

## La velocidad de la luz. Galileo, Roemer y las Lunas de Júpiter (°)

**Resumen.** Se discute el tema de la medición de la velocidad de la luz a partir de Galileo Galilei y Olaf Roemer. El telescopio y las cuatro lunas de Júpiter sirven de enlace entre ambos personajes.

### 1- Galileo y la medición de la velocidad de la luz. Propuesta de un experimento.

En el año de 1638, Galileo Galilei (1564-1642) publica su obra máxima sobre el tema del movimiento que había anunciado desde 1610 cuando inició las negociaciones definitivas para pasar del servicio de la República de Venecia, a la que había servido por unos dieciocho años -desde 1592 a 1610- al servicio del Ducado de Toscana, y sus gobernantes, los Medici. Negociaciones que se facilitaron por el descubrimiento, gracias al telescopio, de las lunas de Júpiter y su denominación como lunas Mediceas, en su breve obra el *Sidereus Nuncius*, de 1610. (1)

En efecto, en los *Discursos y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*, conocidas generalmente como *Diálogos sobre dos nuevas ciencias* (2), Galileo establece los fundamentos de la dinámica moderna, en especial en las jornadas tercera y cuarta, mientras que en las primeras dos desarrolla la temática de la resistencia de los materiales, una disciplina que ahora denominaríamos

como una tecnología. Ahora bien, gracias a la estructura dialogada de la mayor parte del libro, es posible que Galileo trate muchos otros temas de por sí interesantes pero no directamente relacionados con los dos temas centrales, antes mencionados.

En efecto, en la jornada primera, páginas 122 a 124, se plantea la discusión en torno a la velocidad de la luz entre los tres personajes del diálogo, a saber, Sagredo, Simplicio y Salviati (3), personajes que representan las inquietudes de una mente abierta a la novedad y dispuesta a valorar las observaciones y experiencias, esto es Sagredo; la actitud conservadora de repetición del texto o libro avalado por la tradición, en este caso, la aristotélico-escolástica que es totalmente reacia a la novedad y la contradicción del conocimiento establecido, todo ello encarnado en Simplicio, que aunque simple y limitado en sus capacidades de análisis y argumentación, se nombra en referencia a Simplicio, el reconocido comentarista del pensamiento de Aristóteles; y finalmente, Salviati, vocero de las tesis de Galileo, referido como el académico

en tanto profesor universitario, pero que ha roto con la tradición del comentario de texto y busca la verdad de los temas en la experiencia y la demostración, todo ello apoyado con un uso de la matemática como el lenguaje de la naturaleza creada por Dios.

La discusión del tema la inicia Sagredo al interrogarse sobre la naturaleza y magnitud de la velocidad de la luz. Citamos a partir de aquí los fragmentos más significativos del intercambio intercalando comentarios.

“Sagredo. Pero ¿de qué naturaleza y magnitud hemos de pensar que es esta velocidad de la luz? ¿Es acaso instantánea y momentánea o, por el contrario, exige tiempo, como los otros movimientos? ¿No podríamos asegurarnos de su naturaleza por medio de la experiencia?”

Sagredo pone las cartas sobre la mesa para delimitar la discusión temática. En primer lugar, plantea las dos tesis tradicionales sobre la cuestión, a saber, la velocidad de la luz como infinita y por ende como una transmisión instantánea, o bien, dicha velocidad como finita y por ende como una transmisión que toma tiempo en realizarse. Desde la antigüedad los pensadores, tanto filósofos como científicos han tomado partido por una de las dos tesis planteadas por Sagredo, convirtiendo la discusión en un choque de opiniones irreductibles. En segundo lugar, y ello es de

importancia crucial, Sagredo plantea una vía para la solución del viejo enfrentamiento, a saber, el recurso “a la experiencia”. En Sagredo este recurso supone una proyección a la novedad, no a lo tradicional repetitivo del pasado.

Por el contrario, en el espíritu de lo tradicional Simplicio responde de inmediato que la experiencia ya nos ha mostrado la instantaneidad de la propagación de la luz, y echa mano precisamente de una vieja experiencia para justificar su conclusión.

“Simplicio. Nuestra experiencia cotidiana nos enseña que la propagación de la luz es instantánea. Cuando vemos que, a lo lejos, dispara la artillería, el resplandor de las llamas, sin interposición de tiempo, llega a nuestros ojos, cosa que no ocurre con el sonido, el cual no llega a nuestros oídos si no es después de un considerable intervalo de tiempo.”

Aunque Simplicio generalmente se fundamenta en las tesis de los aristotélico-escolásticos, como tendremos oportunidad de ver más adelante, en este caso, la experiencia decisiva que plantea es relativamente nueva, dado que hace referencia a la artillería. Pero el tema de la artillería es muy grato para Galileo, pues se debe recordar que uno de sus primeros campos de investigación técnica fue el desarrollar un instrumento de cálculo para que los artilleros fueran más eficaces en dar en

el blanco con sus proyectiles. Aunque el análisis de los proyectiles, flechas o piedras en la discusión griega, ahora balas de cañón en la artillería renacentista, es también crucial para evaluar las viejas doctrinas sobre el movimiento de los cuerpos y motivar la propuesta de nuevas explicaciones. (4)

Sagredo, nuevamente interviene para neutralizar la experiencia e interpretación que Simplicio ha aportado. Aduce que lo único que se puede inferir de la experiencia del fogonazo y sonido de los cañones es que la velocidad de la luz sería muy grande en relación a la del sonido; de ninguna forma que esa velocidad sea instantánea y no temporal. Pero disfrutemos del tono de la discusión.

“Sagredo. ¡Un momento, señor Simplicio! De esta conocidísima experiencia lo único que se sigue es que el sonido llega a nuestros oídos en un tiempo menos breve que el que necesita la luz para llegar a nuestros ojos; pero no tenemos ninguna seguridad de que la llegada de la luz sea, por eso, instantánea y no temporal, aunque de una velocidad inmensa. Tampoco se sigue de semejante observación más de lo que se seguiría de quien dijese: “Tan pronto como llega el sol al horizonte, llega su resplandor a nuestros ojos.” Pero ¿quién me asegura que sus rayos no han alcanzado el horizonte antes de tocar nuestra vista.”

“Salviati. El hecho de que se pueden

concluir tan pocas cosas de observaciones como éstas me sugirió la idea, en cierta ocasión, de buscar el modo de constatar, sin error, si la iluminación, o lo que es lo mismo, si la expansión de la luz es realmente instantánea; porque el movimiento bastante rápido del sonido nos da la seguridad de que el de la luz debe ser de una velocidad extrema. La experiencia que se me ocurrió fue la siguiente”.

En la experiencia propuesta por Galileo se pueden destacar tres momentos, por ello intercalamos paréntesis cuadrados para mejor inteligencia del asunto.

“Dos hombres toman una luz cada uno y la esconden en el interior de una linterna o cualquier otro aparato capaz de cubrirla, de modo que puedan ir encendiéndola y apagándola, poniendo la mano delante, en cuanto ven a su compañero.”

[primer momento] “Después, colocándose uno en frente del otro a la distancia de unos pocos codos, empiezan a encender y a apagar la luz según la siguiente regla: cada vez que uno de los dos ve la luz del otro enciende inmediatamente la suya. Después de algunos ensayos, se habrá ajustado la maniobra hasta el punto que, sin error posible en cuanto uno encienda le responderá inmediatamente el otro, de forma que en el momento que uno encienda su luz, verá al mismo tiempo aparecer ante sus ojos la de su

compañero. Asegurada esta práctica en esta distancia tan pequeña,”

[segundo momento] “coloquemos ahora a estos hombres, y con dos luces semejantes, a la distancia de dos o tres millas el uno del otro. Comenzando de noche la misma experiencia, van observando atentamente si las respuestas a sus respectivos encender y apagar guardan, a esta distancia, la misma cadencia que antes. Si es así, se podrá concluir con bastante seguridad, que la expansión de la luz es instantánea, ya que si ésta necesitara tiempo en una distancia de tres millas, si tenemos en cuenta la ida de una y la vuelta de la otra, la demora tendría que ser suficientemente observable.”

[tercer momento] “Y si se repitiese la experiencia con distancias mayores, con ocho o diez millas de distancia, por ejemplo, nos podríamos servir del telescopio, colocando a los observadores con cuidado en el lugar en el que habría de practicarse por la noche la experiencia. Las luces, aunque no fuesen muy potentes, lo que las haría invisibles a simple vista dada la distancia, podrían, sin embargo, encenderse y apagarse fácilmente gracias a la ayuda del telescopio, que ajustaría debidamente las apariciones y desapariciones de la luz, posibilitando así su visión.”

Tómese nota que este tercer momento emplea, para efectos de ampliar la distancia de separación entre los sujetos, el telescopio. Ya

no es una simple observación natural, sino que se transmuta en una instancia experimental potencializada por el instrumento galileano. La observación telescópica supera las limitaciones de la observación natural y abre posibilidades inéditas para resolver el problema en cuestión. Galileo reitera su transformación del proceso cognoscitivo inaugurada por el uso científico del telescopio en el caso de la astronomía. (5)

Sagredo elogia con entusiasmo el diseño de la experiencia como ingenioso y seguro. Pero obviamente lo que interesa son las conclusiones que se infieren de la misma. La respuesta de Salviati, esto es, Galileo, es sorprendente.

“Sagredo. La verdad es que yo sólo he realizado la experiencia a poca distancia; es decir de una milla, por lo que no he podido asegurarme de si la aparición de la luz opuesta era realmente instantánea. Pero si no es instantánea, he constatado que es velocísima, por no decir momentánea. Por el momento yo la asimilaría al movimiento que vemos que se produce cuando aparece un relámpago entre las nubes a una distancia de ocho o diez millas. De este relámpago distinguimos el comienzo, la cabeza y la fuente, diría yo, en un punto determinado entre tales nubes, e inmediatamente sigue su amplísima expansión a través de vastísimas zonas, lo cual probaría, según creo yo, que tal expansión requiere muy poco tiempo, puesto que si la iluminación se

hiciera toda de una vez y no gradualmente, me parece que no se podría distinguir su origen, lo que yo llamaría su centro, por una parte, y los bordes y últimas dilataciones, por otro.”

Reiteramos la sorpresa que Galileo no llegara al tercer momento o estadio de la “experiencia con telescopios”, sino que nuevamente ofrezca el caso de una experiencia “natural”, a saber, la del rayo.

En síntesis, lo más probable es que la velocidad de la luz no sea infinita y su transmisión instantánea sino finita y por ende de transmisión temporal. Pero la conclusión no proviene, como el mismo Galileo reconoció de la experiencia que podría echar mano del telescopio sino de la observación del relámpago lejano. Pero el telescopio y los hallazgos científicos generados por su uso podrían facilitar otra vía para resolver el problema en cuestión, como veremos a continuación. Empero es necesario que retrocedamos en el tiempo hasta 1610.

## 2- Galileo y las lunas de Júpiter.

*"He aquí, pues, cuatro estrellas consagradas a vuestro ínclito nombre, no pertenecientes a la clase común y menos noble de las fijas, sino al orden ilustre de los planetas; las cuales, con movimiento dispar, alrededor de Júpiter -nobilísimo astro- y como pertenecientes a su misma*

*progenie, siguiendo sus cursos y órbitas con admirable rapidez; mientras que, en concordia unánime, en torno del centro del mundo, esto es, el Sol, cada doce años completan todas una gran revolución".(6)*

Como bien se sabe fue la reinención del telescopio lo que catapultó al profesor de matemáticas de la Universidad de Padua, la universidad de la República de Venecia, al pináculo de la fama en el mundo de la astronomía. En virtud de una serie de descubrimientos, tales como la irregularidad de la superficie lunar, numerosas nuevas estrellas, la naturaleza de la vía láctea y las lunas de Júpiter. Todos ellos presentados en su *Sidereus nuncius*, de marzo de 1610. Esta serie se completará con los de las fases de Venus y las manchas solares -y el fallido carácter tricorpóreo de Saturno- objetos de publicación ulterior. Estos nuevos descubrimientos cruciales para la astronomía, fases de Venus, y la cosmología, manchas solares, los presentará Galileo en sus *Cartas sobre las manchas solares*, de 1613.

Pero volvamos al *Sidereus nuncius* para seguir la serie de eventos que llevan a Galileo a concluir que existen cuatro lunas que giran en torno de Júpiter. Esa serie se inicia en los primeros días de 1610. Felizmente Galileo es muy preciso en la presentación de los hechos.

“En efecto, el 7 de enero del año 1610, a una hora desde el ocaso, observando los

cuerpos siderales con el anteojo, se hizo visible Júpiter. Y puesto que me había preparado un instrumento excelente (lo que primeramente no sucedió a causa de la imperfección del instrumento anterior), descubrí tres estrellas adyacentes, pequeñas pero sumamente luminosas; las cuales -aunque las tenía por pertenecientes al número de las fijas- me provocaron no poca admiración por el hecho de que se veían exactamente dispuestas según una línea recta paralela a la eclíptica y más brillantes que las otras estrellas de igual tamaño. Su disposición relativa y la respectiva a Júpiter, era la siguiente:

Ori                    X X O X                    Occ

O sea, que en la parte oriental había dos estrellas, y una hacia la occidental. La más oriental y la occidental parecían algo mayores que la restante; no me preocupé en absoluto de la distancia entre ellas y Júpiter, pues, como ya lo he dicho, las creí fijas.”

Varias observaciones son necesarias antes de proseguir con la narración de los hechos por Galileo. 1) Galileo insiste en la calidad superior del anteojo en uso. Calidad que hace posible el descubrimiento en contraste con el anterior de menos “potencia”, y por ende incapaz de hacer visible el arreglo estelar. Galileo como constructor de anteojos, nombre del instrumento pues no se había acuñado todavía el término telescopio, era capaz de mejorar los artefactos y no solamente lo hacía constantemente, sino que ideó un

procedimiento para comparar su capacidad de mejoramiento de la observación. Si simplemente hubiera empleado un instrumento ya elaborado por otro, y sin posibilidad de perfeccionarlo, habría estado muy limitado en sus opciones. Galileo, ciertamente no es el inventor del telescopio, pero sí su reinventor y perfeccionador. Reinventor del telescopio refractor dada su estructura a partir de lentes de aumento. 2) Galileo asume que las estrellitas observadas pertenecen a las estrellas fijas, esto es, el número de las estrellas que conforman el firmamento estrellado y que se caracterizan por mantener constantes ciertas relaciones posicionales entre sí -por contraposición a los planetas o estrellas errantes, es decir, que se mueven en el plano de la eclíptica, modificando sus relaciones de posición con las otras estrellas del firmamento. En la concepción tradicional de los cielos, estas estrellas fijas conforman la octava esfera celeste, que a su vez es el límite del Cosmos.

“Cuando al día siguiente, ignoro por qué motivo, volví a realizar la misma observación, descubrí una posición muy diferente: las tres estrellas se hallaban hacia el oeste con respecto a Júpiter y más próximas entre sí que la noche anterior, como lo muestra el dibujo adjunto:

Ori                                    O x x x                                    Occ

En este momento, no habiendo pensado

en absoluto en el desplazamiento mutuo de las estrellas, comencé a preguntarme de qué manera Júpiter podría encontrarse en posición oriental con respecto a las mencionadas estrellas fijas, cuando el día anterior estaba al oeste de ambas. En consecuencia, empecé a sospechar si no sería de movimiento directo, diversamente del cálculo astronómico, habiendo sobrepasado pues con su propio movimiento a dichas estrellas. Por ello esperé con máxima expectativa la noche siguiente; pero me vi defraudado en mis esperanzas pues el cielo se presentó completamente cubierto de nubes.”

De una simple observación casual a un interesante problema, a saber, cómo Júpiter podría haberse movido para crear la nueva colocación respecto de las estrellas fijas en su entorno. El nuevo arreglo espacial sugiere movimiento del planeta de oeste a este, esto es, movimiento directo, el movimiento típico de los planetas en el plano de la eclíptica en sus revoluciones en torno al observador. La hipótesis del movimiento directo le permitiría a Galileo explicar el cambio de posición de la primera a la segunda noche de observación. Pero surge un problema dado que el planeta Júpiter, según el cálculo astronómico, en ese tiempo presentaba su retrogradación, es decir un movimiento en dirección contraria por un cierto intervalo, que para el observador general una especie de bucle o rizo con inversión de la dirección y velocidad del movimiento.

Por ello, típico de la génesis de un problema científico, se tiene un choque entre la experiencia y las posibilidades explicativas. Y además se genera una fuerte expectativa respecto de las observaciones implicadas, pero las condiciones climatológicas hicieron imposible la observación del cielo en la noche del nueve de enero. Galileo tuvo que esperar por la noche siguiente.

“El día diez, aparecieron las estrellas en la siguiente posición con respecto de Júpiter:

Ori.	X x O	Occ.
------	-------	------

Solo había dos estrellas, y ambas orientales; la tercera, según supuse, estaba oculta detrás de Júpiter. Se hallaban, como anteriormente, en una misma recta con Júpiter y ubicadas exactamente según la línea del Zodíaco. Cuando observé eso, y comprendí que dichos desplazamientos de ninguna manera podían atribuirse a Júpiter, y sabiendo, además que las estrellas observadas eran siempre las mismas (ya que ninguna otra, precedente o siguiente, se veía a lo largo de un gran espacio por sobre la línea del Zodíaco), cambiando mi duda en asombro, descubrí que el movimiento aparente no era de Júpiter sino de las estrellas observadas; por lo cual consideré que en adelante debía efectuar escrupulosas observaciones.”

Galileo expresa su hallazgo en las



palabras tomadas de la cita anterior: “cambiando mi duda en asombro, descubrí que el movimiento aparente no era de Júpiter sino de las estrellas observadas” Las estrellas no eran fijas sino errantes, planetarias. La duda se transformaba en asombro, profundo asombro. Además, se le hace patente a Galileo que es necesario que a partir de este momento la observación de Júpiter y las nuevas estrellitas sea meticulosamente detallado y completo. Y en el espíritu de la nueva actitud científica que él está ayudando a construir, el estudio debe ser cuantitativo. Todo ello queda manifiesto en el reporte de observación de la siguiente noche y su subsiguiente comentario (7). Además, una nueva y sorprendente conclusión.

“El día once, vi la siguiente posición:

Ori.	X x O	Occ.
------	-------	------

O sea, solo dos estrellas en posición oriental, de las cuales la de en medio distaba de Júpiter el triplo con respecto a la otra más oriental; esta última, situada más hacia el este, era casi dos veces mayor que la otra, pese a que en la noche anterior habían parecido casi iguales. Por lo tanto consideré y, fuera de toda duda, establecí que existían en el cielo tres estrellas errantes en torno a Júpiter, así como Venus y Mercurio alrededor del Sol”.

Gracias a esta observación del once de enero de 1610, Galileo Galilei establece que las

tres estrellas errantes se mueven o trasladan en torno a Júpiter, que vendría a ser como un centro adicional en el arreglo de los movimientos planetarios; un subsistema planetario. Aunque en un par de noches más puede establecer que no son tres sino cuatro estrellas las que se mueven en torno al planeta Júpiter, noche del trece de enero.

Vale la pena recordar que en astronomía tradicional se hace referencia al arreglo o modelo planetario de Heráclides de Ponto (siglo III A.C.), quien manteniendo que la Tierra era el centro del Cosmos, concedía que por la constante correlación de Mercurio y Venus como estrellas de la mañana y de la tarde, sus movimientos encajaban mejor si se les suponía girando en torno al Sol. Una modificación al estricto geocentrismo imperante desde el esplendor del pensamiento griego y reafirmado en el gran sistema planetario del *Almagesto* de Claudio Ptolomeo en el siglo II de nuestra era.

Aunque Galileo está seguro de su conclusión, sigue en el estudio pormenorizado del movimiento de las lunas de Júpiter, ofreciendo información hasta el día dos de marzo de 1610, en que cierra el registro para que el libro salga de la imprenta a mediados de ese mismo mes. No obstante, el estudio continuará por muchos meses más y se ofrecerán resultados mucho más completos en publicaciones posteriores como se ha señalado antes. Estudios que permiten establecer las



características de las traslaciones de cada una de las cuatro lunas, sus periodicidades, cercanía relativa al planeta, eclipses por la sombra del Júpiter. Galileo llega hasta la preparación de efemérides para la predicción de tales movimientos.

Además, y que será de mayor importancia en el futuro, Galileo propone que el movimiento de tales lunas podría usarse como un reloj natural en cualquier región de la Tierra. Lo que a su vez tendría relación con el gran problema de la era de los descubrimientos geográficos, a saber, el problema de la determinación de las longitudes y su aplicación a la navegación.

Dado que los eclipses de las lunas permitían sincronizar relojes en distintos lugares y con estos sincronizados se harían observaciones del tránsito del sol o una estrella determinada en cada lugar, entonces gracias a ello estableceríamos la diferencia entre tales lugares.

Por supuesto que la conclusión final, en el mismo *Sideredus nunciis*, es concordante con el heliocentrismo copernicano, pues se afirma sin duda alguna que las lunas se mueven en torno a Júpiter mientras que este lo hace alrededor del Sol, centro del cosmos. Citemos tan importante conclusión.

“Por otra parte, tenemos un excelente y clarísimo argumento para librar de escrúpulos

a quienes, con aceptar ecuánimemente según el sistema de Copérnico la revolución de los planetas en torno al Sol, se ven tan perturbados por la traslación de la única Luna alrededor de la Tierra -mientras que ambas cumplen una revolución en torno del Sol- que opinan que se debe desechar como imposible, este esquema del universo: pues ahora no se trata de un solo y único planeta que gire en torno de otro, mientras que ambos cumplen una gran órbita alrededor del Sol, sino que nuestros sentidos nos muestran cuatro estrellas errantes alrededor de Júpiter, así como la Luna en torno de la Tierra, al mismo tiempo que todas ellas junto con Júpiter efectúan una gran revolución alrededor del Sol en un período de doce años“ (8).

### **3- Roemer, los eclipses de Ío y la velocidad de la luz.**

Olaf Christensen Roemer, danés, nacido en 1644 y muerto en 1710 realizó la primera determinación de la velocidad finita de la luz en la década de los setenta en el siglo XVII, mientras residía en París (1672-1681), asociado al Observatorio de París, de la Academia de Ciencias y bajo la tutela de Giovanni Domenico Cassini (1625-1712), astrónomo italiano-francés, Director de dicho Observatorio. (9)

Dicha determinación de la velocidad de la luz puso fin a la vieja polémica entre los partidarios de su velocidad infinita y

transmisión instantánea, como René Descartes, en la primera mitad de ese siglo, y los defensores de su velocidad finita y por ende transmisión temporal, Galileo entre otros (10).

Regresando a las lunas de Júpiter, los telescopios cada vez más poderosos permiten observar más fácil y más precisamente los movimientos y los eclipses de dichas lunas. En especial, a fines de la década de los sesenta, en el recientemente creado Observatorio de París -1667-, Cassini puede publicar efemérides que permitían calcular de manera precisa tales eclipses. Además, la Academia y el Observatorio se dedican a la gran tarea de realizar determinaciones de la longitud de diversos lugares por todo el mundo para corregir o completar las determinaciones previas.

Uno de esos lugares, emblemático por ser el primer gran observatorio astronómico europeo, fue Uraniburgo, creado por el astrónomo danés Tycho Brahe. Hasta allí se trasladó Jean Picard (1620-1682), del observatorio parisino. Para su trabajo, Picard contó con la ayuda de un joven danés, que por su trabajo y dedicación fue luego invitado a París a incorporarse al Observatorio de Picard y Cassini.

Roemer trabaja en el Observatorio de París analizando los eclipses de Ío, primera de las lunas de Júpiter. Esta luna presenta de

manera más clara las anomalías determinadas en París respecto de relación entre la predicción de sus eclipses por Júpiter, entrada y salida del cono de luz proyectado por Júpiter al ser iluminado por el Sol, y su observación fáctica. Cassini ha mostrado que se presenta o bien adelantamiento o bien un retraso y que es más acentuado en el caso de dicha primera luna.

Y es el estudio exhaustivo y sistemático del caso de los eclipses Ío que lleva a Roemer, en el Observatorio desde 1672 a concluir que la explicación a la anomalía supone la transmisión temporal de la luz y por ende su velocidad finita.

Por supuesto, Roemer trabaja como parte del equipo del Observatorio que desde 1671 ha iniciado esa tarea de observación y análisis. Pero también hay registros que el joven danés se ha destacado, desde su arribo a París, por su dedicación a dicha labor. Como culminación de ese trabajo de unos cinco años, Cassini, como Director del Observatorio, anuncia en una reunión de la Academia, anuncio del cual hay un documento de respaldo, aunque las actas oficiales para ese período se perdieron, apunta el 23 de agosto de 1676, que la realización del eclipse del próximo 16 de noviembre podría observarse unos 10 minutos más tarde que lo establecido por la predicción correspondiente, e insiste en una anomalía de dicho fenómeno que puede provocar un desfase de hasta un cuarto de

hora.

En el texto se dice “Esta irregularidad se relaciona con una variación en el diámetro visible de Júpiter o con la distancia de Júpiter desde la Tierra, y parece que se deriva del hecho que la luz llega desde los satélites con un atraso tal puesto que toma diez u once minutos (el cruzar) una distancia igual a medio diámetro de la órbita terrestre” (11)

En consecuencia, se tiene que el anuncio -y su correspondiente respaldo escrito- del descubrimiento, aunque no necesariamente el descubrimiento mismo, corresponde a Cassini en esa fecha de agosto de 1676. Por cierto, no se tiene información precisa sobre el evento anticipado por Cassini.

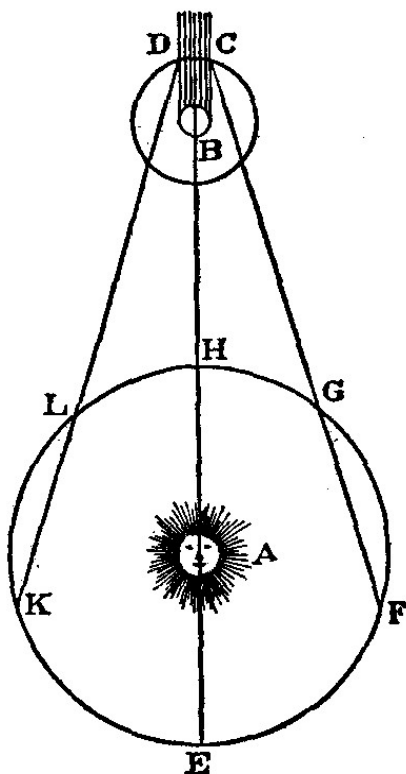


FIG. 70.

Por otra parte, en virtud de otro eclipse de inicios de ese mismo noviembre, el 9, se tiene un reporte presentado el 21 de noviembre, en que se señala que Roemer comunica a la Academia que “el movimiento de la luz no es instantáneo, y que lo demuestra por las desigualdades en los ocultamientos y reapariciones del primer satélite de Júpiter” (12), y que aparecerá publicado el 7 de diciembre de ese mismo año. Publicación que tendría el aval tanto de Picard como Cassini.

El diagrama anterior muestra las distintas distancias entre el cono de luz de Júpiter que eclipsa a Ío, tanto en su entrada como salida del mismo, y la Tierra en su movimiento alrededor del Sol. Esa distancia disminuye en segmento F a G -que por cierto, F no aparece en el diagrama original del texto de Roemer-, y aumenta de L a K. El eclipse se adelanta en el primer caso y se atrasa en el segundo. La razón que esgrime Roemer para esa variación es que la luz toma menos o más tiempo en recorrer esas distintas distancias. Ahora bien, si su velocidad fuera infinita y su transmisión instantánea es obvio que no habría diferencia entre el momento predicho y el observado. Pero si la luz tiene velocidad finita, aunque muy grande, su transmisión requeriría tiempo, el cual sería distinto según las diferentes distancias -determinadas por el movimiento de la Tierra alrededor del Sol y su relación a Júpiter- y en consecuencia el eclipse sufriría un adelanto o un atraso.

La cuestión de la velocidad de la luz deja ser una mera cuestión de opinión, sino un tema que se resuelve mediante una observación controlada que es posible mediante el uso del telescopio, como en el “tercer momento” de Galileo discutido en la segunda parte de este trabajo.

Notemos que Roemer concluye la finitud de la velocidad de la luz. Será el connotado científico holandés, Christian Huygens (1625-1695) quien, obviamente entusiasmado por la tesis del joven danés, puesto que en la teoría ondulatoria de la naturaleza de la luz que está construyendo se requiere una tal velocidad finita, no solamente defiende la tesis contra las dudas que sorprendentemente plantea Cassini, sino quien desarrolle una propuesta para cuantificarla. En efecto, es Huygens quien propone una cuantificación de la velocidad finita de la luz. La que en términos de la velocidad del sonido sería 600.000 veces mayor, y que en términos modernos rondaría los 230.000 kilómetros por segundo. (13)

Respecto de las dudas de Cassini, ellas pueden resumirse a que la propuesta de Roemer corresponde al movimiento de Ío, pero no se consideran los otros satélites de Júpiter; además, que no se considera si estas desigualdades respecto de los eclipses no podrían generarse por excentricidades en la órbita de la luna en torno al planeta; o por

irregularidades en el propio movimiento del satélite; o por alguna otra causa desconocida en este momento pero cognoscible en un tiempo futuro. (14)

También Edmund Halley (1656-1742), en Inglaterra, reconoce el valor de la explicación de Roemer y aunque no escatima el valor de los aportes de Cassini, es de la opinión que hay mucho de testarudez en la constante oposición del director del Observatorio de París.

Es interesante anotar que Roemer no enfrentó públicamente los planteamientos negativos de Cassini para su propuesta del finitismo de la velocidad de la luz y solamente lo hace en documentos privados, por ejemplo carta a Huygens en 1677.

Pero finalmente la tesis se impuso aún en Francia cuando, en 1727, con el descubrimiento de la aberración de la luz por James Bradley, pero esta es otra historia para un futuro.

## NOTAS

(°) Este trabajo se presentó al Segundo Simposio Luz, Ciencia e Historia, organizado por la Escuela de Física del Instituto Tecnológico de Costa Rica, el día 29 de febrero de 2016. Se agradece la lectura y

observaciones del joven colega Leonardo Ortiz Acuña.

(1) El *Sidereus nuncius* o *Mensajero de los astros*, apareció en marzo de 1610, Venecia. Se cita a partir de la edición en español: Galileo Galilei, *Mensajero de los astros*. (1964) Editorial Universitaria de Buenos Aires, Eudeba, Buenos Aires, 1964.

(2) Se citará de la edición en español: Galileo Galilei (1996), *Dos nuevas ciencias. Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*. Barcelona: Editorial Planeta- De Agostini. Las páginas 122 a 134 corresponden a la Edición Nacional de Favaro, edición de referencia obligada.

(3) Son los mismos tres personajes de los *Diálogos sobre los dos sistema máximos del universo -1632-*, obra por la que la Inquisición condenó a Galileo Galilei en 1633. Por supuesto, esta nueva obra la publicó en Holanda y sin ninguna autorización de la iglesia católica. Interesante acto de rebeldía o soberbia.

(4) La ley del movimiento de los proyectiles es el segundo gran basamento de la nueva dinámica, y aparece formulada en la jornada cuarta de los *Diálogos sobre dos nuevas ciencias*. La primera es la ley de la caída de los graves en la jornada tercera. Igualmente se introduce el principio de inercia, aunque en una formulación todavía imperfecta.

(5) Para una discusión más detallada de esta transformación o enriquecimiento de la relación cognoscitiva, véase mi trabajo titulado: “El *Sidereus nuncius*: Galileo y el uso científico del telescopio”. *Revista de Filosofía de la Universidad de Costa Rica*. Vol XLVII. No. 122, Septiembre-Diciembre 2009. pp 163-171.

(6) Galileo, 1610, 31)

(7) Galileo escribe al respecto lo siguiente: “Asimismo vi que no solo tres, sino cuatro, son las estrellas errantes que cumplen sus revoluciones en torno de Júpiter; los movimientos de las cuales, observados luego más exactamente, describiré a continuación. Además, medí con el antejo sus distancias recíprocas, del modo explicado anteriormente, y también anoté las horas de las observaciones, sobre todo cuando realicé muchas en la misma noche: en efecto son tan veloces las revoluciones de esos planetas que, por lo común, se pueden percibir diferencias horarias.”

(8) Galileo, 1610, 90-91)

(9) Más precisamente, Roemer nace el 25 de septiembre de 1644, en Aarhus, y muere en Copenhague, el 19 de septiembre de 1710, en el Reino de Dinamarca. Cassini nació en Perinaldo, Niza, Italia, el 8 de junio de 1625. Muere en París el 14 de septiembre de 1712, convertido en súbdito francés. Roemer dejará

París en 1681, probablemente por un enfriamiento de sus relaciones con Cassini, o bien por la creciente hostilidad a los protestantes. De regreso a Dinamarca ejercerá importantes puestos, como el de Alcalde de Copenhague y Jefe de su policía. Recibió grandes honores en su patria.

(13) ídem, 100.

(14) Ídem 100).

(10) Entre los defensores de la velocidad infinita destacan Aristóteles, Kepler y Descartes. Entre los proponentes de la velocidad finita de la luz, la lista incluye a Empédocles, griego del siglo V AC; Plinio, romano del siglo I DC., quien la considera una velocidad finita pero mucho mayor que la del sonido; Al Biruni, musulmán, 973-1048, velocidad inmensa al compararse con la del sonido; Roger Bacon, medieval del siglo XIII, la considera finita pero tan grande que no puede medirse. Ante esta última tesis es que vale la pena contextualizar el planteamiento de Galileo de diseñar el experimento, considerado anteriormente, que permita medir tal velocidad de la luz.

(11) En el tratamiento del descubrimiento de Roemer se sigue de manera muy cercana el estudio de Laurence Bobis y James Laqueux, “Cassini, Romer and the Velocity of Light”, aparecido en el *Journal of Astronomical History and Heritage*, 11 (2), 97-105, del 2008. En este caso se hace referencia a la página 99.

(12) Bobis y Lequeux, 100.