
4	9	42	II	Sc	11	10	24	I	Of	17	12	05	I	Sc	23	0	04	III	Tf	29	9	30	II	Sf
4	11	03	II	Tc	11	12	16	II	Sc	17	12	56	I	Tc	23	16	39	I	Ec	29	11	13	IV	Sc
4	11	56	IV	Ef	11	13	48	II	Tc	17	14	22	I	Sf	23	19	51	I	Of	29	11	28	II	Tf
4	12	33	II	Sf	11	15	06	II	Sf	17	15	13	I	Tf	23	23	09	II	Ec	29	15	29	IV	Sf
4	13	53	II	Tf	11	16	39	II	Tf											29	20	41	IV	Tc
4	14	04	IV	Oc	11	22	54	III	Ec	18	9	14	I	Ec	24	3	56	II	Of	29	20	46	III	Sc
4	18	28	IV	Of						18	12	23	I	Of	24	13	59	I	Sc	29	21	24	I	Sc
4	18	56	III	Ec	12	4	39	I	Sc	18	14	50	II	Sc	24	14	55	I	Tc	29	22	24	I	Tc
					12	5	27	I	Tc	18	16	33	II	Tc	24	16	15	I	Sf	29	23	41	I	Sf
5	1	20	III	Of	12	5	41	III	Of	18	17	40	II	Sf	24	17	12	I	Tf					
5	2	45	I	Sc	12	6	57	I	Sf	18	19	23	II	Tf						30	0	19	III	Sf
5	3	27	I	Tc	12	7	44	I	Tf						25	11	07	I	Ec	30	0	40	I	Tf
5	5	03	I	Sf	12	17	15	IV	Sc	19	2	51	III	Ec	25	14	21	I	Of	30	0	41	IV	Tf
5	5	44	I	Tf	12	21	35	IV	Sf	19	6	33	I	Sc	25	17	23	II	Sc	30	0	50	III	Tc
5	23	55	I	Ec						19	7	26	I	Tc	25	19	17	II	Tc	30	4	20	III	Tf
					13	0	46	IV	Tc	19	8	50	I	Sf	25	20	14	II	Sf	30	18	32	I	Ec
6	2	54	I	Of	13	1	49	I	Ec	19	9	43	I	Tf	25	22	07	II	Tf	30	21	49	I	Of
6	4	39	II	Ec	13	4	54	I	Of	19	10	00	III	Of										
6	9	00	II	Of	13	4	59	IV	Tf											31	1	45	II	Ec
6	21	14	I	Sc	13	7	15	II	Ec	20	3	42	I	Ec						31	6	41	II	Of
6	21	57	I	Tc	13	11	47	II	Of	20	6	52	I	Of						31	15	52	I	Sc
6	23	31	I	Sf	13	23	08	I	Sc	20	9	51	II	Ec						31	16	53	I	Tc
					13	23	56	I	Tc	20	14	33	II	Of						31	18	09	I	Sf
7	0	14	I	Tf																31	19	09	I	Tf
7	18	24	I	Ec																				
7	21	24	I	Of																				
7	22	59	II	Sc																				

GRÁFICO DEL MES



Días del mes (cada marca corresponde a la medianoche)

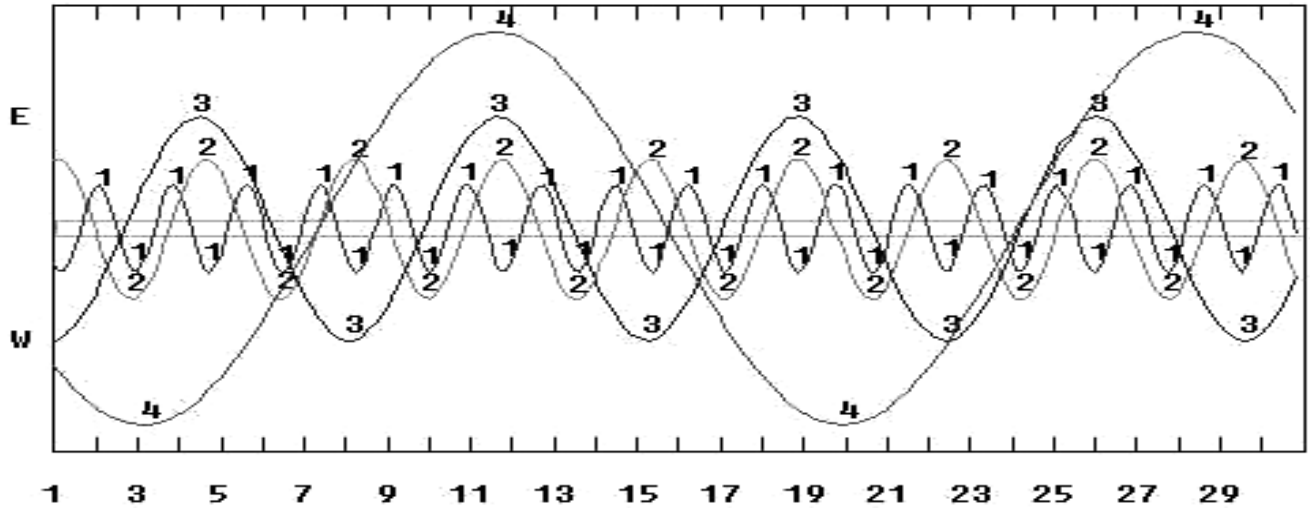
Satélites de Júpiter. Noviembre 2003

I - Io. II - Europa. III - Ganimedes. IV - Calisto

E - Eclipse.
O -Ocultación.
T -Tránsito del satélite por delante del disco del planeta.
S - Proyección de la sombra del satélite sobre el disco del planeta.
c - comienzo del fenómeno.
f - final del fenómeno.

Día	Hora	Min	Sat	Fen	Día	Hora	Min	Sat	Fen	Día	Hora	Min	Sat	Fen	Día	Hora	Min	Sat	Fen	Día	Hora	Min	Sat	Fen
1	13	00	I	Ec	7	4	20	II	Ec	13	1	11	I	Sc	19	5	43	I	Ec	25	4	04	II	Of
1	16	19	I	Of	7	6	05	IV	Oc	13	2	18	I	Tc	19	9	10	I	Of	25	10	29	I	Sc
1	19	57	II	Sc	7	9	24	II	Of	13	3	27	I	Sf	19	14	22	II	Sc	25	11	41	I	Tc
1	22	00	II	Tc	7	10	01	IV	Of	13	4	34	I	Tf	19	16	43	II	Tc	25	12	46	I	Sf
1	22	47	II	Sf	7	17	46	I	Sc	13	4	42	III	Sc	19	17	12	II	Sf	25	13	56	I	Tf
					7	18	51	I	Tc	13	8	14	III	Sf	19	19	32	II	Tf					
2	0	50	II	Tf	7	20	02	I	Sf	13	9	18	III	Tc						26	7	36	I	Ec
2	10	21	I	Sc	7	21	07	I	Tf	13	12	45	III	Tf	20	3	04	I	Sc	26	11	05	I	Of
2	10	48	III	Ec						13	22	18	I	Ec	20	4	15	I	Tc	26	16	56	II	Sc
2	11	23	I	Tc	8	14	53	I	Ec						20	5	21	I	Sf	26	19	21	II	Tc
2	12	37	I	Sf	8	18	16	I	Of	14	1	43	I	Of	20	6	30	I	Tf	26	19	46	II	Sf
2	13	39	I	Tf	8	22	31	II	Sc	14	6	55	II	Ec	20	8	39	III	Sc	26	22	10	II	Tf
2	14	23	III	Ef						14	12	05	II	Of	20	12	11	III	Sf					
2	15	03	III	Oc	9	0	42	II	Tc	14	19	39	I	Sc	20	13	27	III	Tc	27	4	58	I	Sc
2	18	34	III	Of	9	1	21	II	Sf	14	20	47	I	Tc	20	16	53	III	Tf	27	6	10	I	Tc
					9	3	31	II	Tf	14	21	56	I	Sf						27	7	14	I	Sf
3	7	28	I	Ec	9	12	14	I	Sc	14	23	03	I	Tf	21	0	11	I	Ec	27	8	25	I	Tf
3	10	48	I	Of	9	13	20	I	Tc						21	3	39	I	Of	27	12	38	III	Sc
3	15	02	II	Ec	9	14	31	I	Sf	15	5	12	IV	Sc	21	9	30	II	Ec	27	16	09	III	Sf
3	20	02	II	Of	9	14	45	III	Ec	15	9	22	IV	Sf	21	14	45	II	Of	27	17	34	III	Tc
					9	15	36	I	Tf	15	16	07	IV	Tc	21	21	33	I	Sc	27	20	59	III	Tf
4	4	49	I	Sc	9	18	20	III	Ef	15	16	46	I	Ec	21	22	43	I	Tc					
4	5	52	I	Tc	9	19	17	III	Oc	15	19	51	IV	Tf	21	23	49	I	Sf	28	2	04	I	Ec
4	7	06	I	Sf	9	22	47	III	Of	15	20	12	I	Of						28	5	34	I	Of
4	8	08	I	Tf											22	0	59	I	Tf	28	12	04	II	Ec
					10	9	21	I	Ec	16	1	05	II	Sc	22	18	39	I	Ec	28	17	22	II	Of
5	1	57	I	Ec	10	12	45	I	Of	16	3	23	II	Tc	22	22	08	I	Of	28	23	26	I	Sc
5	5	17	I	Of	10	17	37	II	Ec	16	3	55	II	Sf										
5	9	14	II	Sc	10	22	44	II	Of	16	6	12	II	Tf	23	3	39	II	Sc	29	0	39	I	Tc
5	11	21	II	Tc						16	14	08	I	Sc	23	6	02	II	Tc	29	1	42	I	Sf
5	12	04	II	Sf	11	6	43	I	Sc	16	15	17	I	Tc	23	6	29	II	Sf	29	2	54	I	Tf
5	14	11	II	Tf	11	7	49	I	Tc	16	16	24	I	Sf	23	8	51	II	Tf	29	20	33	I	Ec
5	23	17	I	Sc	11	8	59	I	Sf	16	17	32	I	Tf	23	13	29	IV	Ec					
					11	10	05	I	Tf	16	18	43	III	Ec	23	16	01	I	Sc	30	0	03	I	Of
6	0	21	I	Tc						16	22	17	III	Ef	23	17	12	I	Tc	30	6	13	II	Sc
6	0	44	III	Sc	12	3	50	I	Ec	16	23	28	III	Oc	23	17	43	IV	Ef	30	8	40	II	Tc
6	1	34	I	Sf	12	7	14	I	Of						23	18	17	I	Sf	30	9	03	II	Sf
6	2	37	I	Tf	12	11	48	II	Sc	17	2	57	III	Of	23	19	28	I	Tf	30	11	28	II	Tf
6	4	16	III	Sf	12	14	02	II	Tc	17	11	15	I	Ec	23	22	41	III	Ec	30	17	54	I	Sc
6	5	05	III	Tc	12	14	38	II	Sf	17	14	41	I	Of						30	19	07	I	Tc
6	8	34	III	Tf	12	16	52	II	Tf	17	20	12	II	Ec	24	1	18	IV	Oc	30	20	10	I	Sf
6	19	29	IV	Ec											24	2	14	III	Ef	30	21	22	I	Tf
6	20	25	I	Ec						18	1	25	II	Of	24	3	36	III	Oc					
6	23	47	I	Of						18	8	36	I	Sc	24	4	57	IV	Of					
6	23	48	IV	Ef						18	9	46	I	Tc	24	7	03	III	Of					
										18	10	52	I	Sf	24	13	08	I	Ec					
										18	12	01	I	Tf	24	16	37	I	Of					
															24	22	47	II	Ec					

GRÁFICO DEL MES



Días del mes (cada marca corresponde a la medianoche)

Satélites de Júpiter. Diciembre 2003

I - Io. II - Europa. III - Ganimedes. IV - Calisto

E - Eclipse.
O -Ocultación.
T -Tránsito del satélite por delante del disco del planeta.
S - Proyección de la sombra del satélite sobre el disco del planeta.
c - comienzo del fenómeno.
f - final del fenómeno.

Día	Hora	Min	Sat	Fen
1	2	38	III	Ec
1	6	11	III	Ef
1	7	40	III	Oc
1	11	06	III	Of
1	15	01	I	Ec
1	18	31	I	Of
1	23	09	IV	Sc
2	1	21	II	Ec
2	3	14	IV	Sf
2	6	40	II	Of
2	10	55	IV	Tc
2	12	23	I	Sc
2	13	36	I	Tc
2	14	22	IV	Tf
2	14	39	I	Sf
2	15	51	I	Tf
3	9	29	I	Ec
3	13	00	I	Of
3	19	30	II	Sc
3	21	58	II	Tc
3	22	20	II	Sf
4	0	47	II	Tf
4	6	51	I	Sc
4	8	04	I	Tc
4	9	07	I	Sf
4	10	19	I	Tf
4	16	36	III	Sc
4	20	06	III	Sf
4	21	37	III	Tc
5	1	00	III	Tf
5	3	57	I	Ec
5	7	28	I	Of
5	14	39	II	Ec
5	19	58	II	Of
6	1	19	I	Sc
6	2	33	I	Tc
6	3	35	I	Sf
6	4	48	I	Tf
6	22	26	I	Ec

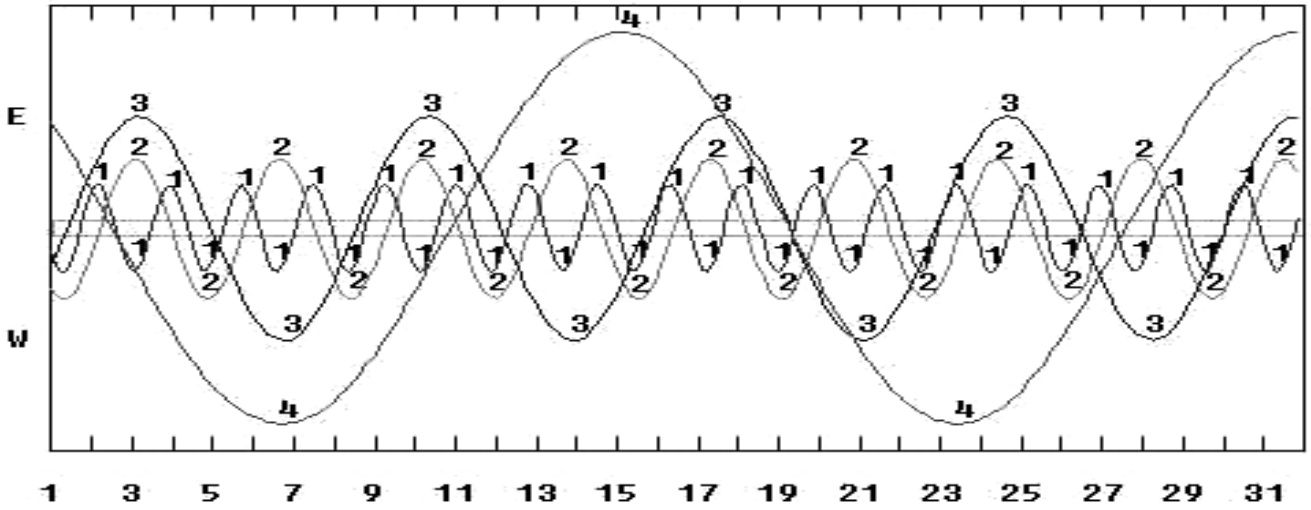
Día	Hora	Min	Sat	Fen
7	1	57	I	Of
7	8	47	II	Sc
7	11	16	II	Tc
7	11	37	II	Sf
7	14	04	II	Tf
7	19	48	I	Sc
7	21	01	I	Tc
7	22	03	I	Sf
7	23	16	I	Tf
8	6	35	III	Ec
8	10	08	III	Ef
8	11	41	III	Oc
8	15	05	III	Of
8	16	54	I	Ec
8	20	25	I	Of
9	3	56	II	Ec
9	9	15	II	Of
9	14	16	I	Sc
9	15	29	I	Tc
9	16	32	I	Sf
9	17	44	I	Tf
10	7	29	IV	Ec
10	11	22	I	Ec
10	11	37	IV	Ef
10	14	53	I	Of
10	19	46	IV	Oc
10	22	05	II	Sc
10	23	08	IV	Of
11	0	34	II	Tc
11	0	55	II	Sf
11	3	22	II	Tf
11	8	44	I	Sc
11	9	58	I	Tc
11	11	00	I	Sf
11	12	13	I	Tf
11	20	33	III	Sc
12	0	03	III	Sf
12	1	36	III	Tc
12	4	57	III	Tf
12	5	51	I	Ec
12	9	22	I	Of
12	17	13	II	Ec
12	22	32	II	Of

Día	Hora	Min	Sat	Fen
13	3	13	I	Sc
13	4	26	I	Tc
13	5	28	I	Sf
13	6	41	I	Tf
14	0	19	I	Ec
14	3	50	I	Of
14	11	22	II	Sc
14	13	50	II	Tc
14	14	12	II	Sf
14	16	39	II	Tf
14	21	41	I	Sc
14	22	54	I	Tc
14	23	57	I	Sf
15	1	09	I	Tf
15	10	33	III	Ec
15	14	05	III	Ef
15	15	38	III	Oc
15	18	47	I	Ec
15	19	01	III	Of
15	22	18	I	Of
16	6	30	II	Ec
16	11	48	II	Of
16	16	09	I	Sc
16	17	22	I	Tc
16	18	25	I	Sf
16	19	37	I	Tf
17	13	15	I	Ec
17	16	46	I	Of
18	0	39	II	Sc
18	3	07	II	Tc
18	3	29	II	Sf
18	5	55	II	Tf
18	10	37	I	Sc
18	11	50	I	Tc
18	12	53	I	Sf
18	14	05	I	Tf
18	17	07	IV	Sc
18	21	06	IV	Sf
19	0	31	III	Sc
19	4	00	III	Sf
19	4	55	IV	Tc
19	5	30	III	Tc
19	7	44	I	Ec
19	8	05	IV	Tf
19	8	50	III	Tf
19	11	14	I	Of
19	19	47	II	Ec

Día	Hora	Min	Sat	Fen
19	0	31	III	Sc
19	4	00	III	Sf
19	4	55	IV	Tc
19	5	30	III	Tc
19	7	44	I	Ec
19	8	05	IV	Tf
19	8	50	III	Tf
19	11	14	I	Of
19	19	47	II	Ec
20	1	04	II	Of
20	5	06	I	Sc
20	6	18	I	T.
20	7	21	I	Sf
20	8	33	I	Tf
21	2	12	I	Ec
21	5	42	I	Of
21	13	56	II	Sc
21	16	23	II	Tc
21	19	11	II	Tf
21	23	34	I	Sc
22	0	46	I	Tc
22	1	50	I	Sf
22	3	00	I	Tf
22	14	31	III	Ec
22	18	03	III	Ef
22	19	31	III	Oc
22	20	40	I	Ec
22	22	53	III	Of
23	0	10	I	Of
23	9	04	II	Ec
23	14	18	II	Of
23	18	02	I	Sc
23	19	14	I	Tc
23	20	18	I	Sf
23	21	28	I	Tf
24	15	09	I	Ec
24	18	38	I	Of
25	3	13	II	Sc
25	5	38	II	Tc
25	6	04	II	Sf
25	8	26	II	Tf
25	3	13	II	Sc
25	5	38	II	Tc
25	6	04	II	Sf
25	8	26	II	Tf

Día	Hora	Min	Sat	Fen
26	4	28	III	Sc
26	7	57	III	Sf
26	9	19	III	Tc
26	9	37	I	Ec
26	12	38	III	Tf
26	13	05	I	Of
26	22	21	II	Ec
27	1	29	IV	Ec
27	3	33	II	Of
27	5	31	IV	Ef
27	6	59	I	Sc
27	8	09	I	Tc
27	9	14	I	Sf
27	10	24	I	Tf
27	13	20	IV	Oc
27	16	24	IV	Of
28	4	05	I	Ec
28	7	33	I	Of
28	16	31	II	Sc
28	18	53	II	Tc
28	19	21	II	Sf
28	21	41	II	Tf
29	1	27	I	Sc
29	2	37	I	Tc
29	3	43	I	Sf
29	4	51	I	Tf
29	18	29	III	Ec
29	22	01	III	Ef
29	22	34	I	Ec
29	23	19	III	Oc
30	2	01	I	Of
30	2	40	III	Of
30	11	38	II	Ec
30	16	47	II	Of
30	19	55	I	Sc
30	21	04	I	Tc
30	22	11	I	Sf
30	23	19	I	Tf
31	17	02	I	Ec
31	20	28	I	Of

GRÁFICO DEL MES

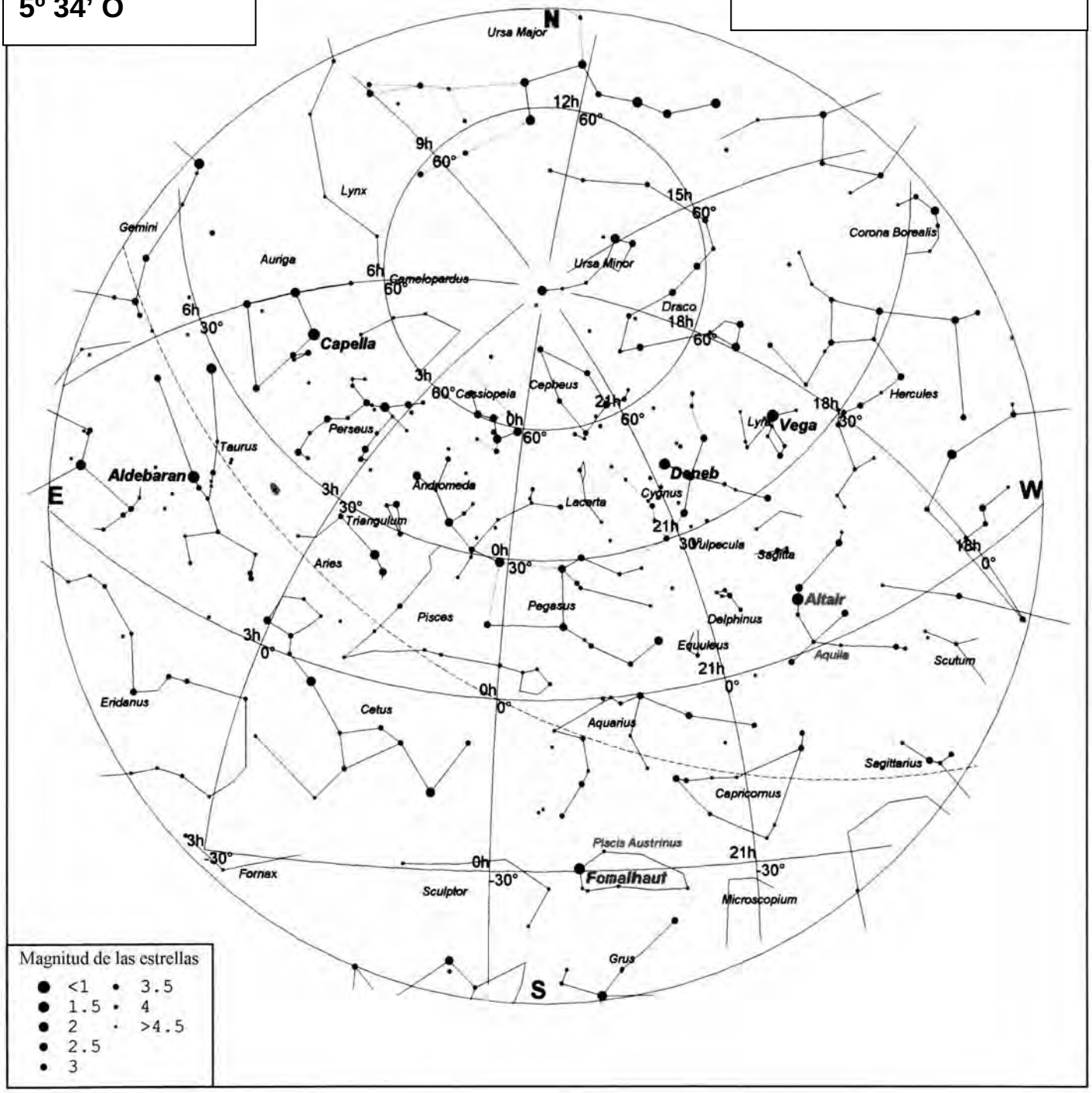


Días del mes (cada marca corresponde a la medianoche)

EL CIELO EN OCTUBRE

Cielo para León
Coordenadas:
42º 36' N
5º 34' O

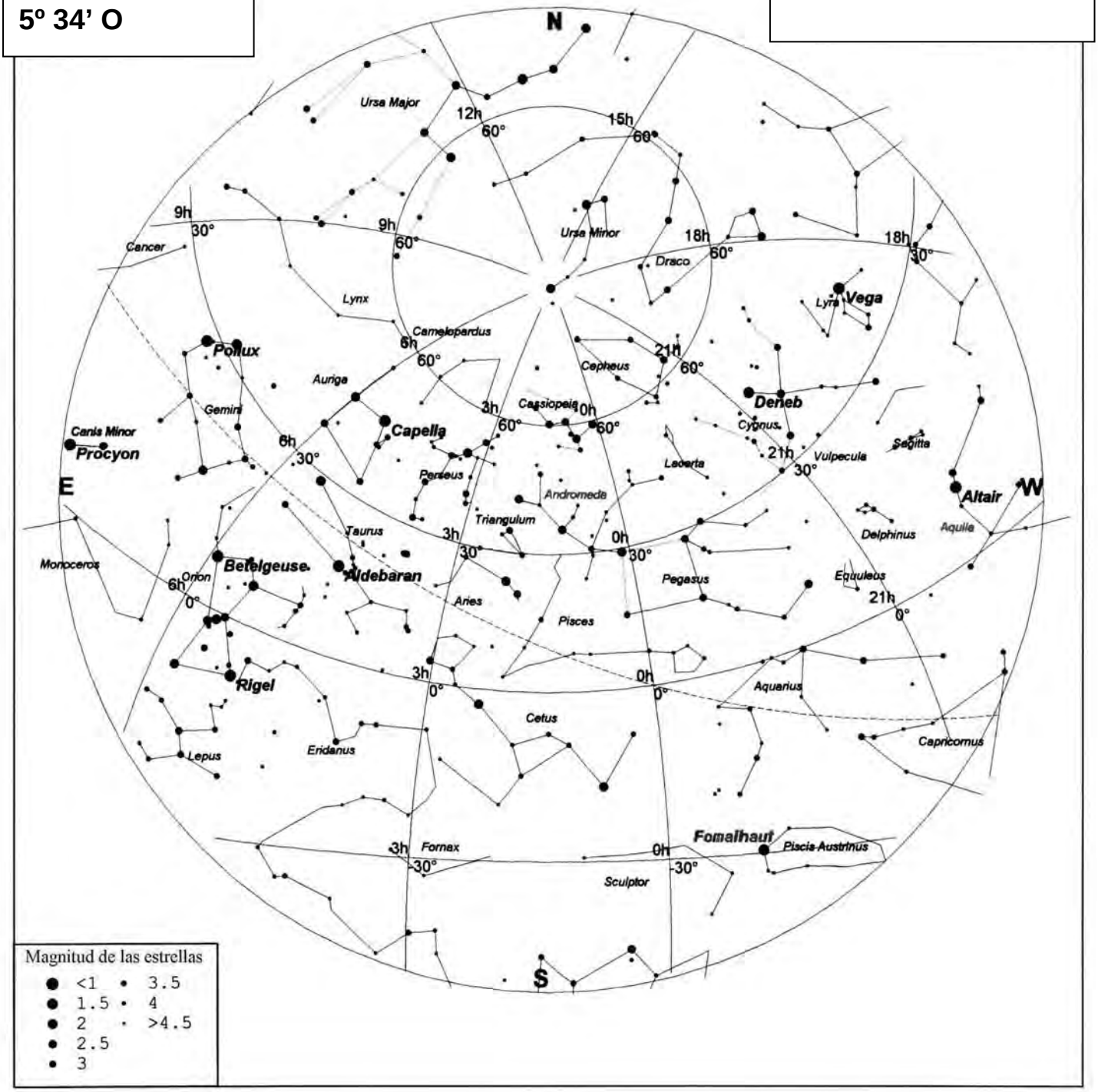
1 octubre a las 23 T.U.
15 de octubre a las 22 T.U.
30 de octubre a las 21 T.U.



EL CIELO EN NOVIEMBRE

Cielo para León
Coordenadas:
42º 36' N
5º 34' O

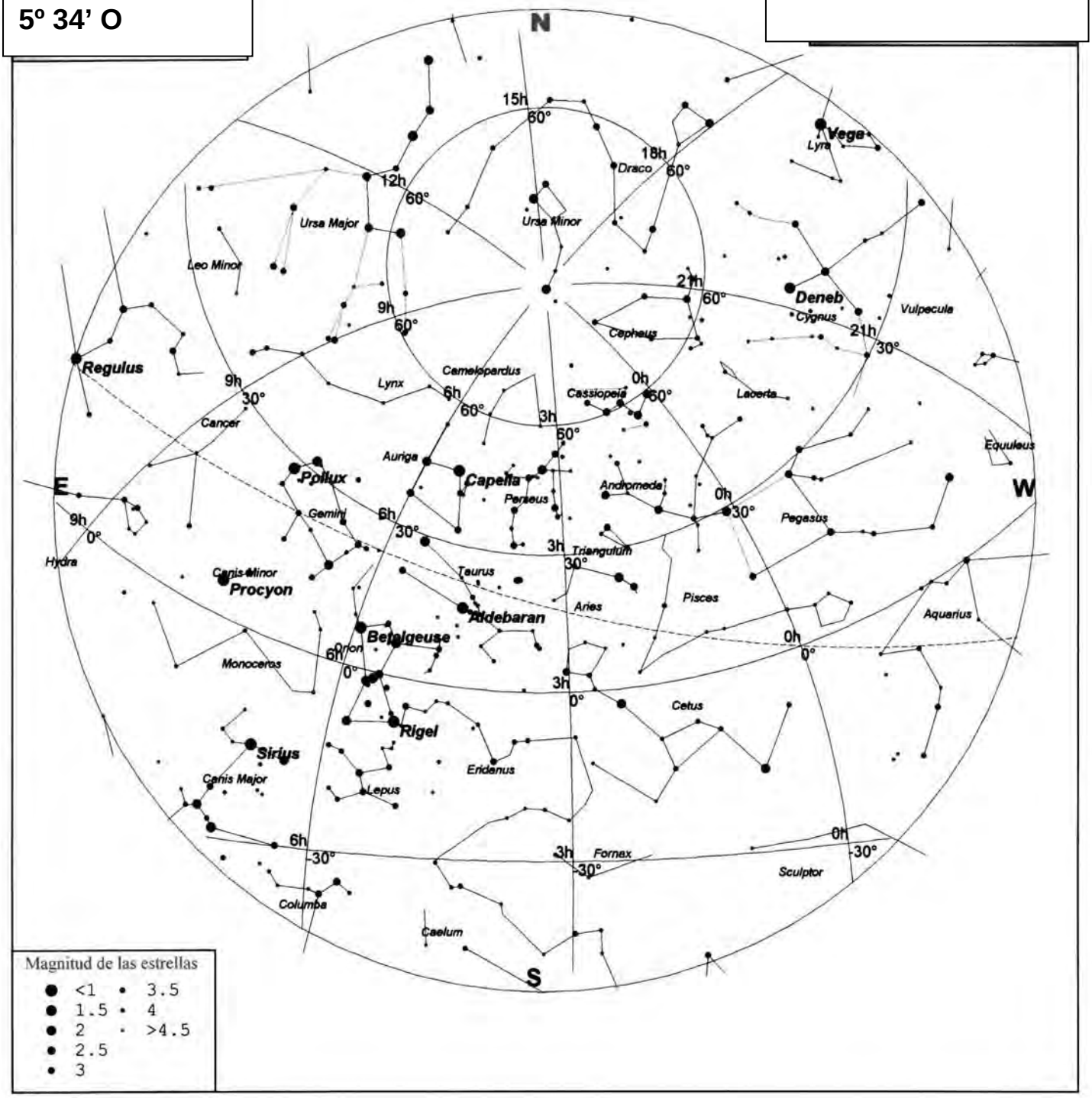
1 noviembre a las 23 T.U.
15 de noviembre a las 22 T.U.
30 de noviembre a las 21 T.U.



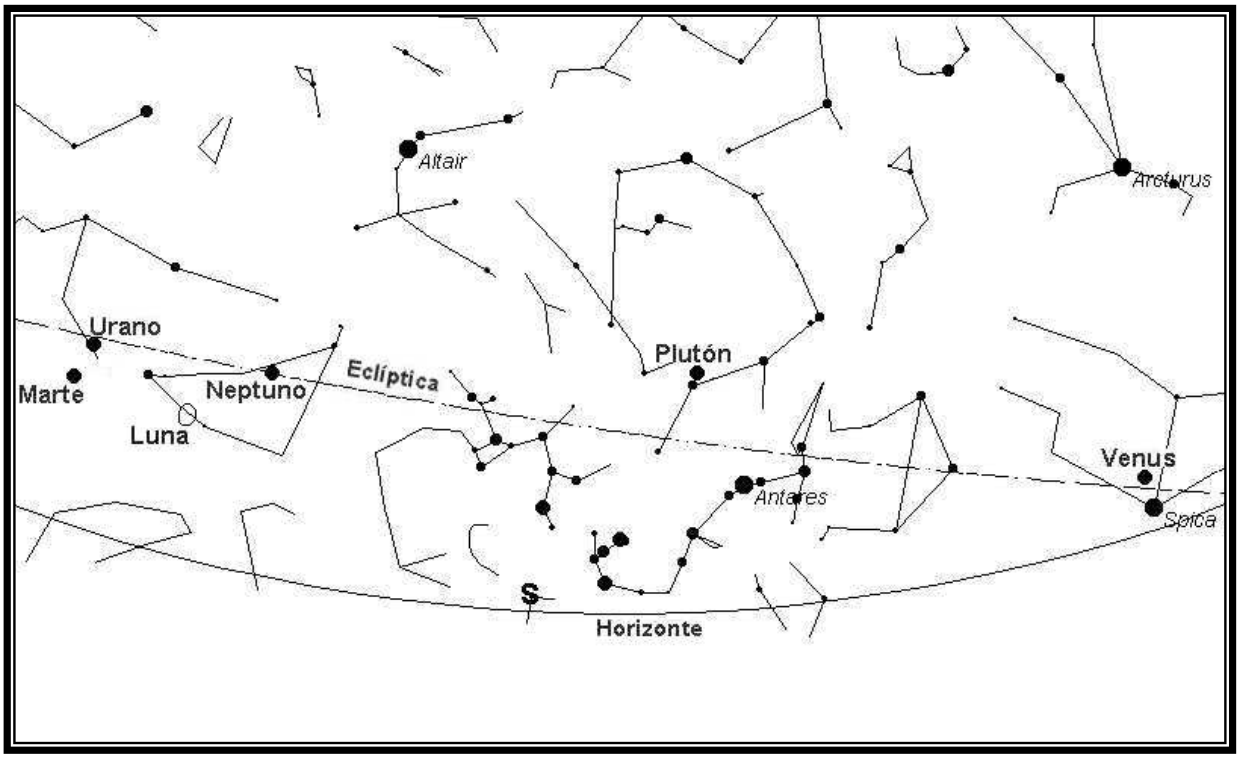
EL CIELO EN DICIEMBRE

Cielo para León
Coordenadas:
42º 36' N
5º 34' O

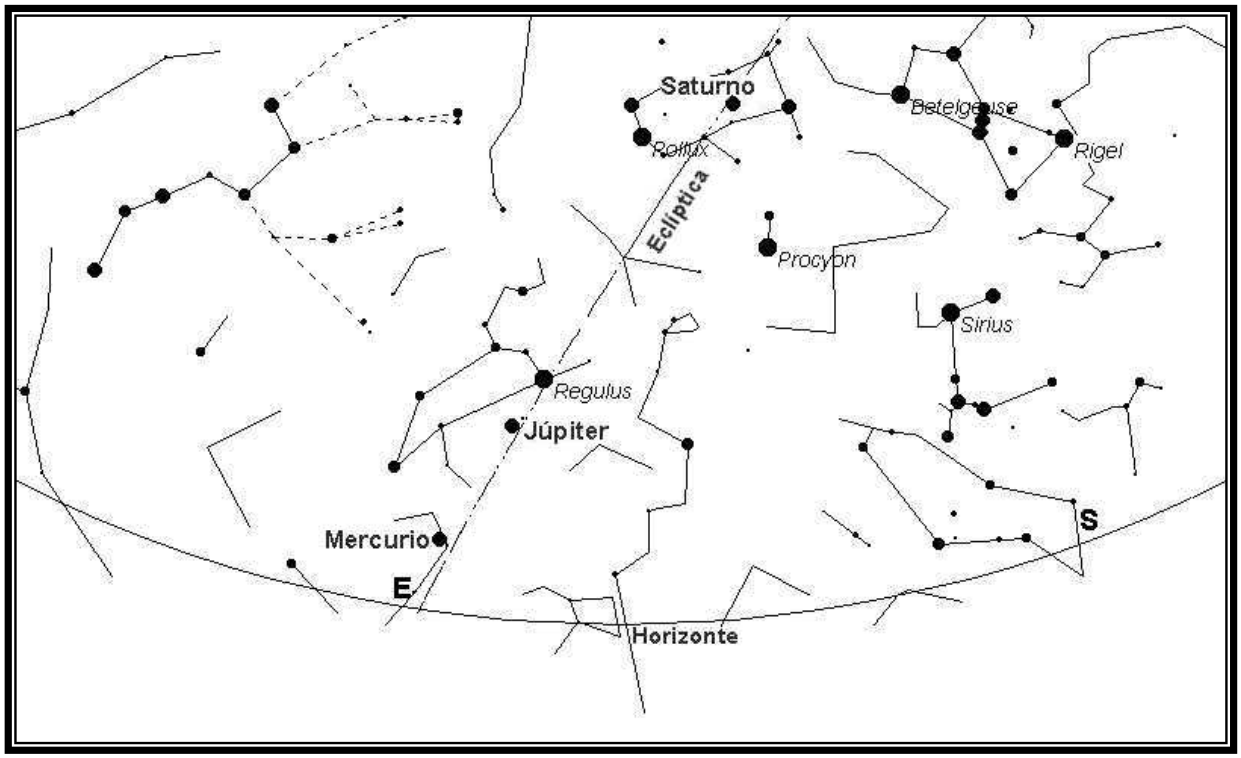
1 diciembre a las 23 T.U.
15 de diciembre a las 22 T.U.
30 de diciembre a las 21 T.U.



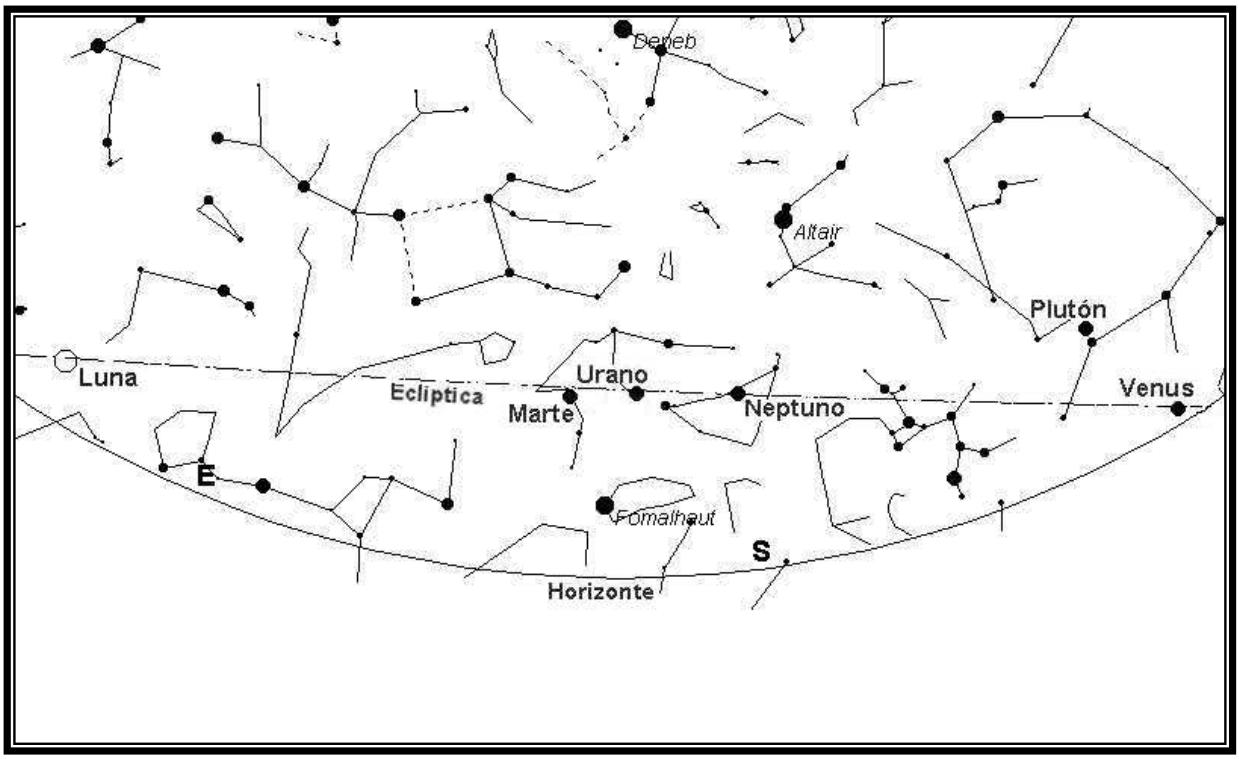
Los planetas visibles el día 5 de octubre, al principio de la noche



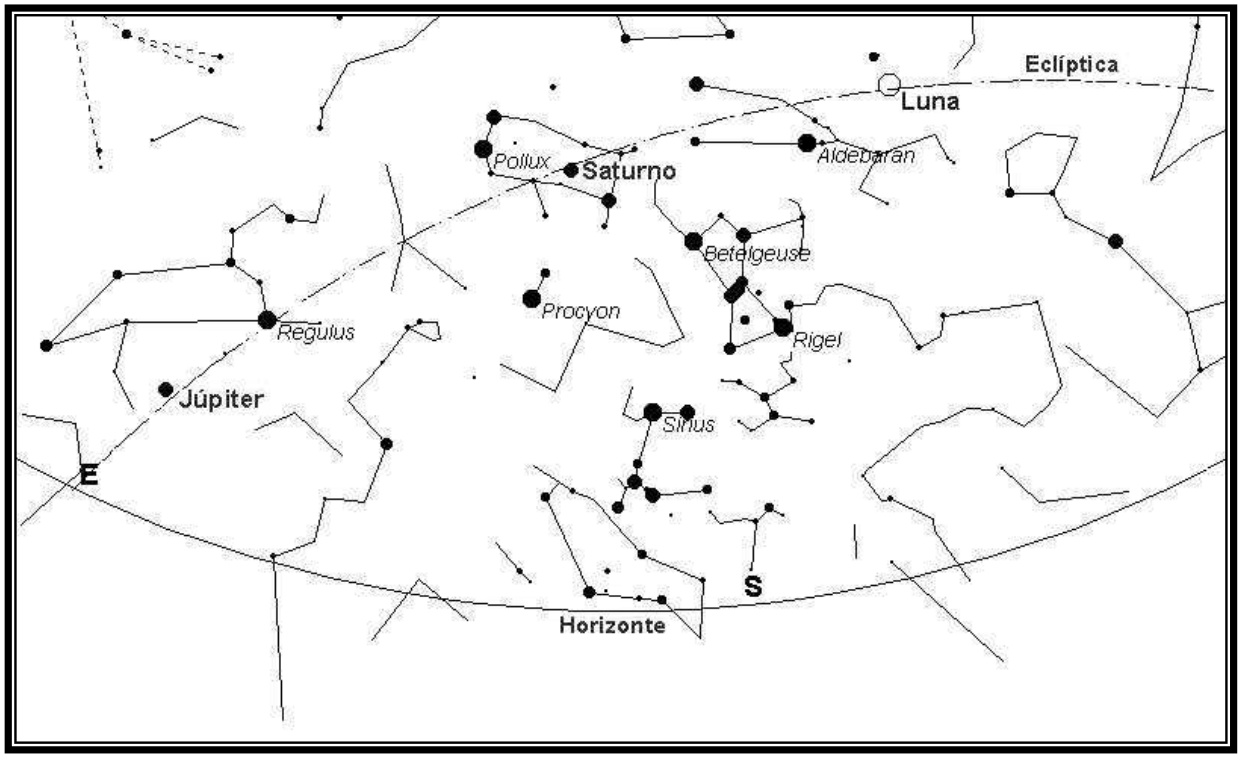
Los planetas visibles el 5 de octubre, avanzada la madrugada



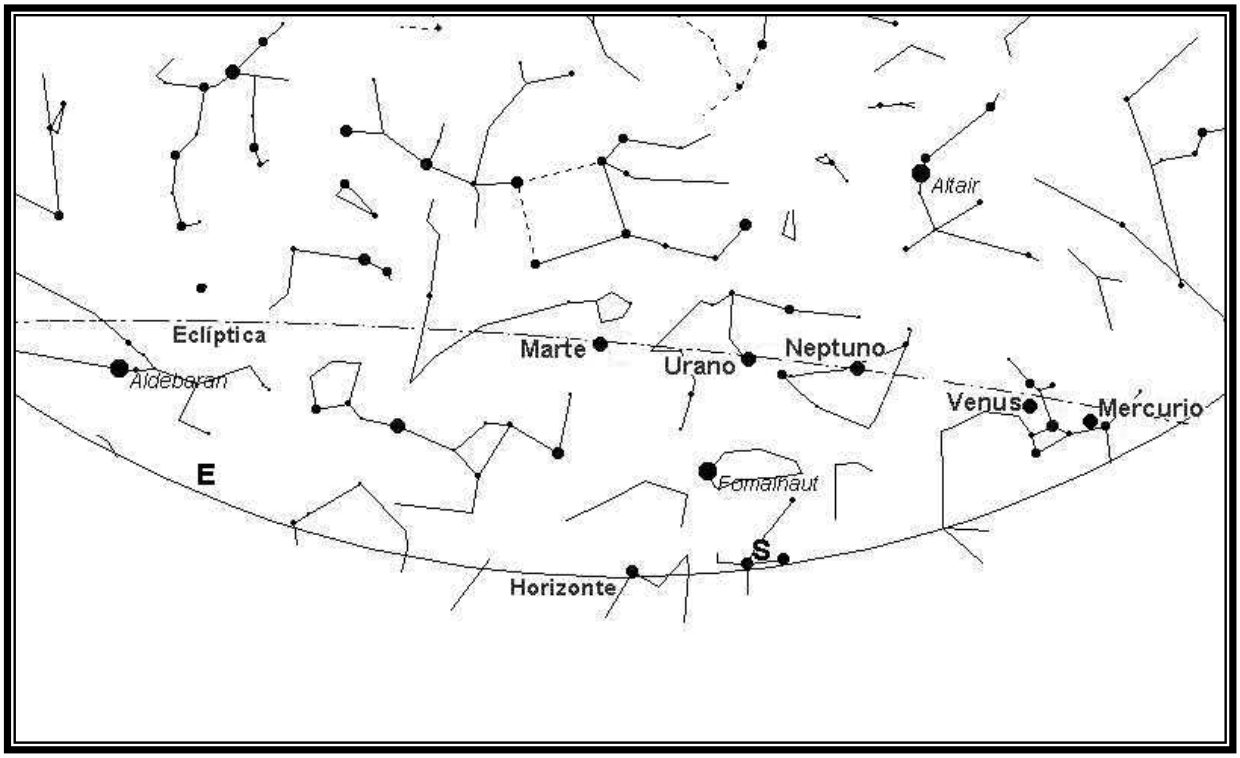
Los planetas visibles el día 9 de noviembre, al principio de la noche



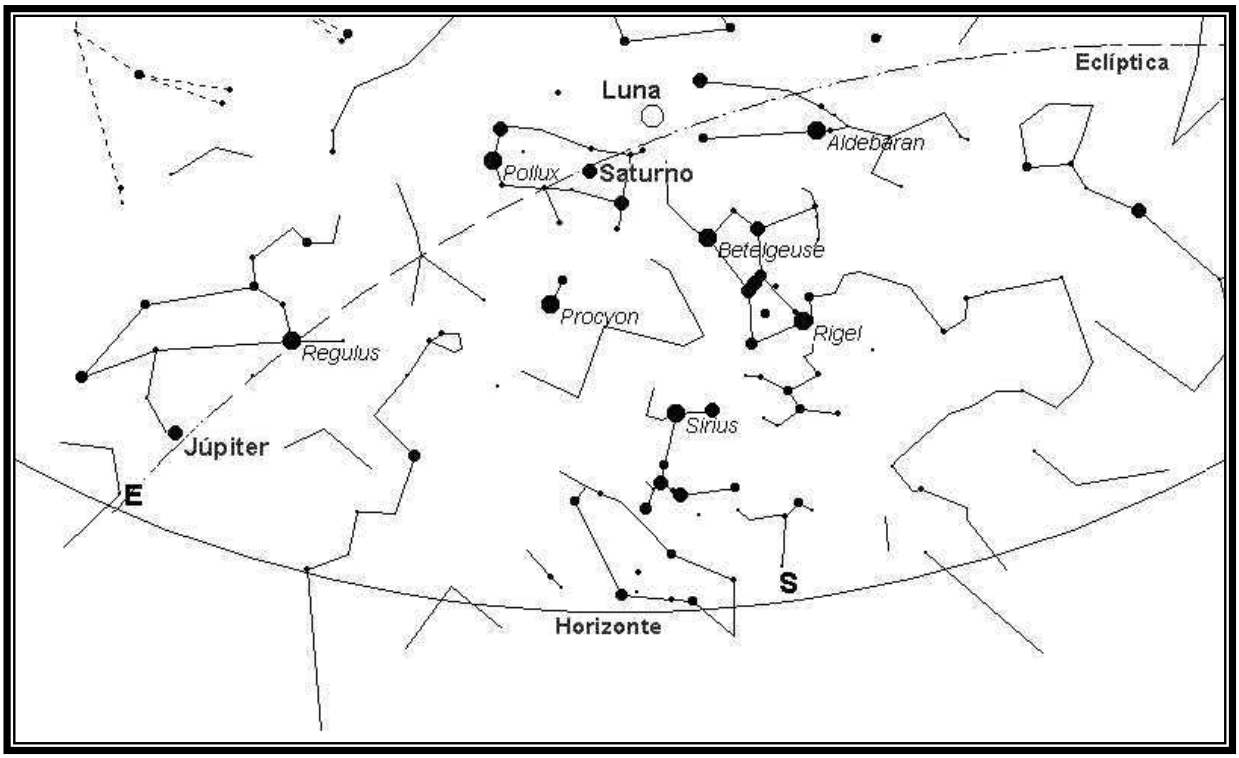
Los planetas visibles el 9 de noviembre, avanzada la madrugada



Los planetas visibles el día 9 de diciembre, al principio de la noche



Los planetas visibles el 9 de diciembre, avanzada la noche



EL PROBLEMA DE ROEMER

¿Cómo se calculó la velocidad de la luz en el año 1.676?

Rogelio Meléndez Tercero

En mis ratos de ocio suelo escribir artículos de divulgación científica, de un nivel muy elemental generalmente. Busco asuntos que tengan cierto "gancho" y que a la vez no requieran conocimientos especializados; pero a veces, al hurgar en temas en principio triviales, surgen artículos con la suficiente enjundia como para figurar en revistas especializadas, y LEO es una de ellas. Así me ocurrió al analizar la célebre medida de la velocidad de la luz efectuada por el astrónomo danés O. Roemer, en el año 1676.

En un libro de física de mi época de estudiante (de finales de los años 60), se habla del asunto, cometiendo algún error de bulto, como por ejemplo decir que Roemer estimó la velocidad de la luz en 300.000 km/s., cuando sabemos que el dato obtenido fue 225.000 km/s. Por lo demás se ofrece una versión coincidente con la de diversos libros y artículos de divulgación científica. Habla en concreto de unos 1000 segundos ,que justifican una velocidad de la luz de 300.000 km/s., ya que el diámetro de la órbita terrestre es de unos 300 millones de km.

Como es bien sabido Roemer (astrónomo danés) al observar los satélites galileanos se percató de que sus pasos por detrás de Júpiter parecían espaciarse a medida que la distancia Tierra-Júpiter se incrementaba. A partir de esta observación, y tras las oportunas medidas y cálculos, estimó la velocidad de la luz en 225.000 km/s.

Así lo cuenta Asimov ("Nueva Guía de la Ciencia"), el cual afirma que "observando la máxima discrepancia en las duraciones del eclipse, que según Römer representaba el tiempo que necesitaba la luz para atravesar el diámetro de la órbita terrestre, dicho astrónomo computó la velocidad de la luz". Por su parte S.W. Hawking ("Historia del tiempo"), señala que "Roemer notó que los eclipses de las lunas de Júpiter parecen ocurrir tanto más tarde cuanto más distantes de Júpiter estamos" y confirma los 225.000 km/s. como la velocidad calculada por Römer.

Por su parte F. Martín Asín ("Astronomía") indica que el astrónomo Römer encontró que el retraso en la percepción de los eclipses citados llegaba a ser de 22 minutos cuando el citado planeta se hallaba en su máximo alejamiento de la Tierra.

EL CALCULO DETALLADO

Actualmente cualquier astrónomo aficionado puede disponer de una enorme cantidad de datos referentes al tema (los que publican los anuarios por ejemplo), y por ello decidí analizar con detalle el asunto. Me he permitido, eso sí, algunas licencias, como por ejemplo considerar las órbitas de La Tierra y Júpiter circulares, y asimismo suponer que en un período de una hora la variación de la distancia entre ambos planetas es tan pequeña que resulta despreciable. Digo lo de una hora ya que aún en el caso de máximo alejamiento entre Júpiter y nosotros la luz recorrería esa distancia en menos de sesenta minutos. Asimismo he considerado que las órbitas de ambos planetas están contenidas en un mismo plano.

Por otra parte, el cálculo matemático lo he realizado mediante procedimientos sencillos (trigonometría básica). Un análisis matemático más complejo y sofisticado sería lo más correcto, pero ello me supondría reestudiar a fondo lo que hace muchos años aprendí sobre derivadas, máximos y mínimos de funciones, elipses ,etc., etc.

Creo no obstante que pese a las limitaciones señaladas el cálculo es además de simple (y por ello de fácil comprensión para los que no seamos expertos matemáticos), SUFICIENTE para mostrar básicamente que **hay algo que, (quizás) no encaja en la versión que habitualmente se da sobre los cálculos efectuados por Roemer.** Los cálculos que el astrónomo danés efectuó quizá no sean los que habitualmente se dice que hizo, aunque desde luego sí que fueron razonablemente correctos El resultado que obtuvo debe ser atribuido a que los datos de partida que utilizó, dada la época (año 1.676), no eran muy exactos.

Aunque después daré mas detalles sobre este asunto, mi planteamiento se basa en lo siguiente:

Resulta que para percibir realmente el desfase aludido (el equivalente al tiempo que la luz emplea en recorrer el diámetro de su órbita y que hoy día sabemos que ha de ser de 2 x 8,311 minutos) y de modo **sencillo y directo**, sería preciso que entre **dos eclipses consecutivos** nuestro planeta variase su posición respecto a Júpiter desde un mínimo a un máximo. Sin embargo para que esto ocurra han de

pasar varios meses, es decir, un tiempo muy superior a los algo más de 16 días que Calixto tarda en completar su periplo en torno a Júpiter. Si tomamos otro(s) satélite(s) de los Galileanos, o la duración de alguno de los eclipses de estos satélites, la cuestión es aún más extrema por evidentes razones.

Podemos argumentar que el retraso (o adelanto) entre la percepción en la Tierra de los sucesivos pasos del satélite por detrás de Júpiter, **se acumula** hasta llegar a unos 16 minutos en los momentos de máximo alejamiento de Júpiter con respecto a los de máximo acercamiento a la Tierra. Sin embargo esto no es lo que parece desprenderse de mis cálculos.

Lo que ocurre es que, en efecto, hoy sabemos que la luz llega a nosotros desde Júpiter en 34,864 minutos cuando está en su máxima proximidad, y por el contrario emplea 51,486 en los momentos de máximo alejamiento; de aquí salen los aproximadamente 16 minutos ya precitados. *Sin embargo, esto no podía saberlo Roemer, y tampoco parece claro que pueda comprobarse directamente a través de la observación de los sucesivos eclipses de los satélites de Júpiter*. Es una deducción que podría haberse hecho "a posteriori" y **tras haber deducido previamente la velocidad de la luz** y, lógicamente, las distancias máximas y mínimas de Júpiter respecto a nosotros.

Por otra parte y siempre según mis datos para conocer la velocidad de la luz (y de paso el período orbital de Calixto), no es preciso comparar los pasos del mismo en los momentos de máximo y mínimo acercamiento entre La Tierra y Júpiter. La comparación puede hacerse (yo la hice) entre otros momentos cualesquiera; aunque quizá los señalados (máximo y mínimo) sean los más adecuados por reducir al mínimo los errores relativos en la toma de medidas.

MI ENFOQUE DEL PROBLEMA

Para el cálculo he supuesto que el instante 0 es aquel en el cual Júpiter, La Tierra y el Sol están alineados y cuando la distancia Tierra-Júpiter es mínima. Además, supongo que en este instante 0 comienza el eclipse de Calixto debido a su paso por "detrás" del planeta. Este instante es **el paso 0**.

La situación de partida descrita será perceptible en La Tierra exactamente 34,864 minutos después es decir 0,024212 días después del instante 0. Obviamente Röemer en principio ignoraba este dato y lo único que podría haber hecho es anotar la hora en que lo percibió. Todo esto se ilustra en el CUADRO 1, que entiendo que no precisa más explicación.

	CUADRO 1		
Paso 0	Situacion	de	partida
Dis.S-Jup.UA	5,195		
Dis.S-Tier.UA	1		
Tiempo(días)	0	Nº de paso	0
Ang.Tier(º)	0	Ang.T (Rs)	0
Ang.Jupt.(º)	0	Ang. J (Rs)	0
Coor.Jupt.	Abscisa	Ordenada	
	5,195	0	
Coord.Tier.	Abscisa	Ordenada	
	1	0	
DISTANCIA	4,195		
T.(luz)mits.	34,864645		
T.(luz) dias	0,0242116		
T.lleg.real	0,0242116		

El paso inmediato posterior (ver CUADRO 2), es decir, el 1º tras el instante de partida, ocurre a los 16,69 días, pero para entonces Júpiter ya no se halla a una distancia mínima de La Tierra, sino a 4,237 UA por lo cual el fenómeno se percibirá en La Tierra a los 16,69 días **más el tiempo empleado por la luz en recorrer la distancia Tierra-Júpiter** correspondiente a este paso 1º; por ello la visión de este paso 1 º se efectuará en la Tierra a los 16,71446 días. Este sería el "tiempo de llegada real" que se anota en los datos correspondientes al paso 1 del CUADRO 2

Podemos ya obtener un primer dato sobre el intervalo de tiempo percibido desde La Tierra (intervalo VISTO, indicado en este cuadro 2) entre dos pasos consecutivos de Calixto, que será de 16,71446-0 ,024 212 = 16,69024 días. *Este si fue un dato que el astrónomo danés pudo conocer directamente y con sólo anotar con cuidado las horas en las que observó ambos pasos.*

Creo que en este CUADRO 2 el conjunto de datos señalados, así como la forma de obtenerlos, no necesitan mayor explicación para cualquier astrónomo aficionado. Hoy sabemos que el período orbital de Calixto es de 16,69 días, y conociendo el numero de paso obtenemos los ángulos barridos tanto por la Tierra (360º /año) como por Júpiter (360ª/ 11,8565 años). Con estos datos, y sabiendo las distancias medias de ambos planetas al Sol, deducimos sus coordenadas polares heliocéntricas, y de ellas la distancia Tierra-Júpiter.

CUADRO 2

Dis.S-Jup.UA	5,195			Dis.S-Jup.UA	5,195		
Dis.S-Tier.UA	1			Dis.S-Tier.UA	1		
Tiempo(días)	16,69	Nº de paso	1	Tiempo(días)	33,38	Nº de paso	2
Ang.Tier(º)	16,450103	Ang.T (Rs)	0,287	Ang.Tier(º)	32,900205	Ang.T (Rs)	0,5742169
Ang.Jupt.(º)	1,3874306	Ang. J (Rs)	0,024	Ang.Jupt.(º)	2,7748612	Ang. J (Rs)	0,0484305
Coor.Jupt.	Abscisa	Ordenada		Coor.Jupt.	Abscisa	Ordenada	
	5,193477	0,1257858			5,1889087	0,2514979	
Coord.Tier.	Abscisa	Ordenada		Coord.Tier.	Abscisa	Ordenada	
	0,9590667	0,2831802			0,8396179	0,5431775	
DISTANCIA	4,2373344			**DISTANCIA**	4,3590604	Desf.Acm.	0,6598229
T.(luz)mits.	35,216487			T.(luz)mits.	36,228151		
T.(luz) dias	0,0244559			T.(luz) dias	0,0251584		
T.lleg.real	16,714456			T.lleg.real	33,405158		
Incr.distan.	0,0423344						
Int. VISTO	16,690244			increm.dist.	0,121726		
				Int. VISTO	16,690703		
				Inc.ITERV.	0,65982292	minutos	

Ahora continuamos en el CUADRO 2 y observamos que el paso 2 se producirá a los (16,69 x 2) días, pero se percibirá en la tierra(t.lleg. real) a los 33,40516 días. Es en este paso 2 cuando ya podremos comprobar que los intervalos sucesivos de los eclipses de Calixto no son rigurosamente uniformes, y que a medida que aumenta la distancia de Júpiter a nosotros parecen hacerse cada vez mayores, ya que el "intervalo VISTO" es de 16,6907 días y el inmediato anterior fue de 16,69024. Se trata de incrementos muy pequeños y que sólo se pueden medir con garantías si se emplean cronómetros fiables. En concreto, y según se señala en el CUADRO 2, el "incremento de INTERVALO" es de 0,65982292 minutos. Hay, pues, un desfase de 0,65982292 minutos entre este intervalo y el anterior.

LA DISCREPANCIA

Vemos, pues, que con tres pasos consecutivos de Calixto tras Júpiter, ya observamos cómo los dos intervalos correspondientes no son iguales.

Podemos continuar con el cálculo de sucesivos pasos hasta que la distancia entre nosotros y Júpiter vuelve a ser mínima, y esto es lo que hice con la ayuda de una hoja de cálculo... pero ¿sorprendentemente? el **desfase acumulado** (**dato que sí pudo ir conociendo directamente Roemer)** no se acerca en modo alguno a los teóricos 16 minutos y pico que sería lo esperado. En realidad ¡no llega ni a 3 minutos! En el paso siguiente, es decir, el 3, a los 0,65982292 minutos del incremento de intervalo registrado en el paso anterior hay que añadirle 0,54127508, con lo que el "desfase acumulado" en el paso 3 será de 1,201098 minutos.

En el cuadro 3 se señala cómo varía este "desfase acumulado", con lo cual sobra todo comentario. Se reflejan además las fluctuaciones de una serie de magnitudes que sí pudo conocer Roemer con sólo observar el período orbital de Calixto.

CUADRO 3									
Nº paso	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
DISTANCIA	4,195	4,237334	4,35906	4,545914	4,778331	5,035258	5,296812	5,545622	5,767284
T.lleg. real	0,024212	16,71446	33,40516	50,09624	66,78758	83,47906	100,1706	116,862	133,5533
Int.Visto		16,69024	16,6907	16,69108	16,69134	16,69148	16,69151	16,69144	16,69128
Incr. Dist.		0,042334	0,121726	0,186854	0,232417	0,256927	0,261554	0,24881	0,221662
Desf.Acm.			0,659823	1,201098	1,579774	1,783482	1,821931	1,716018	1,4903938

CUADRO 3 (CONTINUACIÓN)									
Nº paso	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**
DISTANCIA	5.95.364	6,08624	6,168924	6,194928	6,163176	6,074983	5,934083	5,746717	5,521782
T.lleg. real	150,2443	166,9351	183,6256	200,3158	217,0056	233,6951	250,3842	267,0732	283,7619
Int.Visto	16,69106	16,69078	16,69048	16,69015	16,68982	16,68949	16,68919	16,68892	16,6887
Incr. Dist.	0,18308	0,135876	0,082684	0,026004	-0,03175	-0,08819	-0,1409	-0,18737	-0,22494
Desf.Acm.	1,169738	0,777421	0,335347	-0,13572	-0,61573	-1,08481	-1,52287	-1,909035	-2,22128

CUADRO 3 (CONTINUACIÓN)								
Nº paso	**18**	**19**	**20**	**21**	**22**	**23**	**24**	**25**
DISTANCIA	5,271003	5,009083	4,753676	4,524862	4,343688	4,229372	4,195427	4,246096
T.lleg. real	300,4504	317,1389	333,8274	350,5161	367,2051	383,8944	400,5842	417,2745
Int.Visto	16,68855	16,68849	16,68853	16,68868	16,68895	16,68934	16,6898	16,69029
Incr. Dist.	-0,25078	-0,26192	-0,25541	-0,22881	-0,18117	-0,11432	-0,03395	0,05067
Desf.Acm.	-2,43607	-2,52865	-2,47453	-2,25351	-1,85758	-1,30192	-0,63396	0,069275

El astrónomo danés podía intuir que tal período era de unos 16 días; por ello, aunque no pudiese contemplar uno a uno los sucesivos tránsitos del satélite, sí podía saber el número de orden de un paso cualquiera a partir de la fecha de observación; pero, insisto, lo que no aparece en el cuadro citado(nº 3) es el **desfase de unos 16 minutos** (o, si se quiere, los 22 que quizá presuntamente contabilizó) y que servirían para hallar la velocidad de la luz, dado que conocía aproximadamente el diámetro de la órbita terrestre. He buscado algún otro camino pero... no hay manera. Los aproximadamente 16 minutos que son, al parecer, "la clave del asunto", no aparecen observados -de modo directo- por parte alguna.

SOLUCION POR OTRO CAMINO

No obstante, a partir del cuadro 3 sí que es posible calcular la velocidad de la luz y, de paso, el período orbital de Calixto. El asunto es sencillo.

Tomemos dos pasos (no tienen que ser consecutivos) y de ellos anotamos dos datos concretos que sí pudo conocer perfectamente Roemer; los instantes de llegada, es decir, el dato señalado en el cuadro 3 (y en los 1 y 2), como "*Tiempo de llegada real* ". Si hallamos la diferencia en tiempo medido entre, por ejemplo, la llegada del eclipse 1 y el 3, obtendremos un intervalo de tiempo de (50,09624-16,71446) = 33,38178 días. Este intervalo de tiempo (I), será igual al **período orbital** del satélite (P), multiplicado por 2 y sumado todo ello al tiempo que la luz invierte en recorrer el **incremento** de la distancia (D) ocurrido entre el eclipse 1 y el 3 , es decir

$$I= 2P +(D/C)$$

Puesto que conocemos I y D nos quedan dos incógnitas por despejar, que son P y C, siendo C lógicamente la velocidad de la luz.

Ahora bien, una ecuación similar la podemos plantear tomando otro par de eclipses cualquiera, el 1 y 5 por ejemplo, y tendríamos que I (ahora le llamaremos Ia, ya que su valor será diferente al del caso anterior) será igual a 4P +(Da/C) .Lógicamente conocemos los valores de Ia y D, (Da, en esta caso y asimismo diferente al del ejemplo anterior).

En definitiva, podemos encontrarnos con numerosos sistemas de *dos ecuaciones con dos incógnitas que siempre serán C y P.*

Yo realicé la operación reiteradamente y, tomando como datos de partida diferentes pares de eclipses, los resultados obtenidos para C fueron siempre muy aproximados a la realidad, obteniendo valores que oscilan -generalmente- entre 290.000 y 310.000 km/s. Hay, no obstante, algún caso en el que obtuve resultados bastante alejados de la realidad (245.000 km/s). En el cuadro 4 se reflejan los resultados según el orden de los eclipses tomados para el cálculo.

Si la coincidencia (con el valor real de C) no fue mayor, es debido a que, como dije, hice un planteamiento del problema simplificado, despreciando una serie de detalles que en realidad sí existen. En todo caso, los resultados que obtuve fueren siempre mucho más ajustados que los de Roemer, y ello

hay que atribuirlo a que mis datos de partida (recogidos de los anuarios y otras publicaciones) son muchísimo más exactos que los que Roemer pudo lograr a base de sus propias medidas, empleando cronómetros que quizá dejaban bastante que desear. Obviamente no quiero con ello restar importancia al descubrimiento del astrónomo danés, sino, al contrario, poner de manifiesto las enormes ventajas con que hoy contamos para hacer unos cálculos similares a los que él hizo hace siglos. Por otra parte, el hecho de que aún con datos de partida " buenos" salgan en algún caso resultados bastante alejados de la realidad, es una forma de justificar el dato de los 225.000 Km/s de Roemer.

CUADRO 4	
Pasos comparados	**V.de la luz (Km/s)**
1-0 y 7-0	298,862
1-0 y 0-12	296,646
1-0 y 9-0	304,445
11-12 y 14-20	288,180
3-7 y 1-3	301,075
2-4 y 1-7	312,126
14-18 y 16-24	245,963
14-18 y 20-24	284,500
22-25 y 18-21	292,131
15-16 y 18-21	332,253
2-9 y 15-22	298,935
4-6 y 6-8	303,293

LA PREGUNTA

En definitiva, volviendo a lo que anteriormente manifesté; según mis cálculos, la resolución del "problema de Roemer" no se efectuó según habitualmente se da a entender, y aquí esta el "quid de la cuestión". Claro que también puede ser que haya algún modo más de abordar el caso, y que según ése o ésos modos sí se pueda contabilizar un desfase de unos 16 minutos comparando las posiciones de máxima y mínima distancia entre la tierra y Júpiter, **ANTES** de obtener el valor de C. En este caso resultaría lógica y comprensible la versión ampliamente conocida del asunto.

Otra posibilidad es que Roemer en efecto hiciese los cálculos como yo, y obtuviese (comprensiblemente como he dicho) el resultado de 225.000 km/s.; pero la Historia no ha contado en detalle lo que realmente sucedió.

Para aclarar, pues, el asunto he decidido publicar este artículo en LEO, ya que supongo que entre sus lectores habituales habrá alguien con mejores conocimientos matemáticos y astronómicos que yo que pueda aclarar el tema.

A la redacción de LEO, he remitido, además del texto y cuadros de datos en papel, la hoja de cálculo completa (Lotus1-2-3) que utilicé en mis cálculos por si alguno de los lectores quiere revisarlos.

DISTANCIAS A LAS ESTRELLAS

José María Pérez

En 1838, el astrónomo alemán Bessel, anunció que había calculado la distancia a la estrella 61 del Cisne, una estrella de magnitud 5,2 cuya principal relevancia es la de tener un movimiento propio en el cielo de cuantía importante. Estimó dicha distancia en unos 11,4 años luz, valor muy próximo al aceptado actualmente, que es de 11,1 años luz. Se abría con ello el camino para la determinación del tamaño de la Vía Láctea, nuestra ciudad estelar.

Desde bastante antes, los astrónomos elucubraban sobre las distancias a las estrellas. Una vez aceptada la teoría heliocéntrica del sistema solar, pensaron que observando el cielo desde dos posiciones diametralmente opuestas de la órbita de la Tierra, distantes entre sí nada menos que unos 300 millones de kilómetros, las estrellas más próximas mostrarían los efectos de la paralaje, es decir, pequeñas diferencias aparentes de posición en el cielo, de la misma forma que la Luna o los planetas más cercanos, Marte y Venus, cambiaban levemente de posición aparente al observarlos desde dos lugares distintos de la superficie terrestre.

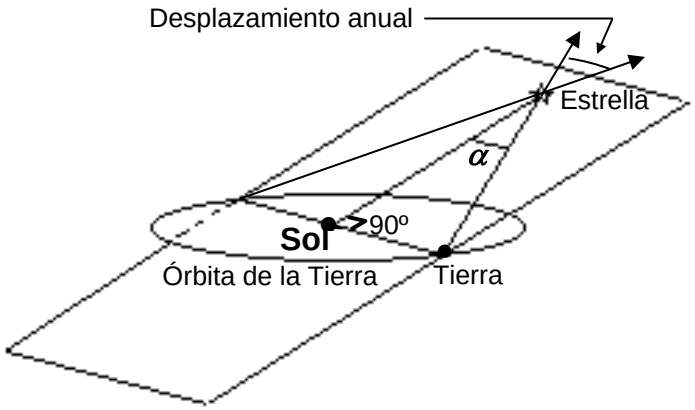
Suponían los astrónomos de la época que las estrellas más próximas serían generalmente las más brillantes o las que mostraran un movimiento propio destacado. La historia ha demostrado que no andaban descaminados, en líneas generales.

Pero durante todo el siglo XVIII, a pesar de disponer ya de telescopios muy perfeccionados respecto de los que emplearon Galileo y sus contemporáneos del siglo anterior, nadie fue capaz de observar en ninguna estrella paralajes debidas al movimiento de traslación de la Tierra.

Como muchas veces sucede en la historia de las Ciencias, la búsqueda de las paralajes estelares no obtuvo resultados inmediatos, pero sirvió para descubrir fenómenos insospechados. Así, por ejemplo, el astrónomo inglés Bradley, en 1725, descubrió la *aberración de la luz*, que consiste en que todas las estrellas describen aparentemente en el cielo una pequeña elipse de unos 20" de eje mayor y cuyo eje menor depende de la posición de la estrella respecto del plano de la eclíptica. También se confirmó que muchas estrellas mostraban pequeños desplazamientos rectilíneos en la misma dirección que se acumulaban año tras año (los hoy llamados *movimientos propios*) y que, en algunos casos, podrían dar lugar, al cabo de mucho tiempo, a cambios perceptibles de posición incluso a simple vista. Esto confería veracidad a los estudios de Edmund Halley, quien, comparando posiciones estelares atribuidas a los astrónomos griegos de la antigüedad con las de su época, afirmó en 1718 que al menos tres estrellas brillantes, Sirio, Procyon y Arcturo, habían cambiado ostensiblemente de posición en el cielo.

Otro resultado inesperado de la búsqueda, durante el siglo XVIII, de paralajes estelares fue el descubrimiento por Herschel de las estrellas binarias, estrellas ligadas por la atracción gravitatoria mutua y que giran en torno al centro de gravedad del sistema. Este descubrimiento se debió a que Herschel imaginó que los pequeños desplazamientos previsiblemente debidos a los efecto de la paralaje se manifestarían más claramente en el caso de una estrella aparentemente muy próxima a otra. Si se diera la circunstancia probable de que, estando las dos estrellas casi en la misma dirección visual, una estuviera mucho más cerca que la otra, la paralaje de la más cercana se haría ostensible por un cambio de posición apreciable respecto de la más lejana. Herschel observó, en efecto, cambios de posición en muchos casos, pero comprendió en seguida que se debían a que la estrella menos brillante (secundaria) giraba aparentemente en torno a la más brillante o principal. A lo largo de su vida, Herschel descubrió unas 800 estrellas binarias. Unos cincuenta años más tarde, Bessel, analizando el aparente movimiento sinuoso de Sirio, predijo que esta estrella forzosamente debía de tener una compañera invisible relativamente próxima y que Sirio giraba en torno al centro de gravedad del sistema. Esta predicción se confirmó en 1862, cuando Alvan Graham Clark, astrónomo americano, detectó la estrella "invisible", la hoy famosa enana blanca Sirius B.

Pero, finalmente, los esfuerzos combinados de los astrónomos de todo el mundo se vieron compensados con el hallazgo de las primeras distancias estelares. El primer resultado positivo lo obtuvo, como queda dicho al principio, Bessel, quien estimó en 11 años luz la distancia a la estrella 61 del Cisne. Un año más tarde, el astrónomo inglés Henderson anunció que la estrella Alfa Centauri estaba, según sus cálculos, a unos 3 años luz de la Tierra (la distancia admitida actualmente como más probable es 4,3 años luz). Y en 1840, Struve hizo públicos sus resultados sobre la distancia a la estrella Vega (Alfa Lyrae), que la situaban a unos 25 años luz de nosotros (27 años luz, según los datos actuales). A partir de entonces, y sobre todo cuando la fotografía hizo su aparición y empezó a aplicarse a la observación astronómica, los éxitos se multiplicaron. La última contribución al cálculo de distancias estelares mediante la determinación directa de paralajes se debe al satélite Hipparco, lanzado hace escasos años.



El procedimiento que se sigue para calcular la distancia a una estrella es el que se indica en la figura adjunta. Se elige una estrella que se suponga relativamente próxima porque tenga un movimiento propio por encima de la media o por otras cicunstancias. Se determina cuál es el diámetro de la órbita de la Tierra perpendicular a la recta que une la estrella con el Sol (véase la figura adjunta) y, estando la Tierra en cada uno de los extremos de ese diámetro, se obtienen sendas fotografías de la estrella elegida y su entorno. Comparando las dos imágenes, se mide el desplazamiento de la estrella elegida respecto de las más débiles del campo y que no presenten movimientos propios perceptibles. Se supone que estas estrellas están infinitamente más lejos que la elegida, de modo que el desplazamiento de ésta respecto de aquéllas es prácticamente igual a su desplazamiento absoluto en el cielo debido al movimiento de traslación de la Tierra. El resto se resuelve con una sencilla regla de tres. En efecto, el ángulo α, que tiene su vértice en la estrella elegida y cuyo valor es la mitad del desplazamiento anual de la estrella, es siempre extraordinariamente pequeño y las distancias de la estrella al Sol y a la Tierra son prácticamente iguales, de modo que se puede imaginar que hay una circunferencia con centro en la estrella y que pasa por el Sol y la Tierra. La longitud L de esta circunferencia se calcula sabiendo que el arco cuya medida es α tiene una longitud de 150 millones de kilómetros. Como la circunferencia completa tiene 360º, se tiene:

α ------- 150 millones de km
360 ---------- L

de donde:

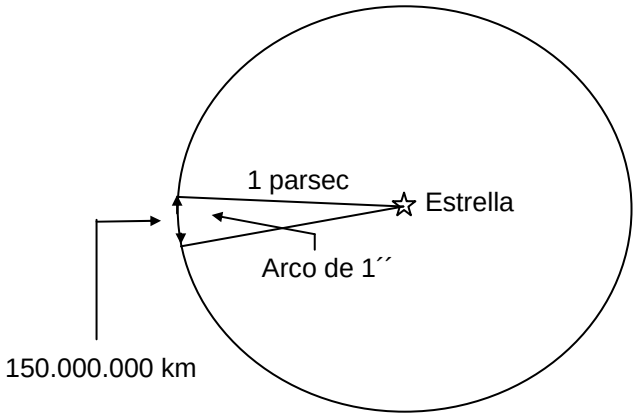
$$L = 360 \times 150 : \alpha \text{ millones de km}$$

Y entonces, el radio de esta circunferencia, es decir, la distancia d a la que se encuentra la estrella es:

$$d = L : 2\pi \text{ millones de km} = 360 \times 150 : 2\pi\alpha$$

Por supuesto, en esta fórmula, o bien se expresa α en grados, o bien se convierten los 360º en minutos o en segundos.

Realmente, los astrónomos no suelen expresar las distancias a las estrellas en unidades de longitud, sino indicando el valor del ángulo α, que recibe el nombre de *paralaje anua*. Para las estrellas 61 del Cisne, Alfa Centauri y Vega, esos ángulos miden, respectivamente, 0,292, 0,751 y 0,123 segundos de arco, lo que da idea de la dificultad de detectarlos. Téngase en cuenta que, por ejemplo, el tamaño aparente de la imagen de Marte en la reciente oposición fue de 25,2 segundos de arco, es decir, unas 33 veces más grande que la mayor de esas paralajes. Hay que utilizar telescopios de gran distancia focal para que la escala de las fotografías sea suficientemente grande.



La enormidad de las distancias obtenidas, muchísimo mayores que las existentes entre los cuerpos del sistema solar, hizo necesarias nuevas unidades de medida, distintas de las empleadas hasta entonces. Fue entonces cuando se ideó el año luz, que ilustra de modo muy adecuado para el común de las gentes la lejanía a la que se encuentran las estrellas. Pero entre los astrónomos comenzó a utilizarse pronto otra unidad: la distancia a la que se encuentra una estrella cuya paralaje anua sea de 1 segundo de arco. A esta unidad se le dio el nombre de *parsec* (apócope de *par*alaje y *sec*ond). Es fácil ver que equivale a unos 3,26 años luz. En efecto (véase la figura), para que un arco de 1´´ de una circunferencia mida 150 millones de kilómetros, la longitud total de esa circunferencia, que tiene 360º, es decir, 360×60×60=1.296.000 segundos, tiene que ser de 194.400.000 millones de kilómetros, y su radio medirá 30.940.000 millones de kilómetros. Esta es, pues, la equivalencia en kilómetros de un parsec. Por otra parte, como un año tiene 365,25×24×60×60 segundos y la luz recorre en un segundo 0,3 millones de kilómetros, un año luz equivale a 9.467.000 millones de kilómetros. Y entonces:

$$\frac{1\ \text{parsec}}{1\ \text{año luz}} = \frac{30.940.000}{9.467.000} = 3{,}26...$$

A pesar de la incesante mejora de los instrumentos astronómicos y de los métodos de observación, el cálculo de distancias estelares mediante la determinación directa de las paralajes no da mucho de sí. Antes del lanzamiento del satélite Hipparco, sólo unas 2.000 estrellas (hasta una distancia máxima de unos 25 parsecs) tenían paralajes conocidas con un cierto grado de fiabilidad. Y aunque los datos recopilados por el Hipparco han multiplicado por 50 las paralajes estelares fiables, nada nos dicen por sí solos del tamaño, no ya del universo, sino incluso de nuestra galaxia.

¿De qué otros métodos se valen los astrónomos para extender su conocimiento de las distancias a las regiones más lejanas de la Vía Láctea o a otras galaxias? Son muchos y muy variados, pero en este artículo es imposible referirse a ellos, porque lo alargaría excesivamente.

Además, para comprender el proceso, antes es necesario tratar de otra cuestión importante: conforme se iban conociendo las distancias a las estrellas relativamente próximas, los astrónomos comenzaron a preguntarse por la relación entre sus luminosidades intrínsecas. Hasta entonces, de las estrellas se conocían sólo las magnitudes aparentes, pero era aventurado hacer conjeturas sobre sus verdaderas luminosidades, que con toda seguridad estaban enmascaradas por las distancias, de la misma forma que dos lámparas de 100 watios (la misma luminosidad intrínseca) no brillan lo mismo si están situadas a distinta distancia del observador o una lámpara de 100 watios y otra de 25 pueden brillar lo mismo si las distancias a las que se encuentran son diferentes. Repasemos brevemente el proceso histórico que condujo a calcular las luminosidades intrínsecas de las estrellas.

Se cree que fue Hipparco, en el siglo II a.C., el primero que confeccionó un catálogo con unas cuantas estrellas clasificadas por su brillo aparente. En ese catálogo se señalan las estrellas más brillantes como de primera magnitud, luego hay otro grupo de estrellas de segunda magnitud, y así sucesivamente, hasta llegar a un último grupo, constituido por estrellas apenas perceptibles a simple vista, a las que se asigna sexta magnitud.

A mediados del siglo XIX, el astrónomo alemán Argelander lleva a cabo la importante tarea de establecer una escala más precisa de magnitudes. Utilizando los primeros fotómetros aplicables a la observación telescópica, comprueba que, por término medio, las estrellas del catálogo de Hipparco de una determinada magnitud son dos veces y media más brillantes que las de la magnitud inmediata superior (las de primera magnitud, 2,5 veces más brillantes que las de magnitud 2; éstas, 2,5 veces más brillantes que las de magnitud 3, etc) y, en consecuencia, que las estrellas que se venían considerando de primera magnitud deben ser $2{,}5^5$ más brillantes, por término medio, que las que se clasificaban como de magnitud 6. Pero se da la circunstancia de que $2{,}5^5 \cong 97{,}7$ (casi 100) y Argelander, para simplificar, decide que en su escala de magnitudes una estrella de una magnitud no será "aproximadamente" 2,5 veces más brillante que otra de la magnitud superior en una unidad, sino "exactamente" $\sqrt[5]{100} \cong 2{,}512$, porque así las estrellas de magnitud 1 serán exactamente 100 veces más brillantes que las de magnitud 6. Por supuesto, esta escala de magnitudes admitía que las estrellas pudieran tener magnitudes no enteras: 2,7; 3,25; 1,36; etc

Para completar la definición de esta escala de magnitudes, había que elegir de entre todas las estrellas brillantes, una a la que correspondería exactamente la magnitud 1. En principio, Argelander eligió con este fin a Aldebarán. Entonces, las estrellas más brillantes que Aldebarán pasaron a tener magnitudes inferiores: 0, -1, -2,...e intermedias. Y a las estrellas no visibles a simple vista se les asignaron magnitudes 7, 8, 9,... y todas las intermedias.

Sin embargo, posteriormente se convino en que la magnitud exacta 1 no se asociara a ninguna estrella concreta, estableciéndose el origen de magnitudes de forma parecida a como se definen hoy los patrones metro o kilogramo. De esta forma, a Aldebarán se le asigna hoy la magnitud 0,78 y la magnitud de Sirio, la estrella más brillante del cielo, es -1,42.

¿Qué relación hay entre los brillos de dos estrellas de magnitudes m y m', es decir, cuántas veces más o menos brillante es una que la otra? La fórmula es sencilla: si se llama b al brillo de la estrella de magnitud m y b' al brillo de la estrella de magnitud m', resulta que:

$$b = b' \bullet 2{,}512^{m' - m}$$

Por ejemplo, si m = 1 y m´ = 6, se tiene que:

$$b = b' \bullet 2{,}512^{(6-1)} = b' \bullet 2{,}512^5 = b' \bullet 100$$

Un fotómetro estelar acoplado a un telescopio, lo que calcula es cuántas veces más brillante (o menos brillante) es una estrella de referencia (de magnitud conocida m) que otra cuya magnitud (m') se desconoce. Para averiguar esta magnitud con la fórmula anterior, hay que escribirla así:

$$\frac{b}{b'} = 2{,}512^{m' - m}$$

o, mejor todavía, utilizando las propiedades de los logaritmos decimales:

$$\log b - \log b' = (m' - m) \bullet \log 2{,}512 = (m' - m) \bullet \log \sqrt[5]{100} =$$

$$= (m' - m) \bullet \frac{\log 100}{5} = (m' - m) \bullet \frac{2}{5}$$

de donde:

$$m' = m + \frac{5}{2} \bullet (\log b - \log b')$$

Un fotómetro moderno para observación telescópica lo que suele medir cuando se apunta a una estrella es el número de fotones que inciden en su fotorreceptor por unidad de tiempo. Si una estrella es el doble de brillante que otra, de la primera se recibe doble número de fotones que de la otra por unidad de tiempo; si es triple, triple, etc. Estos números de fotones se toman como b y b'.

Los brillos de las estrellas están sometidos a las mismas leyes que los brillos de los focos luminosos que utilizamos para iluminar nuestras casas o las calles. Por ejemplo, de dos focos luminosos de igual luminosidad, se verá más brillante el que esté más cercano. Podemos precisar más y afirmar que si la distancia al primero es el doble que la distancia al segundo, este brillará 4 veces (2^2 veces) más que el otro; y si la relación de distancias es el triple, el segundo brillará 9 veces (3^2 veces) más que el primero, y así sucesivamente. Es decir, la relación de brillos aparentes es el inverso del cuadrado de la relación de distancias:

$$\frac{b}{b'} = \frac{d'^2}{d^2}$$

Lo mismo sucede con las estrellas. Así, si dos estrellas de la misma luminosidad están a distancias d y d' de nosotros, sus brillos aparentes se relacionan por la misma fórmula anterior. Pero, como a su vez

$$\frac{b}{b'} = 2{,}512^{m' - m}$$

resulta que:

$$\frac{d'^2}{d^2} = 2{,}512^{m' - m}$$

de donde:

$$2 \log d' - 2 \log d = \frac{2}{5} \bullet (m'-m), \text{ o mejor: } m' = m + 5 (\log d' - \log d)$$

Esta fórmula relaciona las magnitudes aparentes de dos estrellas de la misma luminosidad intrínseca situadas a dos distancias distintas y también las magnitudes aparentes que tendría una misma estrella si pudiéramos situarnos a dos distancias distintas de ella. Pues bien, imaginemos que una estrella situada a distancia d de nosotros y que vemos con una magnitud m (magnitud aparente) la pudiéramos trasladar a una distancia d' = 10 parsecs. La veríamos con otra magnitud distinta. Pues bien, la magnitud que tendría esa estrella o cualquier otra a la distancia fija de referencia de 10 parsecs se llama *magnitud absoluta* y suele designarse por M. Entonces: M = m + 5 (log 10 – log d). O sea:

$$\boxed{M = m + 5 - 5 \log d}$$

Esta es una importante fórmula que relaciona la magnitud aparente de una estrella (m) con su magnitud absoluta (M) y la distancia a la que se encuentra medida en parsecs. Para una persona poco ducha en los razonamientos matemáticos, lo importante es que esta fórmula existe, al margen de si se entiende o no el proceso que conduce hasta ella. Y como la magnitud aparente es sencilla de obtener con el fotómetro, si se averigua de alguna manera la distancia, mediante esta fórmula se puede calcular la magnitud absoluta. Pero también, en el supuesto de que se pueda averiguar la magnitud absoluta por alguna circunstancia, se podrá calcular la distancia a la que está la estrella.

La segunda reflexión es mucho más importante que la primera, por cuanto hay variados casos en que es posible determinar la magnitud absoluta de una estrella por procedimientos indirectos. Conocida ésta y la magnitud aparente, la fórmula anterior permite calcular la distancia. De eso trataré en próximos artículos.

Bibliografía:

Comas Solá. Astronomía. Ed. Ramón Sopena. Barcelona, 1939
Rudaux y Vaucouleurs. Astronomía. Ed. Labor. Barcelona, 1966
Norton, Arthur P. Norton´s Star Atlas. Sky Publishing Co. Cambridge, Mass, EE.UU., 1973
Minnaert. Practical work in Astronomy. Reidel Publishing Co. Dordrecht, Holland, 1969
Asimov. El Universo. Alianza Editorial. Madrid, 1973
Perriman, Michael. Hipparco: The Stars in three dimensions. Sky and Telescope, junio 1999

SOBRE LA REPRESENTACIÓN DE LA SUPERFICIE DE LA TIERRA

Saúl Blanco (sblanza@yahoo.es)

Aunque no es un tema estrictamente astronómico, este breve artículo pretende comentar algunos aspectos de la cartografía de nuestro planeta que acostumbramos a manejar. No en vano, Astronomía y Geografía son dos Ciencias que se han desarrollado a la par, y por otra parte el conocimiento preciso que tenemos actualmente sobre la geografía terrestre se debe en gran medida a los avances en Cosmografía y Astronáutica.

Tras las demostraciones empíricas de los últimos siglos, parece claro que la Tierra es un planeta esférico; en realidad se trata de un "geoide" (un esferoide achatado por los polos debido a la fuerza centrífuga que provoca el movimiento de rotación). A pesar de estas y otras irregularidades, no se comete un error excesivo si convenimos en tratar a la Tierra como una esfera. La esfera forma parte de un conjunto de cuerpos geométricos que no son desarrollables en el plano, y ésta ha sido la gran complicación a la que se han enfrentado históricamente los cartógrafos. Por razones obvias, es mucho más práctico disponer de un mapa (o una serie de mapas) planos que recurrir a representaciones esféricas a escala. Uno de las técnicas para representar un cuerpo tridimensional en un plano es el procedimiento conocido como proyección. Por ejemplo, nuestra sombra en una pared es la proyección de nuestro cuerpo en una superficie. En una proyección se establece una correspondencia entre cada punto en el cuerpo proyectado y en la proyección. Las rectas que unen entre sí estos puntos convergen en otro punto llamado foco. En el ejemplo de la sombra; el foco es la fuente de luz. Las posiciones relativas del foco, el cuerpo proyectado y la superficie de proyección determinan la forma de la proyección y la manera en que ésta se ajusta a las proporciones del cuerpo proyectado.

La cartografía se basa en la proyección de la superficie terrestre en un plano o en un cuerpo desarrollable en un plano, tomando generalmente como foco el centro de la Tierra. Partiendo de esta base, se han desarrollado multitud de métodos de proyección, algunos extremadamente complejos, que buscan la mayor fidelidad posible en la representación, según la escala necesaria. Sin embargo, los dos métodos más usuales son la proyección cilíndrica y la cónica, que, como su nombre indica, utilizan como superficie de proyección la superficie de un cilindro y un cono, respectivamente, cuerpos que sí son desarrollables en el plano. La proyección cónica suele ser la empleada a la hora de representar regiones del planeta relativamente pequeñas, como países o regiones continentales. La proyección cilíndrica (en concreto la proyección Mercator), sin embargo, es habitual en representaciones de toda la superficie terrestre o "mapamundis".

Si uno consulta un libro de texto cualquiera sobre geografía o historia es muy probable que encuentre varios mapamundis similares al representado en la figura 1. Por una serie de razones históricas ésta es la

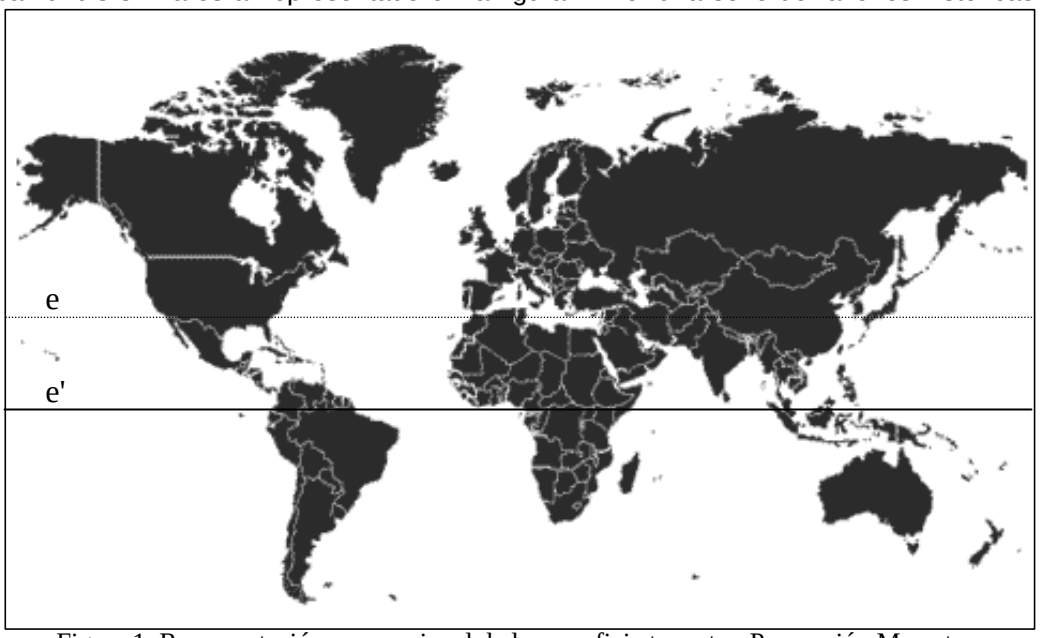


Figura 1. Representación convencional de la superficie terrestre. Proyección Mercator.

representación "convencional" de la Tierra, representación que se ha difundido y generalizado de tal forma en el mundo moderno que hoy todos la aceptamos como la correcta. Si solicitamos a un escolar que trace el ecuador en este mapa, probablemente trazaría una recta similar a la recta "e", dado que, como todo el mundo sabe, el ecuador es una línea que equidista de ambos polos. En realidad, el ecuador en este mapa se corresponde con la recta **e'**, que pasa, como es bien sabido, por el país latinoamericano homónimo, por el Golfo de Guinea y por la isla de Borneo; es decir, ocuparía una posición próxima al Trópico de Capricornio respecto al falso ecuador "e". Nótese, por cierto, la inmejorable posición geoestratégica en que se deja a Europa y en concreto a la Península Ibérica en este tipo de mapas: casi en el centro del mundo. Y es que, adicionalmente, los mapamundis suelen estar centrados en el meridiano de Greenwich, de forma que Europa quede igualmente bien situada en sentido este-oeste. No es raro, sin embargo, encontrar mapamundis editados en extremo oriente u Oceanía en los que el meridiano central es el 180º, de forma que en el centro del mapa aparece la gran extensión oceánica del Pacífico flanqueada a ambos lados por las masas continentales de América y Eurasia y África.

Otra de las características de este tipo de mapas es la exagerada proporción con la que representan las regiones norteñas. En efecto, al tratarse de una proyección sobre un cilindro tangente al ecuador, y debido a la curvatura de la Tierra, cuanto más alejada se encuentre la superficie de proyección respecto al cuerpo a proyectar (lo que ocurre para zonas de elevadas latitudes), tanto mayor será esta deformación. En la analogía de la sombra sería equivalente a alejar de nosotros la pantalla de proyección: los objetos parecen mayores. En la figura 2 se representa la proyección de las regiones terrestres a y b, de igual área, sobre la superficie cilíndrica p. Debido a su mayor latitud, la región a' aparecerá mucho más grande (y deformada en sentido norte-sur) en el mapa que b'. Véase así el tamaño que adquieren los países septentrionales en el mapa de la figura 1. Alaska, Canadá, Escandinavia y Siberia aparecen mucho mayores, relativamente, que los que son en realidad. África es catorce veces mayor que Groenlandia, y sin embargo parecen casi iguales en el mapa.

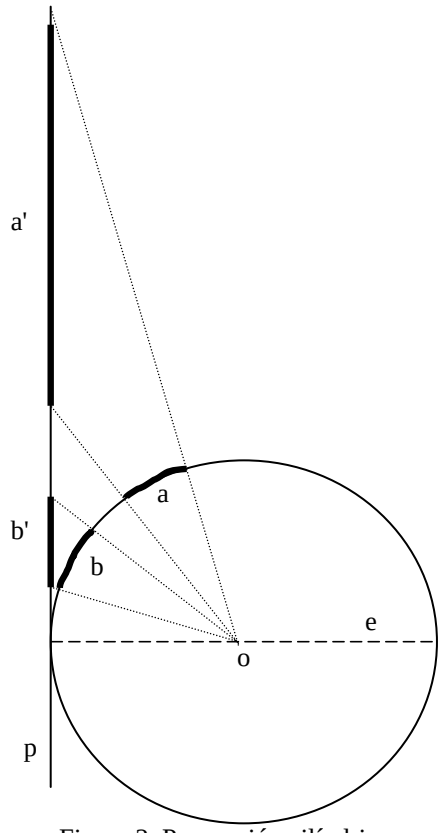


Figura 2. Proyección cilíndrica

En este tipo de mapas se refuerza, consciente o inconscientemente, el peso político de los países del primer mundo sobre el resto, permitiendo que hayan sido criterios de índole política o ideológica los preponderantes a la hora de elaborar la cartografía de uso común en todo el mundo. No en vano, la proyección Mercator ha sido acusada de fomentar una visión colonialista del mundo. Debido a estos problemas, han ido surgiendo otros sistemas de proyección alternativos que, si bien son más complejos, pretenden reflejar de manera más fidedigna la realidad de la superficie terrestre. Uno de las más populares es la proyección Peters, creada por Arno Peters en 1974[1]. La figura 3 representa un mapamundi realizado con este tipo de proyección. Este mapa, en principio tan extraño respecto a lo que estamos acostumbrados a ver, se ajusta más a la realidad en cuanto a la equivalencia de superficies. La proyección de Peters es una proyección "equiárea", es decir, las superficies representadas en el mapa se corresponden de forma proporcional y constante con las superficies reales. Esto se consigue mediante un complejo conjunto de ecuaciones cuyo efecto final consiste básicamente en "estirar" longitudinalmente las regiones ecuatoriales y transversalmente las más septentrionales y meridionales. Esta distorsión en la forma es inevitable si se quiere conseguir la equivalencia de áreas. Además, el ecuador sí se corresponde con la línea central del mapa. Obsérvese en la figura 3 el inusual aspecto que adquieren regiones como África o América del Sur, que aparecen con sus proporciones equivalentes respecto de otras zonas como Europa o América del Norte. Esta representación nos permite comparar de manera directa la superficie de diferentes países y, en definitiva, hacernos una idea más exacta de la realidad de nuestro planeta. A pesar de haber recibido continuas críticas prácticamente desde su invención, lo cierto es que la proyección Peters es el sistema de proyección adoptado oficialmente por numerosas organizaciones de todo el mundo, sobre todo por aquellas interesadas en aspectos sociales o demográficos, que pretenden de huir del convencional "eurocentrismo" de la proyección Mercator. A lo largo del último siglo, no obstante, han surgido otras soluciones de compromiso entre la tendencia a deformar la forma (Peters) y la superficie (Mercator), como la proyección Van der Grinten o la proyección Robinson, que es, desde 1988, el sistema de proyección oficial de la Sociedad Geográfica Nacional de Estados Unidos.

[1] Este sistema ya había sido creado por James Gall en 1855, sin embargo pasó desapercibido para la comunidad internacional hasta que fue "reinventado" por Peters.

Partiendo de la base de que no es posible una representación "exacta" de la superficie de la Tierra, lo cierto es que la proyección Mercator, si bien es útil en aplicaciones náuticas a pequeña escala (de hecho éste es su origen), no puede ser considerada por más tiempo como una representación adecuada para los mapamundis. A pesar de ello costará aún mucho tiempo desterrar este tipo de mapas del sistema educativo y, sobre todo, de nuestra visión tradicional del mundo.

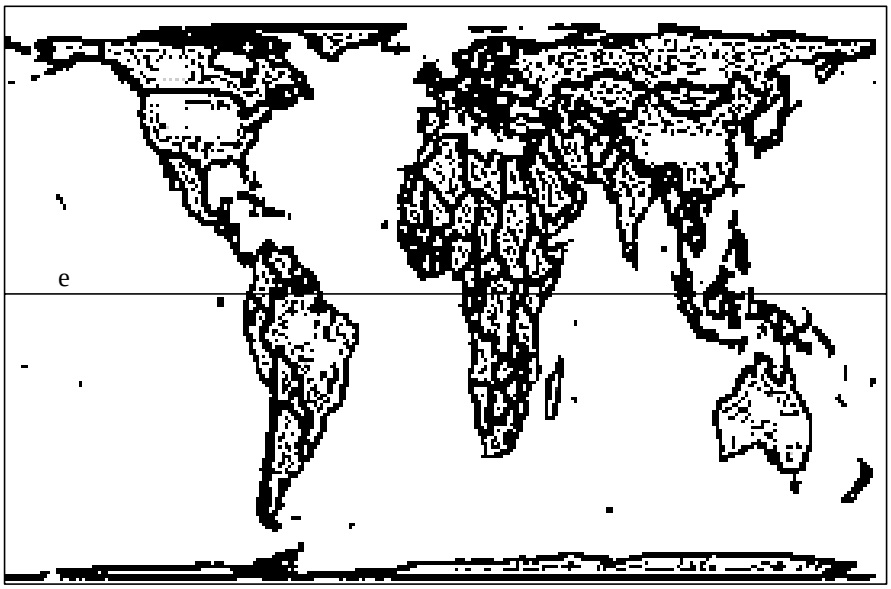


Figura 3. Mapamundi. Proyección Peters

Hay cosas más importantes que el dinero

Tu confianza hace posible estas acciones

www.cajaespana.es

Caja España
OBRA SOCIAL

Alta rentabilidad social