

¿Astronomía para qué?

Manuel Peimbert Sierra¹

El escritor Augusto Monterroso nos dejó la siguiente frase: ¡Pocas cosas como el universo!

Considero que la astronomía sirve para ponernos en nuestro lugar en el universo. Ya con esto bastaría para justificar su práctica, pero con el paso del tiempo puedo decir que sirve para varias cosas más. Las primeras observaciones sirvieron a las necesidades de los agricultores para elaborar calendarios que les permitieran saber cuándo sembrar y cuándo recoger la cosecha. También sirvieron para señalar las fechas del culto a los dioses y las fechas de las fiestas religiosas.

Más tarde hubo necesidad de hacer calendarios para los asuntos civiles, así se hicieron registros sistemáticos de los fenómenos astronómicos, incluso meteorológicos para determinar los ciclos de los planetas, de la luna y del sol y para hacer predicciones de los eclipses. También la astronomía influyó en la navegación y la construcción de las tumbas, los templos y los grandes edificios.

En el siglo IV antes de nuestra era los griegos establecieron que la Tierra era esférica. Aristarco, en el siglo II antes de nuestra era, logró hacer una muy buena aproximación de la medida de la circunferencia de la Tierra. Como vemos la astronomía sirve para decirnos la forma del planeta y de qué tamaño es.

¹ Instituto de Astronomía, Universidad Nacional Autónoma de México.

El Colegio Nacional.

El presente documento es versión íntegra de la ponencia presentada por Manuel Peimbert Sierra a el jueves 22 de octubre de 2020, en el marco del 5º. Encuentro Libertad por el Saber “¿Cuál desarrollo para un planeta sustentable?”, coordinado por Julia Carabias, llevado a cabo del 18 al 24 de octubre de 2020 en El Colegio Nacional.

El formato, contenido, expresiones y planteamientos expresados en ella son a título personal y responsabilidad del autor, al igual que los materiales referidos dentro de la ponencia.

En caso de querer reproducir total o parcialmente este documento, le solicitamos contactarnos a través del siguiente correo contacto@colnal.mx.

Ptolomeo (100-170) en el siglo II de nuestra era hizo una recopilación del conocimiento de la época en su gran libro: *El Almagesto*. En él propuso que la Tierra estaba inmóvil y ocupaba el centro del universo y que el Sol, la Luna, y los planetas giraban alrededor de ella. Una ilustración de la visión de Tolomeo se muestra en la figura 1 donde la Tierra se presenta como el centro del universo (Figura 1).

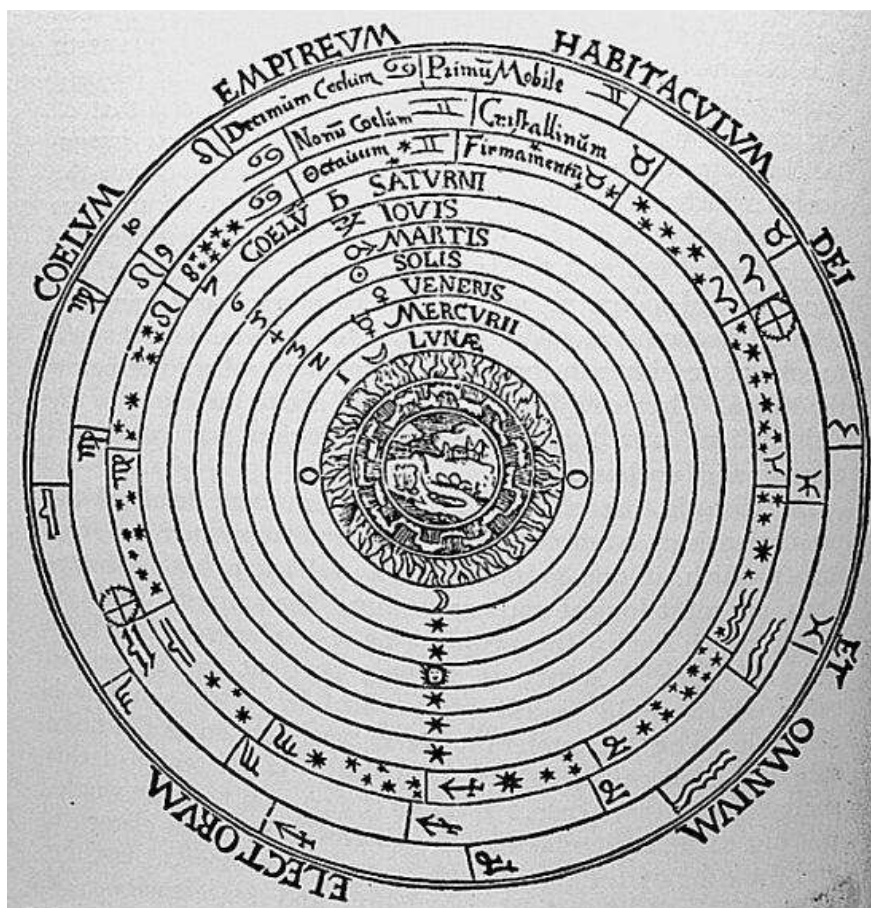


Figura 1. Mapa del cielo de acuerdo a la versión del universo de Ptolomeo. En el centro se encuentra la Tierra. En círculos sucesivos se encuentran: la Luna, Mercurio, Venus, el Sol, Marte, Júpiter, Saturno, y las estrellas fijas.

Fuente: Wikipedia. Petrus Apianus *Cosmographia*, 1524.

El astrolabio era conocido desde antes que Ptolomeo escribiera su *Almagesto* (Figura 2). Para los romanos significó un renacimiento de la astronomía, permitía determinar la altura

sobre el horizonte de las estrellas y también se usaba para calcular la latitud si se conocía la hora local o para determinar la hora local si se conocía la latitud.

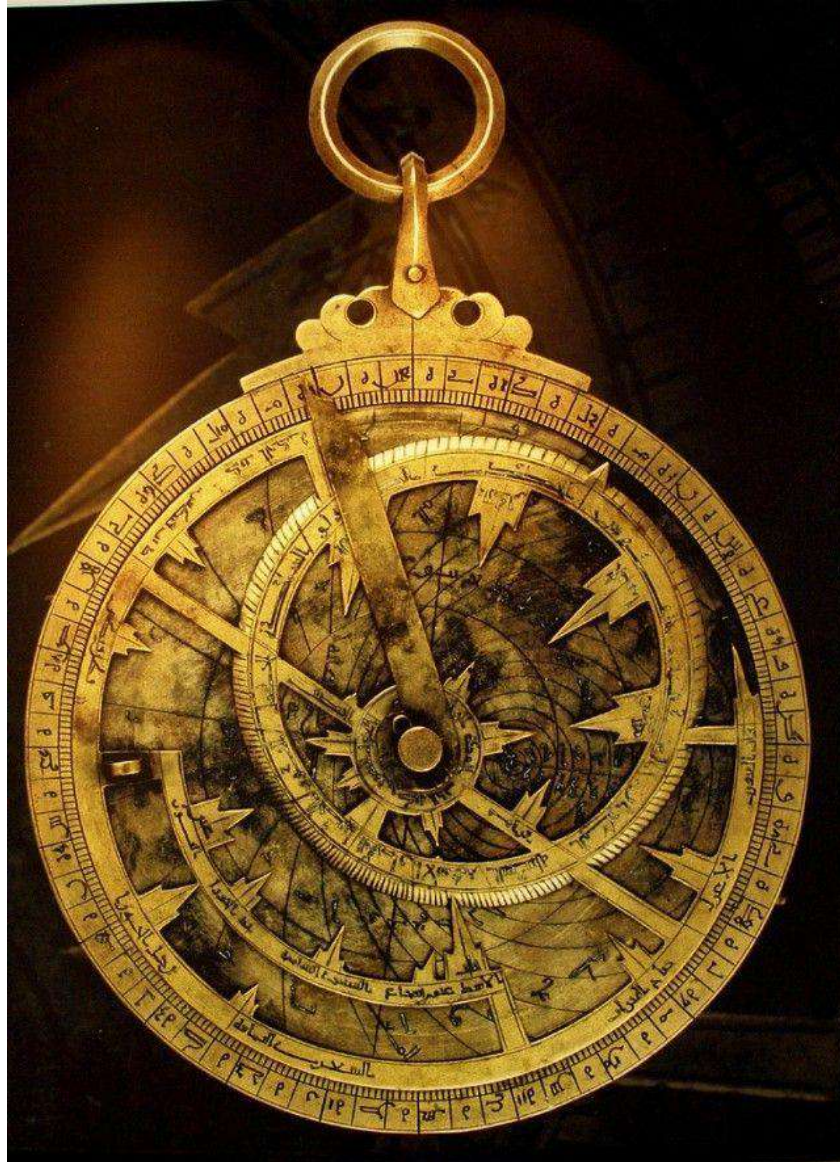


Figura 2. Astrolabio, instrumento que basándose en las estrellas permitía determinar la hora local en las ciudades, o la latitud para los navegantes, basándose en la observación de las estrellas.

Fuente: de <https://maticasycosmos.wordpress.com/2013/12/21/el-astrolabio>

Copérnico (1473 - 1543) acabó con la idea de que la Tierra era fija y que el Sol giraba alrededor de la Tierra. Propuso que: a) la Tierra y los demás planetas giran alrededor del Sol, b) la Tierra gira sobre su eje cada 24 horas, lo cual explica el movimiento aparente del Sol en la bóveda celeste, c) la Tierra tiene un movimiento de traslación, d) que le lleva un año recorrer una órbita alrededor del Sol, y e) que la velocidad de traslación de los planetas disminuye con la distancia al Sol.

Galileo (1564-1642) construyó muchos telescopios. Observó el cielo con sus telescopios lo que le permitió obtener descubrimientos fundamentales como son la existencia de manchas solares, de montañas y cráteres en la Luna, de los cuatro satélites de Júpiter, de las fases de Venus y además al analizar la Vía Láctea se da cuenta de que el brillo tenue se debe a un sinnúmero de estrellas y no a una nube gaseosa. En su libro *Sidereus Nuncius* (1610) Galileo escribió sobre la Vía Láctea: “...no es pues otra cosa que un conglomerado de innumerables estrellas reunidas en montón. Hacia cualquier región que se dirija el antejo, inmediatamente se presenta a la vista una ingente cantidad de estrellas...”

Posteriormente en el libro *Diálogos sobre los dos máximos sistemas del mundo* recoge la visión copernicana de que el Sol es el centro del sistema y refuerza esta visión con sus observaciones de los satélites de Júpiter.

Kepler (1571-1630) al tratar de explicar las posiciones de los planetas encontró que: a) los planetas tienen movimientos elípticos y que el Sol se encuentra en uno de los dos focos de la elipse, b) las áreas barridas por los cuerpos celestes son proporcionales al tiempo usado por aquellos en recorrer los perímetros de esas áreas, y c) el cuadrado de los periodos de la órbita es proporcional al cubo de las distancias al Sol. A estos descubrimientos se les llama las Leyes de Kepler.

Newton (1642-1726) fue matemático, físico y astrónomo, entre muchos de sus resultados deseo señalar el siguiente: construyó el primer telescopio de reflexión (basado en espejos y no únicamente en lentes). Los conceptos del heliocentrismo y la nueva mecánica celeste de Newton pusieron a la astrología en entredicho y el término astronomía, que se encargaba de medir y describir el movimiento observado de los astros, pasó a ser el nombre que se ocupa del estudio del universo no solo de los astros. La astrología ya tenía muchos detractores desde tiempo atrás.

A finales del siglo XVIII William Herschel (1738-1822) hizo pasar la luz de las estrellas más brillantes a través de un prisma, en el ocular de uno de sus telescopios reflectores, y así se dio cuenta de que el espectro de cada estrella era diferente y no encontró explicación para ello.

Poco a poco, con cada vez mayores telescopios se ha avanzado en conocer la estructura del universo. Uno de los resultados más importantes es que todos y cada uno de los cuerpos u objetos celestes no son inmutables, que cambian continuamente y además todos los cuerpos se mueven en el espacio.

Por ejemplo, ya en la década de 1920 se determinó que las estrellas están agrupadas en sistemas separados unos de otros, lo que llamamos galaxias. Y en 1929 se encontró que las galaxias más alejadas se alejan con velocidades cada vez más altas, lo cual llevó a la conclusión de que el universo está en expansión.

A partir de los sesenta y hasta la fecha las observaciones de la radiación cósmica de fondo y las de la abundancia del hidrógeno y helio primordial, confirmaron que la expansión del universo procede de la gran explosión, que ahora sabemos que ocurrió hace 13,800 millones de años, tres veces la edad de la Tierra.

En este apretado relato de la astronomía deseo señalar algunos de los resultados recientes sobre el estudio del universo. Los resultados son muchos y variados, sin embargo solamente mencionaré algunos de los más espectaculares. Hablaré del descubrimiento de la materia oscura, de la energía oscura, de los exoplanetas, de exoplanetas en formación y del centro de la Galaxia.

Materia oscura y expansión acelerada

Fritz Zwicky en 1933, observó que las galaxias del cúmulo de Coma se mueven muy rápido con relación a la masa del cúmulo y propuso que esto se debía a la presencia de materia invisible entre las galaxias. Vera Rubin en 1968 al observar la galaxia de Andrómeda encontró que la velocidad de rotación de las estrellas como función de la distancia al centro de dicha galaxia se mantenía constante en lugar de disminuir, lo cual atribuyó a la presencia de la materia oscura; a lo largo de los años también encontró el mismo comportamiento en muchas otras galaxias espirales.

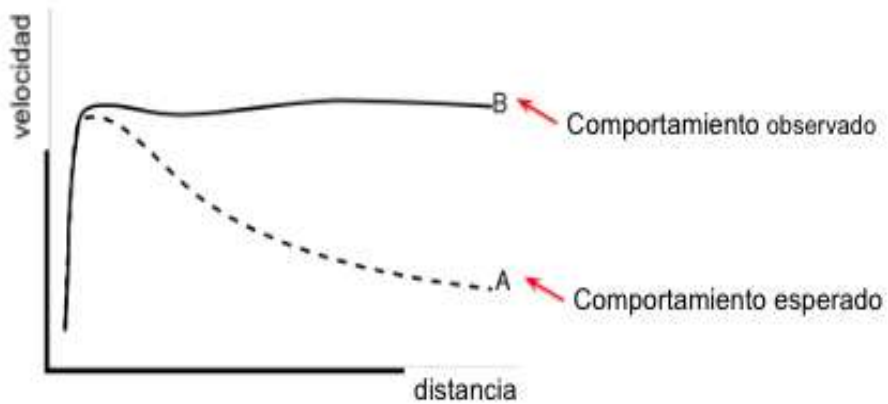


Figura 3. Galaxia espiral NGC 4414. La velocidad de rotación de las estrellas debida a los elementos de la Tabla periódica en las galaxias espirales debería de disminuir con la distancia. Como no es así debe de haber otro componente de la masa que desconocemos y que se le llama materia oscura.

Fuente: NASA.

En la figura 3 se muestra una fotografía de la galaxia NGC 4414, y también una gráfica de cómo se comporta la velocidad de rotación de las estrellas como distancia al centro de la galaxia. La curva esperada, debida al gas y las estrellas, es la línea segmentada que muestra una disminución de la velocidad de rotación de las estrellas como función de la distancia al centro, mientras que la curva observada presenta una velocidad constante. El comportamiento observado implica que hay seis veces más masa que la debida al gas y las estrellas. A este exceso de masa se le llama la materia oscura y no sabemos a qué se debe, sabemos que no se debe a los elementos de la tabla periódica.

Uno de los grandes problemas es tratar de determinar cómo se comporta el universo en su conjunto. Para ello es necesario conocer las distancias y velocidades de los objetos más lejanos.

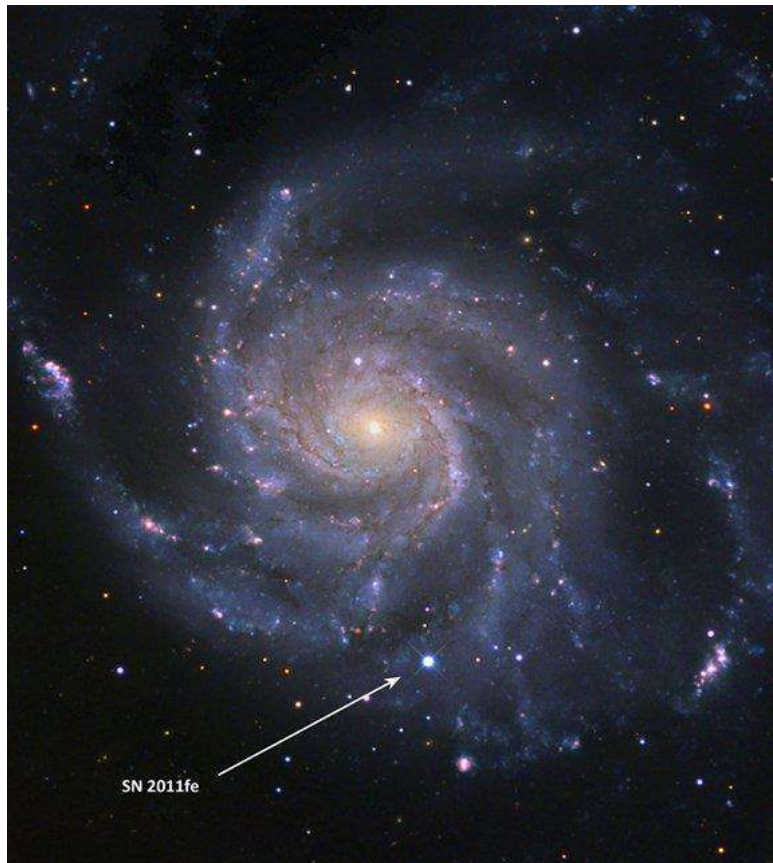


Figura 4. Galaxia espiral M101. La supernova SN2011fe es de tipo Ia, la luminosidad de estos objetos permite determinar la distancia de las galaxias con mucha precisión.

Fuente: Cortesía de Lawrence Berkeley National Laboratory.

En la figura 4 se muestra la galaxia M101, en la que se observó la explosión de una supernova de tipo Ia en el año 2011. Esta galaxia se encuentra a 27 millones de años luz de distancia y los detalles de sus brazos espirales corresponden a millones de estrellas. En esta imagen se puede apreciar el brillo tan intenso de la supernova cuando está en su máxima intensidad. Se ha demostrado a partir de galaxias cercanas que este tipo de supernovas tienen la misma luminosidad al momento de la explosión y eso permite determinar su distancia con gran precisión.

De las observaciones de las supernovas de tipo Ia Perlmutter, Schmidt y Reiss en 1995 encontraron que el universo está en expansión acelerada. Al estar el universo en expansión acelerada se concluye que hay una energía adicional cuyo origen desconocemos todavía, y a la que se le ha denominado “energía oscura”. En 2011 Perlmutter, Schmidt y Reiss obtuvieron el premio Nobel por este resultado.

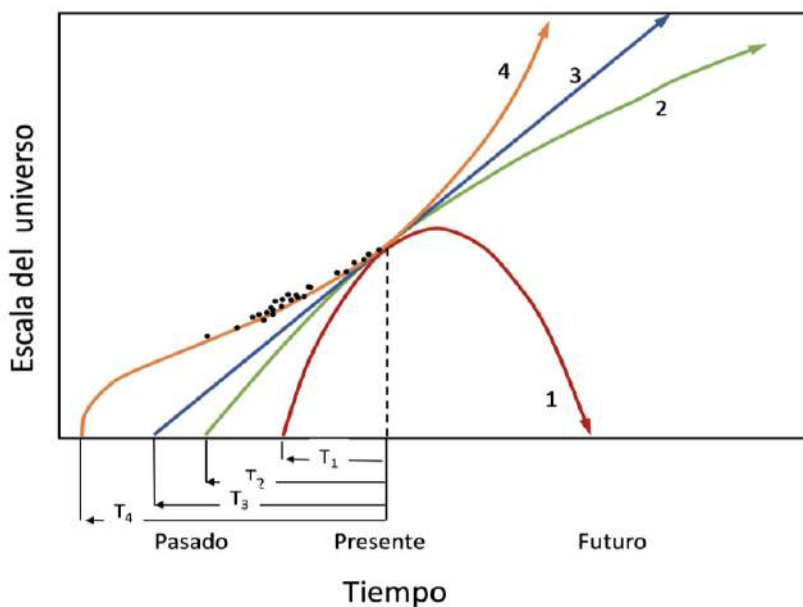


Figura 5. Se presentan 4 modelos para explicar la evolución del universo. Los cuatro modelos coinciden en el presente. También se presentan en la figura un conjunto de puntos que corresponden a supernovas de tipo Ia en galaxias que se encuentran a distancias distintas de nosotros. El modelo que ajusta las observaciones indica que las supernovas se están acelerando con relación a nosotros, lo cual indica que existe una expansión acelerada del universo.

Fuente: Curva adaptada de Wikipedia.

Este resultado lo podemos mostrar esquemáticamente mediante los modelos siguientes del comportamiento del universo. En la figura 5 se presentan diversas opciones. Ahí se representan cuatro familias de modelos de la evolución del universo. El modelo 1 corresponde a una expansión que es frenada por la atracción debida a la masa del universo. El modelo 2 corresponde al caso en que la expansión se enfrena en un tiempo infinito. El modelo 3 corresponde a un universo en que la velocidad de expansión se mantiene constante. Sin embargo, al ajustar las observaciones de supernovas de tipo Ia, que se muestran como puntos negros, es necesario representarlas mediante el modelo 4. Este conjunto de observaciones demuestra que el universo, no solamente está en expansión, sino que la expansión es acelerada, lo cual implica que existe una energía oscura responsable de la aceleración.

La materia ordinaria está formada por todos los elementos de la tabla periódica y contribuye con el 5% de la masa del universo, la materia oscura contribuye con el 27% y la energía oscura con el 68%. Los astrónomos, los físicos, y los químicos saben mucho sobre los elementos de la tabla periódica, pero casi nada sobre la materia oscura y la energía oscura.

Exoplanetas

Otro resultado que me parece de enorme importancia es el estudio de los planetas alrededor de las estrellas, ahora llamados exoplanetas. Michel Mayor y Didier Queloz descubrieron el primer planeta en otra estrella que no es el Sol. Es decir, descubrieron planetas fuera del sistema solar.

Este tipo de observaciones son extremadamente difíciles pues hay que ocultar la luz de la estrella central que es millones de veces más brillante que la luz que refleja el planeta.

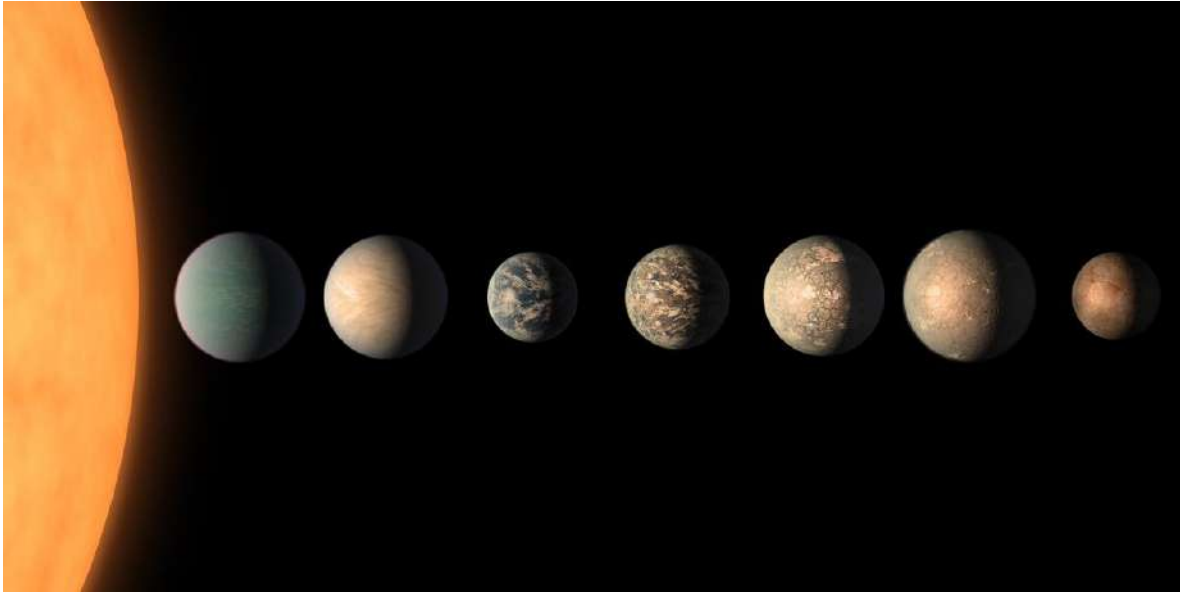


Figura 6. La estrella TRAPPIST-1 tiene siete planetas, de los cuales cuando menos tres se encuentran en la zona habitable de este objeto. En 2015 se le encontraron tres planetas y en 2017 otros cuatro.

Fuente: NASA/JPL-Caltech.

Un ejemplo de sistemas planetarios es el sistema TRAPPIST-1 al cual se le han detectado 7 planetas asociados a la estrella. Por cierto, sabemos que al menos 3 de estos planetas están en la zona habitable de esta estrella, lo que ha despertado un gran interés en su estudio. La figura 6 es una representación artística del caso, pues no es posible ver la estrella ni los planetas con este detalle.

Se ha encontrado que hay muchas estrellas con sistemas planetarios. Sobre la posibilidad de la existencia de estos cuerpos se había especulado mucho, por lo que su descubrimiento en 1995 resultó un gran hallazgo. Fue fruto de observaciones muy cuidadosas. Actualmente se han detectado más de 4300 exoplanetas y que son más de 3200 estrellas a las cuales se les ha detectado uno o más planetas.

Discos protoplanetarios

Siguiendo la lista de resultados recientes que me han llamado mucho la atención, puedo señalar las observaciones de los discos de materia alrededor de estrellas en formación. Ha

sido espectacular conocer que, durante el proceso de formación de algunas estrellas, estas se encuentran rodeadas de discos de materia en los que se están formando sus planetas. Aunque ya había información sobre estos discos, apenas en 2014 se pudieron observar directamente en HL Tauri, (Figura 7) que es una estrella T Tauri en la constelación del Toro a una distancia de 450 años luz, y que tiene una edad menor a cien mil años. Está rodeada por un disco protoplanetario marcado por bandas oscuras que se cree indican la formación de planetas en cada una de ellas. Esta imagen es del interferómetro ALMA en el desierto de Atacama en Chile.

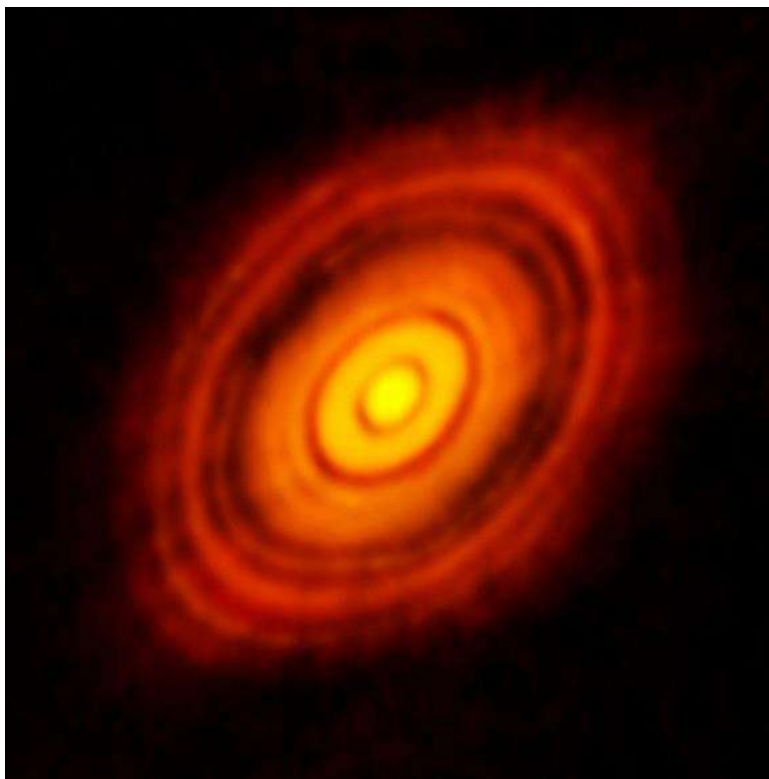


Figura 7. HL Tauri, el nacimiento de un sistema solar. Cada surco en el disco de esta estrella se interpreta como un planeta en formación alrededor de una estrella que se está formando.

Fuente: Wikipedia. ALMA (ESO/NAOJ/NRAO) NSF, 2014.

Y ahora resulta que los sistemas protoplanetarios son parte de la formación de las estrellas. Es decir, que no son casos extraordinarios, sino muy frecuentes.

Estructura de la vía láctea

También sabemos cuál es la estructura de nuestra galaxia. En años recientes se ha podido representar la localización de la barra de estrellas en la parte central, y los brazos espirales dominantes, así como los brazos secundarios y la localización del sistema solar (Figura 8).



Figura 8. Un grupo de radioastrónomos coordinado por Ed Churchwell elaboró esta representación de nuestra galaxia donde se muestra claramente los brazos espirales y una estructura barrada en su centro.

Fuente: NASA/JPL-Caltech/R. Hurt (SSC-Caltech).

Resulta de enorme interés saber que en el centro de nuestra galaxia hay un hoyo negro de cuatro millones de masas solares. Aunque ya había evidencia de su existencia, las observaciones del conjunto de estrellas en el centro de la galaxia permitieron determinar en apenas 30 años las trayectorias de algunas de las estrellas. Así se encontró que una de ellas, denominada S2, tiene una órbita de 15 años y describe una elipse alrededor de un punto que no alcanzamos a ver y que es necesario interpretar como un hoyo negro de gran masa que está precisamente en el centro de nuestra galaxia (Figura 9). Ahí se representa la órbita de esta estrella de veinte masas solares. Estas investigaciones fueron realizadas por dos grupos independientes liderados por Andrea Ghez y Reinhard Genzel por cuyo resultado recibieron el Premio Nobel de Física en 2020.

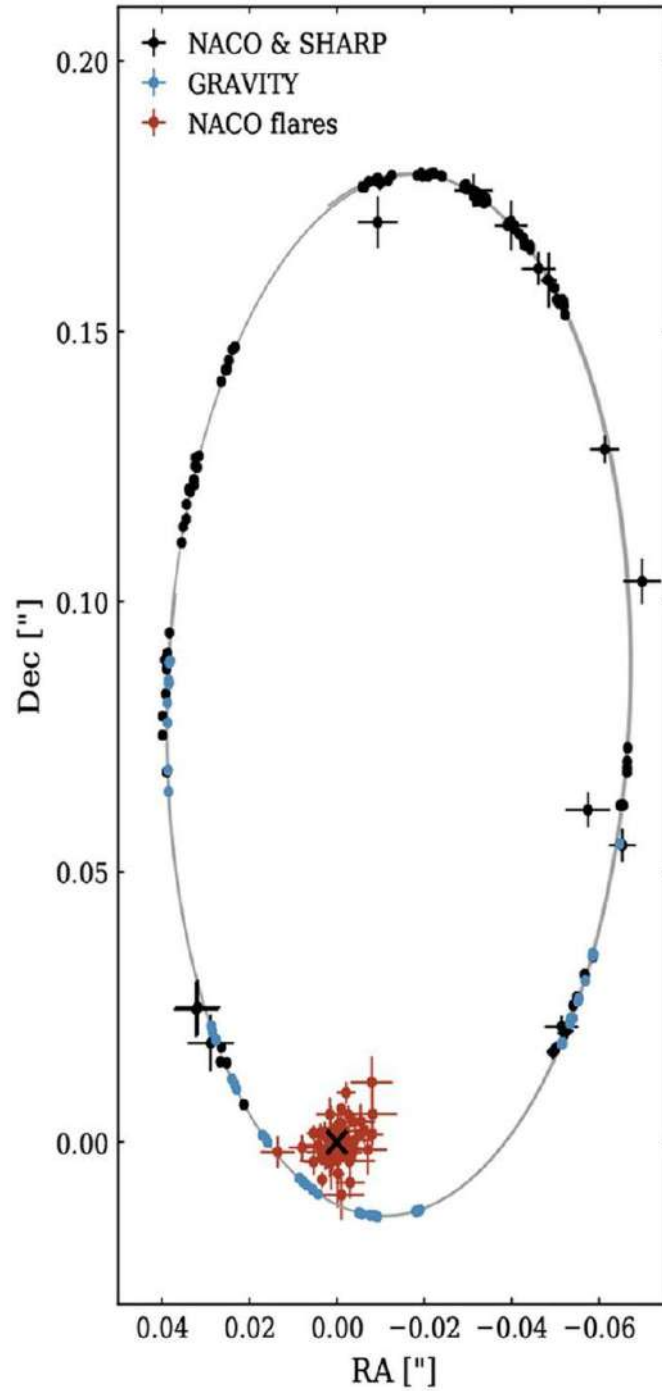


Figura 9. Se muestra la órbita elíptica de la estrella S2 que tiene un período de 15.6 años y gira alrededor de un hoyo negro con una masa de 4 millones de veces la del sol. El hoyo negro está abajo a la izquierda dentro de la órbita de la estrella S2. El eje vertical es la declinación en segundos de arco y el eje horizontal es la ascensión recta también en segundos de arco.

Fuentes: Abuter, R. *et. al.* 2020 *Astronomy & Astrophysics* Vol. 636L, p.5.

Además, en mayo de 2018 la estrella S2 pasó tan cerca del hoyo negro que se pudieron apreciar los efectos de relatividad general de Einstein predichos por la teoría, es decir que sufriera un abrillantamiento y un enrojecimiento al pasar cerca del hoyo negro central.

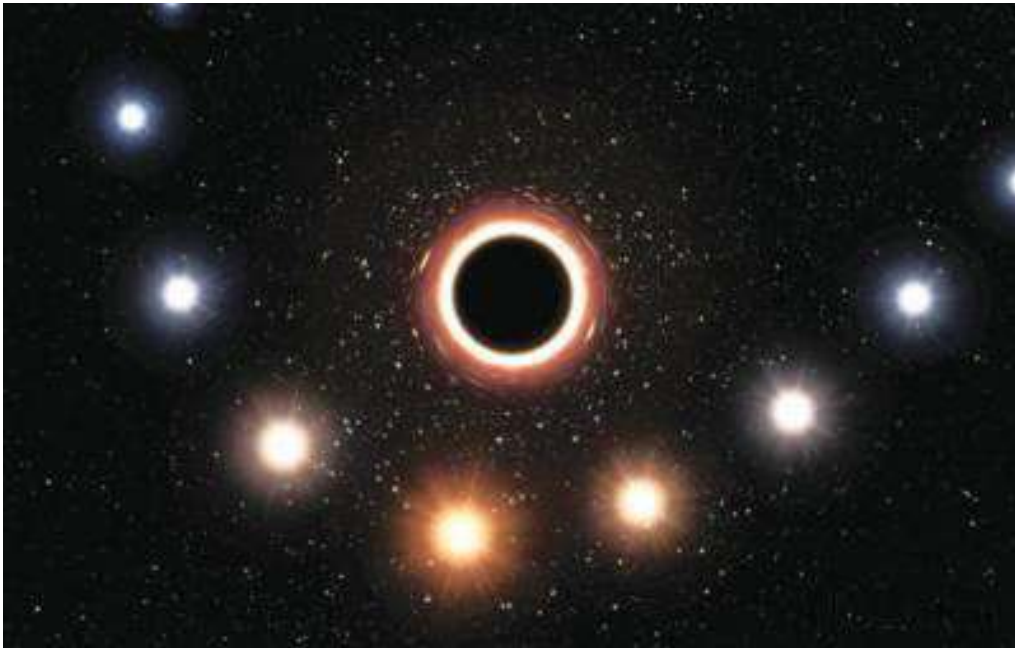


Figura 10. El objeto central es el hoyo negro del centro de la galaxia. Se muestra parte de la trayectoria de la estrella S2 en su trayectoria alrededor del hoyo negro. La estrella S2 es de color azul y al acercarse al hoyo negro la luz cambia de color (se enrojece) de acuerdo con las predicciones de la relatividad general de Einstein.

Fuente: M. Kornmesser / ESO Science News.

La figura 10 es un dibujo elaborado por un artista (ESO/M. Kornmesser) basado en un mosaico de imágenes tomadas en distintas fechas que muestran la posición y el brillo de la estrella, el hoyo negro es el objeto en el centro, la estrella S2 es de color azul de tipo B0-2 con una masa alrededor de 20 veces la solar. Al acercarse al hoyo negro la estrella S2, debido a la teoría general de la relatividad, los fotones azules se enrojecen y al alejarse la estrella S2 los fotones vuelven a ser azules.

Consideraciones finales

En conclusión, la astronomía nos ha permitido estudiar las componentes del universo y el universo en su totalidad.

Todo este conocimiento se apoya en la física, las matemáticas y el cómputo, pero en todo momento se basa en observaciones de todas las longitudes de onda desde las altas energías, hasta el visible, infrarrojo, microondas y radio. Por lo anterior es indispensable tener la oportunidad de continuar disponiendo de cielos oscuros y radio quietos, cielos despejados que no estén contaminados por luces artificiales. Por su parte, las observaciones de radio requieren que diversas regiones del espectro electromagnético no estén afectadas por señales de nuestros sistemas de comunicación. Este gran tema será presentado por los colegas que me siguen en esta sesión.