

Galileo y la astronomía: una feliz intersección

Susana Biro

En julio de 1609, Galileo era un desconocido profesor de matemáticas en la Universidad de Padua. Cuando no estaba enseñando, estudiaba su tema favorito: el movimiento de los cuerpos. Un año después, era un astrónomo famoso en toda Europa y sus descubrimientos a través del telescopio dieron de qué hablar durante décadas. Lo que sucedió en ese año fue el encuentro de la vieja astronomía, un nuevo instrumento, la labor práctica de los matemáticos y la cosmología de los filósofos. De esta unión salieron beneficiados tanto Galileo como la astronomía. A través de dos ejemplos muy concretos, veremos el papel que desempeñaron las matemáticas en esta transformación.

UN MATEMÁTICO DESCONOCIDO

En los primeros años de su vida, Galileo vivió con su familia y recibió la educación usual de ese entonces. Ésta incluía el estudio de los idiomas griego y latín, la religión, el dibujo, la pintura y la literatura. Cumpliendo el deseo de su padre, a los 17 años entró a la Universidad de Pisa para estudiar medicina. Sin embargo, pronto descubrió que lo que realmente le gustaba eran las matemáticas. Empezó tomando clases particulares y fue su profesor quien finalmente lo ayudó a convencer a su padre de que lo dejara seguir su vocación. Abandonó entonces la medicina y, al cabo de pocos años, era profesor de matemáticas en la misma universidad. Pronto logró un puesto mejor en la Universidad de Padua, donde permaneció 18 años, repartiendo su tiempo entre dar clases, estudiar matemáticas y filosofía, y hacer experimentos.

Los matemáticos de esa época eran técnicos que aplicaban su conocimiento a tareas prácticas como la óptica, la astronomía, la mecánica, la hidráulica y el diseño de fortificaciones militares. Basta revisar los títulos de las obras de

Fecha de recepción: 5 de mayo de 2009.

Galileo¹ de ese entonces para entender a qué se dedicaba. Dejó, por ejemplo, tratados sobre la construcción y uso de una balanza y un compás geométrico; la descripción del movimiento de los cuerpos; mediciones utilizadas en la arquitectura y las fortificaciones militares, y soluciones a problemas de la hidráulica de ríos y canales. En todos ellos utilizó una combinación de la geometría y la trigonometría, heredadas de los clásicos como Euclides y Arquímedes, y un saber empírico extraído de la práctica.

Entre todos estos proyectos, es interesante destacar un pequeño librito, algo como un manual para el usuario, sobre el compás geométrico militar. Galileo perfeccionó este instrumento que era común en ese entonces. Era algo parecido a una regla de cálculo y se utilizaba tanto para hacer operaciones con números como para calcular distancias o medir alturas. Sabemos que impartía un curso sobre el uso correcto del compás y luego vendía el instrumento acompañado del libro. Este caso es importante porque es un ejemplo del trabajo que hacía al margen de la universidad y de sus investigaciones, con el propósito de ganar más dinero. Para lo que veremos a continuación, es bueno tener en mente su habilidad para hacer instrumentos y su necesidad de tener mayores ingresos.

En su formación académica, su posición laboral y sus variadas actividades, Galileo era como muchos otros matemáticos de su época. De hecho, antes de 1609 sabía bastante menos de astronomía que otros como Christoph Clavius, astrónomo de Roma encargado de la reforma del calendario. Como profesor de matemáticas, debía dar clases de la astronomía tradicional y, por su cuenta, había leído las propuestas más nuevas. Sabía de la técnica tradicional y las discusiones de actualidad, pero no practicaba la astronomía.

UNA TRADICIÓN EN DECADENCIA

Como las demás tareas a las que se dedicaban los matemáticos, la astronomía en el Renacimiento era una labor práctica cuyo objetivo era calcular, de la manera más precisa posible, el movimiento de los siete planetas (Mercurio, Venus, Sol, Luna, Marte, Júpiter y Saturno) para así tener buenos calendarios. Esto se hacía siguiendo el método consolidado por Ptolomeo en el siglo II d.C. Con instrumen-

¹ La obra de Galileo que se conserva (notas, dibujos, diagramas, cartas, manuscritos y libros) fue reunida por Antonio Favaro en *Le Opere di Galileo* entre 1890 y 1990. Hoy, la totalidad de este material se puede consultar en línea a través de la página del Museo de Historia de la Ciencia de Florencia (www.imss.fi.it).

tos como el cuadrante y el astrolabio, se hacían repetidas observaciones de las posiciones de los astros. La información resultante se registraba en tablas de números con las coordenadas de los planetas. A partir de estas tablas, se calculaban las trayectorias de los planetas, montando cada uno en una especie de engranaje: una combinación de círculos interconectados de diferentes radios con una variedad de velocidades y direcciones de rotación y la Tierra en el centro. Dependiendo de su función, estos círculos llevaban el nombre de epiciclo, deferente, ecuante y excéntrico. Se utilizaba una combinación distinta de ellos para cada planeta. Este método permitía a los astrónomos reproducir las trayectorias pasadas de los planetas y predecirlas en el futuro. Naturalmente, el Sol y la Luna eran los dos planetas cuyas trayectorias interesaba más conocer, pues con ellos se hacían los calendarios.

La astronomía ptolemaica funcionó suficientemente bien durante mil quinientos años, pero en el Renacimiento tenía tres problemas principales para los cuales muchos astrónomos estaban buscando soluciones. Uno de los problemas de esta técnica era que se necesitaba usar muchos de aquellos círculos para describir la trayectoria de un solo planeta. Esto resultaba muy complicado de armar y, por lo tanto, también de utilizar. Además, aun usando tantos círculos para cada planeta, el calendario resultante no era muy preciso y, con el tiempo, se iba desfasando de lo observado en el cielo. Por último, existían inconsistencias entre la astronomía y la cosmología.

La cosmología que estudiaban los filósofos del Renacimiento era, con muy pocos cambios, la de Aristóteles. Ésta decía, a muy grandes rasgos, que la Tierra es una esfera que está fija en el centro del Universo; que alrededor de ella giran fijos sobre esferas de cristal los siete planetas y que, en la octava esfera, que marca el confín del mundo, están pegadas todas las estrellas. Desde sus inicios, hubo una separación tajante entre esta descripción teórica de los filósofos y la tarea práctica de los astrónomos. Se pensaba que la cosmología describía el mundo tal como es, mientras que la astronomía sólo “salvaba apariencias”, haciendo cálculos útiles, pero que no reflejan la realidad. Sin embargo, al atravesar la Edad Media, surgieron unidas y, en el Renacimiento, las inconsistencias entre ambas se volvieron más evidentes y empezó a ser necesario abordarlas. Una de las más claras, pero no la única, es que la astronomía proponía que algunos planetas viajan en trayectorias con bucles, pero éstos atravesarían las esferas de cristal de la cosmología.

Justo para atacar estos tres problemas de la astronomía, a mediados del siglo XVI el polaco Nicolás Copérnico planteó una manera alternativa de entender

el mundo. En su libro *Sobre la revolución de los orbes celestes*, propuso que las cosas se entenderían mejor si el Sol estuviera en el centro de todo y la Tierra pasara a formar parte del grupo de los planetas errantes, viajando alrededor del Sol. Asimismo, le dio a la Tierra otro movimiento, de rotación sobre su propio eje.

El trabajo de Copérnico sólo propuso los cambios, pero a la siguiente generación de astrónomos le tocó discutirlos, aplicarlos y demostrarlos. Había varios problemas. Aunque, en efecto, esta novedosa propuesta era más sencilla y elegante, iba en contra de la intuición. Además, no había ninguna manera de probar que era la explicación más apropiada. Precisamente en esta época vivió Galileo.

LA INTERSECCIÓN DE SUS TRAYECTORIAS

En agosto de 1609 llegó a Italia la noticia de un nuevo instrumento, un anteojito con el cual las cosas distantes se veían más grandes y cercanas. Entre otros, Galileo se enteró de esto; pero a diferencia de muchos, él tenía experiencia en la construcción de instrumentos. De inmediato se dedicó a hacer uno. Siguiendo la descripción que había oído y utilizando material fácilmente disponible, en los extremos de un tubo pegó una lente plano-cóncava y una plano-convexa. Colocando su ojo del lado de ésta última, constató que tenía un instrumento con un aumento de tres, como los que circulaban por Europa en esa época.

Puliendo sus propias lentes y experimentando con los tamaños de los componentes, en unas cuantas semanas Galileo tuvo un telescopio con un aumento de ocho. Regaló éste a la República de Venecia y, a cambio, le doblaron el sueldo e hicieron vitalicio su puesto en la Universidad de Padua. No conforme con esto, siguió trabajando y, para finales del año, había logrado dos telescopios más, con aumentos de veinte y treinta respectivamente. Fue con éstos que volteó a mirar el cielo de noche.

En los primeros tres meses de 1610, Galileo descubrió cosas verdaderamente insólitas sobre la Luna, las estrellas y Júpiter. Que la Luna era rugosa, que habría muchas más estrellas de las que vemos a simple vista y que alrededor de Júpiter giraban cuatro satélites, fueron las novedades que comunicó asombrado y orgulloso en su libro *El mensajero de las estrellas*. Este libro lo hizo famoso y permitió que se trasladara como filósofo a la corte de Florencia. Ahí siguió observando el cielo y pronto constató que Venus presenta fases como la Luna, algo que ya predecía el modelo de Copérnico. Aunque inicialmente sus telescopios eran mucho mejores

que los demás, pronto hubo otros igual de potentes y esto abrió la discusión para todos los interesados. Fue entonces cuando Galileo hizo sus observaciones de las manchas solares.

Mucho más interesante que los descubrimientos en sí es el modo en el que el italiano los logró. En primer lugar, tuvo que aprender a utilizar un instrumento hasta entonces desconocido que, además, tenía defectos importantes como las aberraciones ópticas. También introdujo ilustraciones realistas en una disciplina que antes sólo utilizaba tablas de números y diagramas. Y todo el tiempo utilizó sus conocimientos de matemáticas para interpretar lo que estaba viendo. Para ver cómo hizo esto último, miremos de cerca dos ejemplos sobre la Luna y el Sol.² Al lector del siglo XXI le puede parecer demasiado sencillo lo que veremos a continuación, pero hay que tener en cuenta que esto se hizo hace 400 años, que era la primera vez que se hacía y que se trata de la demostración de la presencia de irregularidades en dos cuerpos celestes que, según Aristóteles –y por lo tanto, toda la cultura europea durante dos mil años–, eran perfectos.

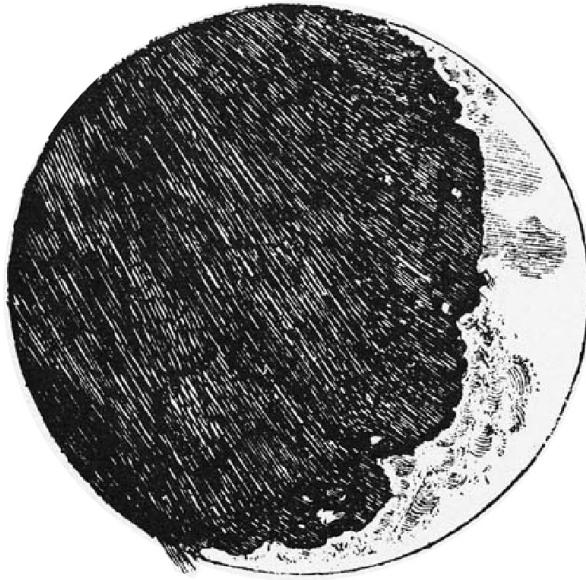
TRIGONOMETRÍA PARA LAS MONTAÑAS

Las observaciones más importantes de la Luna que hizo Galileo datan de principios de 1610, cuando era el único hombre en el planeta que podía verla con tanto detalle. La principal novedad que informó acerca de ella fue que su superficie presenta picos y valles. Para mostrar esto, hizo numerosas observaciones y, a partir de ellas, dibujos muy detallados. Al comunicarlo, acompañó la información visual con una variedad de argumentos provenientes de su conocimiento del dibujo en perspectiva y los efectos de la iluminación sobre la apariencia de un cuerpo. También utilizó analogías, comparando lo que veía allá con lo que ya todos conocían acá. En la figura 1, se muestra la Luna creciente (la luz del Sol viene de la derecha). Galileo hizo notar que, si fuera una esfera, la línea que separa luz y sombra debería ser curva, sí, pero sin irregularidades como las que se observan.

Además, destacó la presencia de algunas pequeñas zonas luminosas dentro del área oscura. La más notable está a la mitad de la circunferencia, hacia abajo. De sus observaciones en días sucesivos, por la manera en que esas manchas

² El libro de Galileo y Kepler (2007), *La gaceta sideral*, contiene íntegro el trabajo que Galileo publicó sobre la Luna y fragmentos de sus cartas sobre las manchas del Sol.

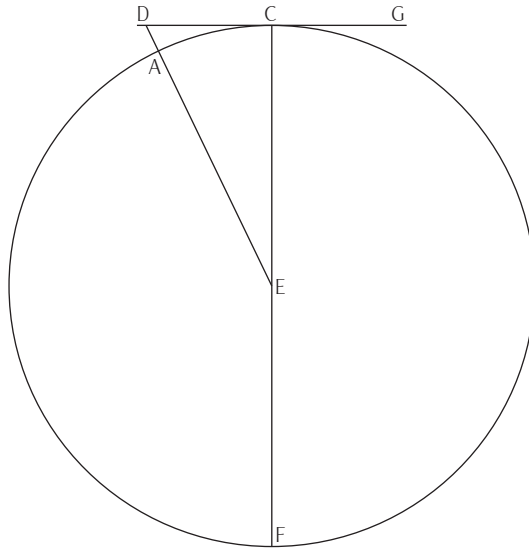
Figura 1 Imagen de la Luna realizada por Galileo. En ella se observa la irregularidad de la superficie del astro, así como algunas zonas iluminadas en medio de la zona oscura



de luz crecían y finalmente quedaban integradas a la zona iluminada, llegó a la conclusión de que lo que estaba viendo eran montañas. Como sucede en la Tierra –dijo– reciben la luz del Sol en su cima antes que la zona que las rodea y, poco a poco, se ilumina una mayor parte de ellas.

Para conocer el tamaño de estas montañas, utilizó su conocimiento de la trigonometría. Notó que podían estar separadas de la zona iluminada hasta un vigésimo del diámetro de la Luna. Utilizando ese dato, hizo el diagrama que aparece en la figura 2, donde el círculo representa a la Luna; la línea CF divide la parte iluminada (a la derecha) de la oscura; el observador está arriba, en la prolongación de CF, la manchita de luz en la zona oscura se observa en A y la tangente DG representa un rayo de luz que viene de la derecha e ilumina el pico de la montaña en D. De esta manera, con un cálculo sencillo pudo saber la altura de las montañas de la Luna y decir que eran más grandes que cualquiera de la Tierra.

Figura 2 Diagrama que ilustra el cálculo trigonométrico que hizo Galileo para saber el tamaño aproximado de las montañas de la Luna

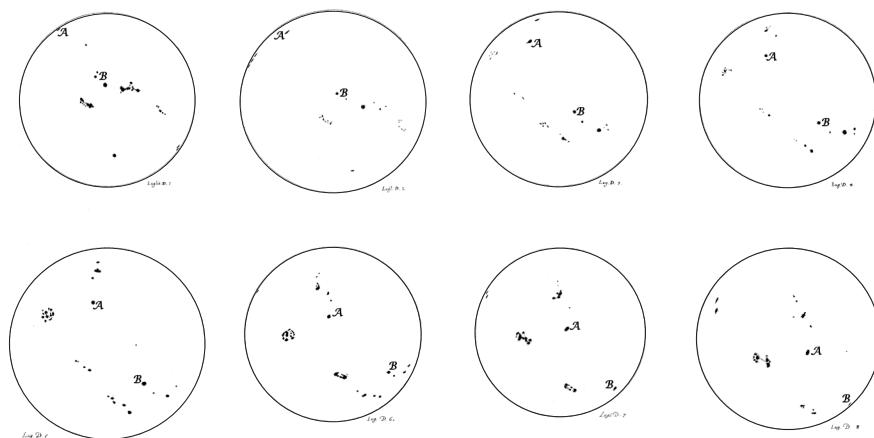


GEOMETRÍA PARA LAS MANCHAS

Dos años después de la primera aparición del telescopio, muchos otros astrónomos tenían instrumentos igual de potentes que el de Galileo, y así comenzó una época de comparación de resultados y de debate sobre sus implicaciones. En 1612, Galileo supo por un amigo en Alemania de tres cartas publicadas anónimamente en las que otro astrónomo comunicaba haber visto manchas en el Sol. Interpretaba que, puesto que es un astro perfecto, debía tratarse de planetas o grupos de pequeños planetas con órbitas muy cercanas a él que arrojaban su sombra sobre la cara del Sol al pasar frente a él.

Galileo ya había visto las manchas y tenía otra explicación. Cauteloso como siempre, inicialmente sólo dijo que no creía que ése fuera el caso, pero no podía aseverar nada antes de hacer más observaciones. Pasó dos meses mirando y dibujando el astro rey, y sólo entonces pudo defender sus ideas. Descartó fácilmente la idea de que se trataba de planetas al mostrar que las manchas cambiaban de forma de un día para otro, cosa imposible para un planeta o grupo de pequeños planetas como se había propuesto.

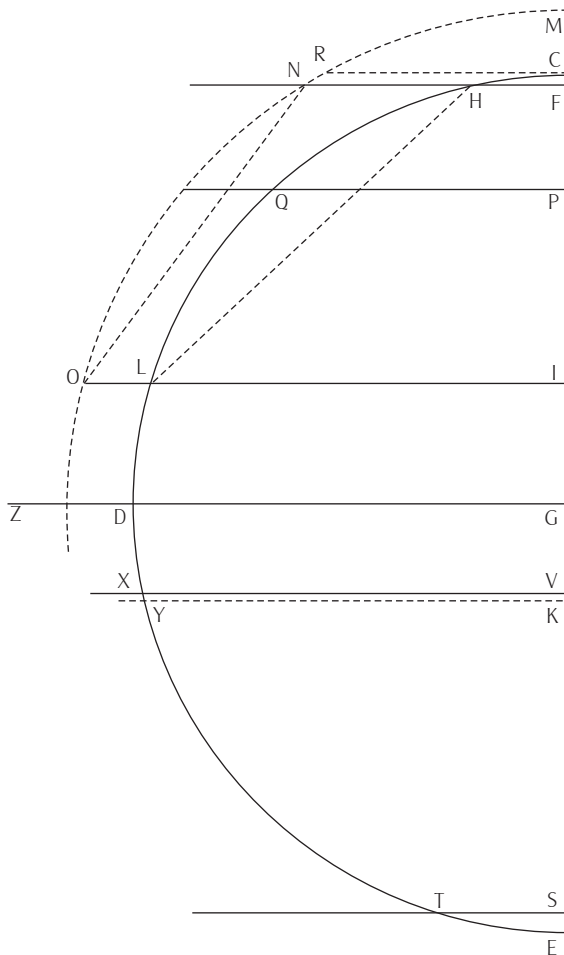
Figura 3 Dibujos de las manchas solares realizados por Galileo entre el 1 y el 8 de julio de 1612. Esta serie muestra el cambio en la distancia que separa a las manchas A y B conforme rotan con el Sol



Su hipótesis era que las manchas debían estar sobre la superficie del Sol y, para demostrarla, combinó la información visual resultante de sus observaciones y su interpretación utilizando las matemáticas. Mediante la medición y comparación sistemáticas de los tamaños y las posiciones de las manchas, encontró tres argumentos que apoyaban su hipótesis. Primero, que las manchas se ven delgadas cuando aparecen por una orilla del Sol, se van ensanchando hasta llegar a un máximo en el centro y luego se vuelven a adelgazar hasta desaparecer por el otro lado. Segundo, que las manchas aparentan viajar más despacio cerca de las orillas y más rápido por la zona central. Por último, que dos manchas se ven más cercanas entre sí cuando están cerca de una orilla, se van separando hasta llegar a una distancia máxima y luego se vuelven a acercar en la otra orilla. Los tres fenómenos observados se explican con facilidad si las manchas están pegadas a la superficie de una esfera que rota de tal modo que cerca de las orillas las vemos escorzadas.

Galileo consideraba que el tercer fenómeno por sí solo era suficiente para demostrar su hipótesis. Para apuntalarlo, utilizó sus observaciones entre el 1 y el 8 de julio, las cuales vemos en la figura 3. Etiquetó como A y B dos manchas que viajaban sobre el mismo paralelo y siguió sus trayectorias conforme avanza-

Figura 4 Diagrama geométrico mediante el cual Galileo demostró que las manchas deben estar sobre la superficie del Sol



ban sobre la cara del Sol. Utilizó el diagrama de la figura 4 y la suposición de que, puesto que el Sol está tan lejos, los rayos que nos llegan de él se pueden considerar paralelos entre sí. En el diagrama, CE representa el diámetro del Sol; CDE es la trayectoria real de las manchas sobre la superficie del Sol y CGE, su trayectoria aparente; H es la posición real de la mancha A el 1 de julio, F es su

posición aparente y FH es el rayo visual al observador; L es la posición real de la mancha B el mismo 1 de julio, I es su posición aparente e IL el rayo al observador, y HL es la distancia real entre A y B.

A partir de esto –dijo Galileo–, podemos ver que FI, la distancia aparente entre A y B el 1 de julio, es menor que la distancia real HL. El 5 de julio, cuando las manchas están a igual distancia del centro D, la distancia aparente que las separa es la distancia real HL. El 8 de julio, la distancia ha decrecido y es, una vez más, como la observada el día 1.

Si se tratara de astros que viajan en una órbita separada del Sol como el arco MNO, entonces el 1 de julio, N es la posición real de la mancha A y O, la de B. La distancia real entre las manchas NO es claramente menor que HL y esto se vería claramente unos días después, cuando se encontraran equidistantes al centro D.

TODOS GANAN

En los dos ejemplos que acabamos de revisar, Galileo utilizó técnicas que eran comunes entre los matemáticos de su época. Lo novedoso fue que las unió con un instrumento recién inventado y dibujos naturalistas para estudiar los cuerpos celestes. Estaba convencido de que la manera de llegar a entender a la naturaleza era mirando con atención, sí, pero también midiendo, calculando y comparando. En su afán por entender lo que veía, demostró la existencia de imperfecciones en el Sol y la Luna, lo cual contradecía la cosmología de Aristóteles.

Si seguimos las trayectorias de Galileo y la astronomía un par de décadas después de 1610, encontramos que la palabra “intersección” en el título de este trabajo no es una exageración. Permanecieron juntos poco tiempo y después cada uno siguió un camino muy distinto. Galileo se volvió el filósofo y matemático de la corte del gran duque de la Toscana, dejó las tareas prácticas y escribió obras cada vez más filosóficas. Tan es así que, si revisamos la totalidad de su obra publicada, las dos que acabamos de ver constituyen la excepción.

Por su parte, la astronomía también sufrió una transformación importante. Se puede decir que la astronomía moderna, como la conocemos hoy, nació entonces. A partir de ese momento, es una combinación de observaciones realizadas con instrumentos, interpretaciones hechas con física y matemáticas, y la sana retroalimentación entre la teoría y la observación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allan-Olney, Mary (1870), *The Private Life of Galileo: Compiled Principally from his Correspondence and that of his Daughter*, Boston, Nichols and Noyes. En Internet: www.archive.org/details/privatelifeofgal00galirich.
- Biro, Susana (2009), *La mirada de Galileo*, México, Fondo de Cultura Económica.
- Bredenkamp, Horst (2001), "Gazing Hands and Blind Spots: Galileo as Draftsman", en Jurgen Renn (ed.), *Galileo in Context*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Brown, H. (1985), "Galileo on the Telescope and the Eye", *Journal of the History of Ideas*, vol. 46, pp. 487-501.
- Drake, Stillman (2003), *Galileo at Work. His Scientific Biography*, Dover Publications.
- Favaro, Antonio (1909), *Opere di Galileo*, Florencia, Edizione Nazionale. En internet, <http://brunelleschi.imss.fi.it/portalegalileo/>.
- Galileo, G. y J. Kepler (2007), *La gaceta sideral - Conversación con el mensajero sideral*, Madrid, Alianza.
- Koestler, A. (2007), *Los sonámbulos. Origen y desarrollo de la cosmología*, México, QED-Conaculta.
- Koyré, A. (2005), *Del mundo cerrado al universo infinito*, México, Siglo XXI.
- Kuhn, T. (1996), *La revolución copernicana*, Barcelona, Ariel.
- Museo de Historia de la Ciencia, Florencia, www.imss.fi.it/index.html.
- Shea, W. (1970), "Galileo, Scheiner, and the interpretation of Sunspots", *Isis*, vol. 61, núm. 4, pp. 498-519.
- The Galileo Project: galileo.rice.edu.
- Winkler, M. y A. van Helden (1992), "Representing the Heavens: Galileo and Visual Astronomy", *Isis*, vol. 83, núm. 2, pp. 195-217.

DATOS DE LA AUTORA

Susana Biro

Dirección General de Divulgación de la Ciencia,
Universidad Nacional Autónoma de México, México
sbiro@servidor.unam.mx