

Arreglo digital
de un campo de
estrellas.

LA FORMACIÓN DE SISTEMAS PLANETARIOS: TEORÍA Y OBSERVACIONES

Iniciando con una descripción del fascinante proceso de formación de las estrellas y planetas, se llega a una propuesta de cómo hacer investigación astronómica en Colombia, en el marco del uso pacífico del espacio.

Por: Juan Rafael Martínez Galarza¹

El proceso de formación de otros sistemas solares es sin lugar a dudas una de las áreas de estudio más fascinantes de la astronomía moderna. En los años recientes, soportados en observaciones llevadas a cabo con telescopios puestos en el espacio, los astrónomos del mundo entero se han embarcado en una nueva etapa de la travesía científica que se inició en la Antigüedad griega con las ideas de Epicuro (341–270 a.C.), quien en su carta a Heródoto sugirió que “existe un número infinito de mundos, algunos parecidos a este, otros distintos” [1]. En este artículo pretendo describir el estado actual de nuestro conocimiento sobre el proceso de formación de sistemas planetarios con una pequeña mención al aporte que la última generación de telescopios espaciales ha hecho a esta rama particular de la astronomía, íntimamente ligada al estudio de nuestros propios orígenes. Cómo pueden los investigadores e instituciones colombianas, en mi opinión, tomar parte en éstos nuevos descubrimientos ocupa la parte final de este escrito.

El surgimiento de planetas en un sistema estelar determinado está relacionado de manera directa con el nacimiento de las fuentes de energía y luz que los sustentan: las estrellas mismas. Desde 1995, cuando Michel Mayor y Didier Queloz reportaron desde Ginebra el descubrimiento del primer planeta extrasolar² alrededor de una estrella de tipo solar [2], cerca de 200 nuevos mundos han sido detectados, la mayoría de ellos orbitando soles similares al nuestro, aunque con órbitas muy diferentes a las que determinan el movimiento de nuestros hermanos planetarios y de nuestra propia Tierra. Tal vez el más interesante de estos descubrimientos es la reciente detección de un planeta rocoso a 20 años luz de distancia con tan sólo cinco veces la masa de la Tierra, el más pequeño reportado hasta el momento, cuya temperatura superficial está entre los 0 y los 40 grados centígrados, lo que lo hace un mundo muy propicio para albergar agua líquida y posiblemente, vida.³ De las muchas diferencias que hemos encontrado entre aquellos sistemas estelares y el nuestro, las más impactantes tienen que ver con las órbitas altamente elongadas que se han observado en la mayor parte de estos exoplanetas y con la existencia de los llamados “Júpiteres Calientes”, planetas gigantes gaseosos cuya proximidad a su estrella nos ha hecho dudar de las teorías clásicas en

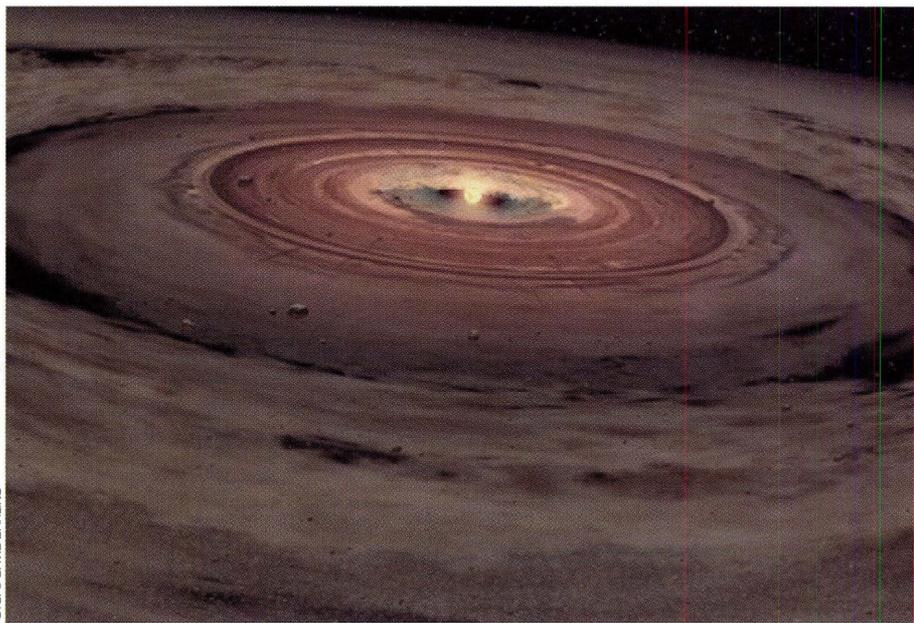


FOTO © DAVID DARLING

formación estelar y planetaria. Si estudiamos con cuidado las observaciones, empieza a parecer evidente que la configuración final de un sistema planetario se logra tras un complejo proceso de acreción de material por parte de la estrella y de interacción de los planetas primitivos con el disco de polvo y gas del cual se formaron.

Al interior de una galaxia espiral ordinaria, los procesos que gobiernan el surgimiento de nuevos soles tienen que ver principalmente con la gravedad y la dinámica de gases.

Fenómenos espontáneos como la turbulencia propia del gas y el polvo que llenan el espacio entre las estrellas, o inducidos, como la explosión de supernovas y la expansión de regiones HII, dan lugar a la creación de densas nubes formadas principalmente por hidrógeno molecular (H₂) que se extienden por unos cuantos años luz y cuyas densidades son del orden de 1000 partículas por centímetro cúbico⁴. Al interior de estas nubes moleculares, aglomeraciones más pequeñas con densidades típicas de entre 10 mil y un millón de partículas por centímetro cúbico son el primer embrión de lo que en escalas de tiempo de 10 millones de años se convertirá en una nueva estrella de baja masa, similar al Sol⁵. El colapso gravitacional de estos cúmulos sucede en varios estadios: la rotación del conjunto conduce a la formación de un disco circumestelar inmerso en una envoltura gaseosa en donde el material más pesado (i.e., granos de polvo, etc.) tiende a sedimentarse hacia el plano del disco. La envoltura gaseosa

1 Estudiante de maestría en el Observatorio de Leiden, Países Bajos

2 Llamamos planeta extrasolar a un planeta que orbita una estrella diferente del Sol.

3 Una región HII se forma alrededor de una estrella joven cuya radiación ioniza el gas a su alrededor.

4 A manera de comparación, la densidad aproximada del espacio en las inmediaciones del Sol es de 1 partícula por centímetro cúbico

5 La formación de estrellas con masa superiores a 8 veces la masa de nuestro Sol, no ha sido estudiada en detalle, pero tenemos razones para creer que se trata de un proceso diferente en varios aspectos.

El resultado del proceso es un sistema planetario como el nuestro.

es acreta hacia la protoestrella y hacia el disco a medida que el momento angular es transportado hacia las regiones exteriores del mismo. Una vez la acreción cesa, el resultado es una estrella joven con un disco de polvo y gas—denominado disco protoplanetario—cuya evolución es dominada por el campo magnético de la estrella y la turbulencia, en lo que llamamos una estrella tipo T-Tauri.

A partir de ese momento, el éxito o fracaso de un potencial sistema planetario dependerá del balance entre varios procesos que tienden a dispersar el disco y la capacidad de los planetas para formarse mientras haya material suficiente en las inmediaciones de la estrella. En la actualidad persiste un interesante debate entre dos puntos de vista a propósito de la formación de planetas gigantes gaseosos. Una de las teorías aboga por un proceso de formación rápido a partir de inestabilidades gravitacionales en el disco que harían colapsar una porción del gas para formar un planeta gigante en escalas de tiempo de 100 mil a un millón de años. De acuerdo con este modelo, la presión interna del nuevo planeta se encargaría de formar un núcleo rocoso a partir de los compuestos menos volátiles. Los contradictores de esta teoría argumentan que para lograr la formación de un planeta del tamaño de Júpiter, la teoría de inestabilidad gravitacional requiere de discos cuyas masas están muy por encima de las masas de los discos protoplanetarios observados hasta el momento. Además, no es muy claro cómo este mecanismo conduciría a la formación de planetas pequeños y rocosos como la Tierra.

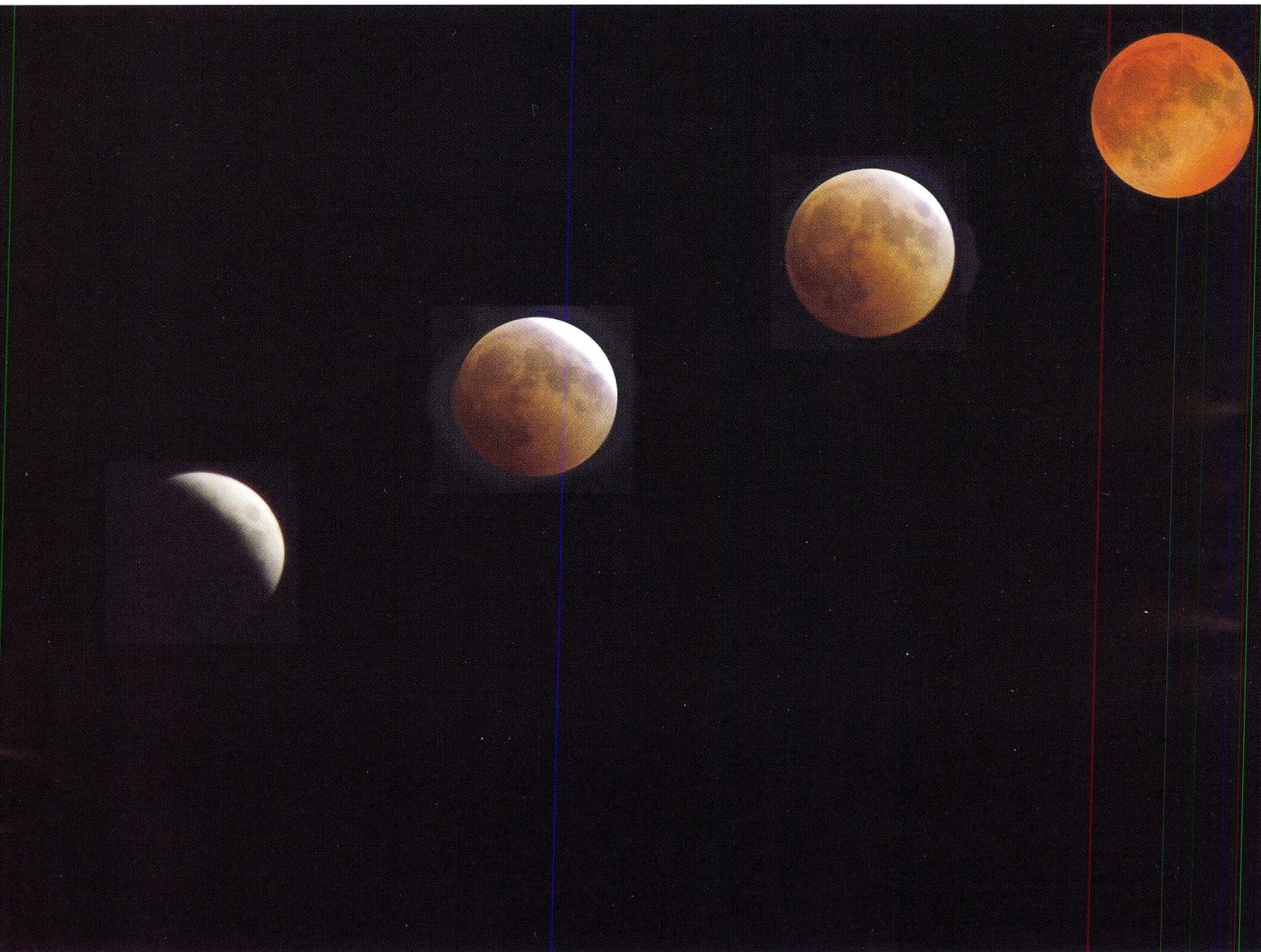
Por otro lado, una mayoría cada vez más grande considera más plausible la formación inicial de núcleos rocosos de entre 10 y 15 masas terrestres que acretan gas del disco para procurarse una densa atmósfera propia. El viento estelar o la rápida dispersión del disco dejarían a algunos de estos núcleos (i.e., los planetas terrestres) sin posibilidades de acumular grandes cantidades de gas. Uno de los puntos débiles de esta segunda teoría es lo ineficaces que han resultado los modelos para explicar la formación de los núcleos rocosos primigenios. Sea cual sea la teoría que termine imponiéndose, deberá incluir también un mecanismo que ha adquirido relevancia en los últimos años para explicar la existencia de “Júpiteres Calientes” y las características de nuestro propio Sistema Solar. Me refiero a la migración planetaria, que consiste en el movimiento radial de los planetas en proceso de formación como producto de su



FOTO: STOCKXPRT.

interacción con el disco. Adicionalmente, es importante mencionar que a lo largo de todo este procedimiento varios tipos de reacciones químicas tienen lugar a causa de la constante irradiación del gas por parte de la luz de la estrella y de la interacción de pequeñas moléculas en la superficie de los granos de polvo⁶. Los compuestos finales serán incorporados a los planetas recientemente formados. El resultado del proceso es un sistema planetario como el nuestro.

No todo se queda en la teoría. La impresionante sensibilidad de los telescopios modernos ha permitido a los astrónomos corroborar o refutar sus predicciones en cada uno de los estadios de la formación estelar descritos anteriormente.



Los radiotelescopios en tierra observan la radiación producida por cambios en la energía rotacional de las moléculas que conforman las densas nubes de gas donde la historia empieza, y permiten la elaboración de extensos mapas que revelan las condiciones físicas y químicas de estas regiones. Las cámaras instaladas en el telescopio espacial Hubble han revelado la presencia de discos protoplanetarios tan densos que opacan por completo la luz del gas ionizado localizado detrás de ellos y el telescopio espacial Spitzer ha detectado la luz infrarroja emitida por los granos de polvo presentes en los discos que rodean a las estrellas T-Tauri.

Una nueva generación de telescopios que será puesta en el espacio en el transcurso de

la próxima década, incluyendo el Buscador de Planetas Terrestres (TPF, por sus siglas en inglés) o la Misión Interferométrica Espacial (SIM) estudiará por primera vez la luz reflejada en las nubes y superficies de mundos lejanos que hasta el momento sólo han sido detectados indirectamente, y entonces podremos empezar a buscar señales inequívocas de actividad biológica en otros lugares de la Vía Láctea.

El fascinante mecanismo a través del cual las estrellas y los planetas se forman es un área de las ciencias astronómicas en que Colombia podría hacer algunos aportes significativos en los próximos años. Es además un campo muy propicio para la creación de un nuevo programa de doctorado en astrofísica en el país. La receta es

6 Para una descripción más detallada de la química en el proceso de formación estelar, ver por ejemplo Hogerheijde, M. [4]

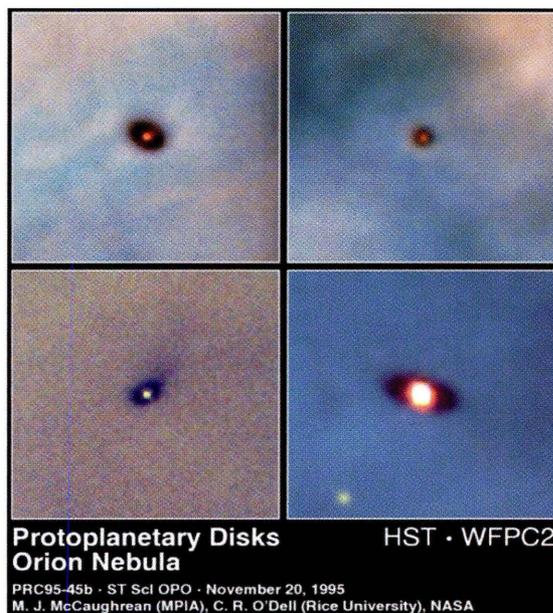


muy sencilla: necesitamos investigadores, datos y retroalimentación por parte de la comunidad científica internacional. Hoy en día los datos pueden ser obtenidos con telescopios internacionales que tienen cierta cantidad de tiempo de observación reservada para astrónomos de cualquier nacionalidad, cuyo único requisito es tener buenas ideas. De otro lado, contamos con varios científicos y estudiantes graduados colombianos haciendo investigación en este campo en prestigiosas instituciones del mundo. Ayudar a crear un ambiente de investigación propicio para que ellos y otros astrónomos tengan la opción de hacer su ciencia desde Colombia debe ser una de las tareas de la recientemente creada Comisión Colombiana del Espacio, en su objetivo de optimizar la contribución de las ciencias espaciales al desarrollo social, económico y cultural del país.

En un contexto más general, para una nación que inicia apenas su exploración pacífica del espacio, hacer investigación en astronomía tiene una motivación muy pragmática: una cercana interacción entre astrónomos e ingenieros es indispensable cuando sea necesario formular programas y desarrollar satélites con propósitos específicos. Adicionalmente, en un momento en que el calentamiento global ha adquirido las dimensiones políticas que estamos presenciando, obtener conocimiento que permita poner a nuestra Tierra en un contexto ambiental más amplio significará una ventaja al momento de participar en el desarrollo de alternativas de sostenimiento climático. Colombia tiene ahora una nueva generación de telescopios que será puesta en el espacio en el transcurso de la próxima década, incluyendo el Buscador de Planetas Terrestres (TPF, por sus siglas en inglés) o la Misión Interferométrica Espacial (SIM) estudiará por primera vez la luz reflejada en las nubes y superficies de mundos lejanos que hasta el momento sólo han sido detectados indirectamente, y entonces podremos empezar a buscar señales inequívocas de actividad biológica en otros lugares de la Vía Láctea.

El fascinante mecanismo a través del cual las estrellas y los planetas se forman es un área de las ciencias astronómicas en que Colombia podría hacer algunos aportes significativos en los próximos años. Es además un campo muy propicio para la creación de un nuevo programa de doctorado en astrofísica en el país. La receta es muy sencilla: necesitamos investigadores, datos y retroalimentación por parte de la comuni-

Efecto de
luces en el
espacio.



REFERENCIAS

- [1] <http://www.epicurus.net/en/herodotus.html>
- [2] Mayor, M; Queloz, D. NATURE V.378, NO. 6555-NOV23, P.355, 1995
- [3] <http://>
- [4] Hogerheijde, M; Astrophysics and Space Science V. 295 P.179, 2004

dad científica internacional. Hoy en día los datos pueden ser obtenidos con telescopios internacionales que tienen cierta cantidad de tiempo de observación reservada para astrónomos de cualquier nacionalidad, cuyo único requisito es tener buenas ideas. De otro lado, contamos con varios colombianos, científicos y estudiantes graduados, haciendo investigación en este campo en prestigiosas instituciones del mundo. Ayudar a crear un ambiente de investigación propicio para que colombianos investigando en el exterior y otros astrónomos tengan la opción de hacer su ciencia desde Colombia debe ser una de las tareas de la recientemente creada Comisión Colombiana del Espacio, en su objetivo de optimizar la contribución de las ciencias espaciales al desarrollo social, económico y cultural del país.

En un contexto más general, para una nación que inicia apenas su exploración pacífica del espacio, hacer investigación en astronomía tiene una motivación muy pragmática: una cercana interacción entre astrónomos e ingenieros es indispensable cuando sea necesario formular programas y desarrollar satélites con propósitos específicos. Adicionalmente, en un momento en que el calentamiento global ha adquirido las dimensiones políticas que estamos presenciando, obtener conocimiento que permita poner a nuestra Tierra en un contexto ambiental más amplio significará una ventaja al momento de participar en el desarrollo de alternativas de sostenimiento climático. Colombia tiene ahora la oportunidad de tomar parte en una aventura científica con dos mil años de historia. No podemos desaprovecharla.

Ayudar a crear un ambiente de investigación propicio para que colombianos investigando en el exterior y otros astrónomos tengan la opción de hacer su ciencia desde Colombia debe ser una de las tareas de la CCE

FOTO: STOCKXPRT.