

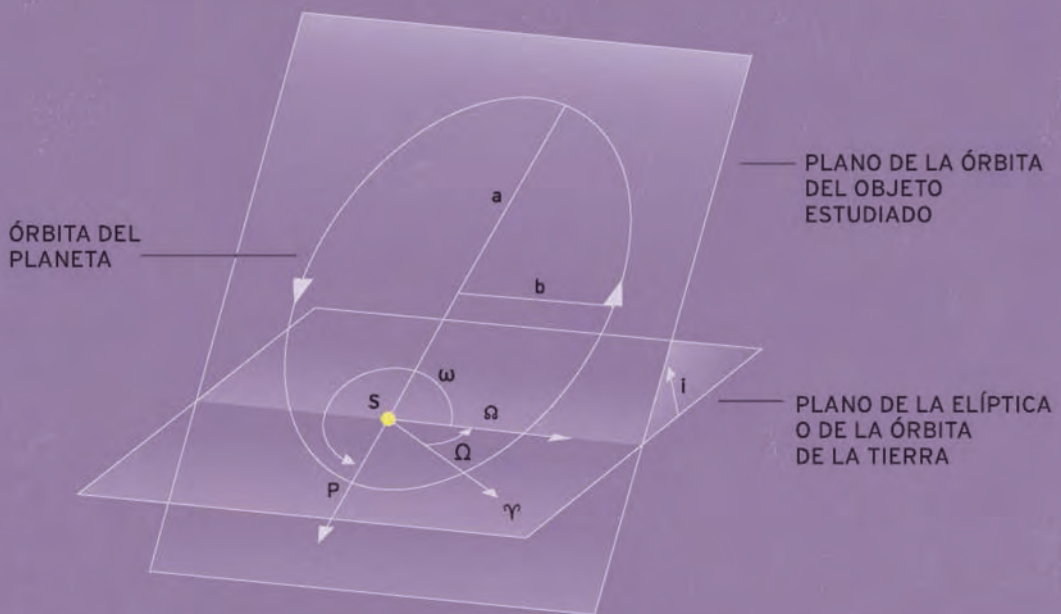
(A)
MAURICIO REYES RUIZ

(B)
JOEL HUMBERTO CASTRO CHACÓN

DEBATE

Fig. 2

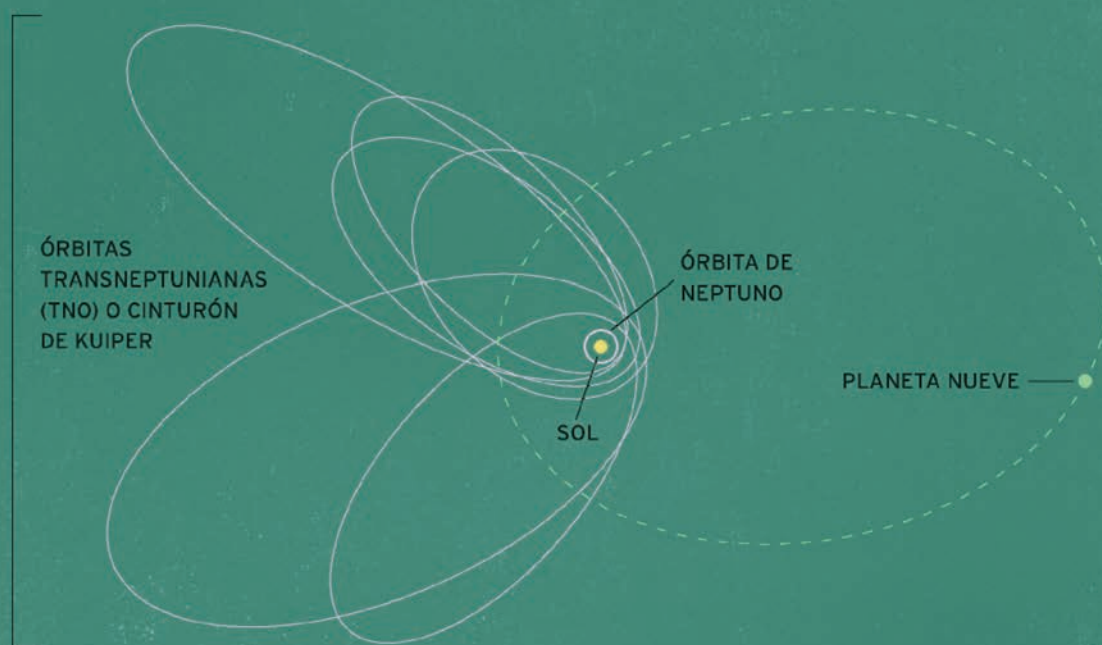
ELEMENTOS ORBITALES



γ	PUNTO VERNAL	a	SEMIEJE MAYOR	Ω	NODO ASCENDENTE	i	INCLINACIÓN	ω	ARGUMENTO DEL PERHELIO
S	SOL	b	SEMIEJE MENOR	Ω	LONG. DEL NODO ASCENDENTE	P	PERHELIO		

Fig. 1

AGRUPAMIENTO ORBITAL



(090-103)

(A)

A favor de la existencia
del planeta nueve

(B)

En contra de la existencia
del planeta nueve

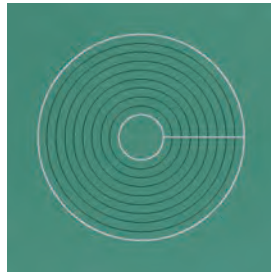
Por increíble que parezca, no sabemos cuántos planetas existen en el sistema solar. Hasta ahora, tenemos la certeza de que ocho orbitan el Sol. Por eso ha despertado tanto interés la hipótesis de Konstantin Batygin y Michael Brown¹ sobre uno nuevo en la periferia de nuestro sistema solar. Antes de exponer los argumentos a favor de dicho planteamiento, es necesario hacer una revisión de lo que se conoce sobre esa región, llamada trasneptuniana, donde podría habitar el hipotético planeta.

LOS OBJETOS EN LA ÚLTIMA FRONTERA DEL SISTEMA SOLAR

El sistema solar contiene miles de millones de cuerpos menores que orbitan nuestra estrella. La astronomía los clasifica por la distancia promedio que los separa del Sol y por la excentricidad de su órbita elíptica, es decir, cuán circular o alargada es. Los cuerpos ubicados más allá de la órbita de Neptuno reciben el nombre de objetos trasneptunianos (TNO por sus siglas en inglés).

El descubrimiento de Plutón, en 1930, propició el interés por los TNO. En las décadas de 1940 y 1950, Kenneth Edgeworth y Gerard Kuiper teorizaron acerca de una región más allá de Neptuno, con forma de cinturón y poblada de objetos congelados, debido a la distancia que los separa del Sol, medida

Ilustraciones de
Lore Mondragón



en unidades astronómicas (UA): los TNO.

Según la teoría más aceptada sobre la formación planetaria, el sistema solar se formó en una nube molecular. Al rotar y colapsarse, el gas y el polvo que componían la nube formaron el disco protoplanetario. La acumulación de materia en el centro del disco dio origen al Sol. Sin embargo, “sobró” un poco de gas y polvo, lo que generó el resto de los objetos en el sistema solar: los planetas, incluidos los enanos, las lunas y los cuerpos menores —y también la humanidad.

Los TNO se formaron, principalmente, más allá de la línea de hielo de aquel disco protoplanetario. En el sistema solar exterior, los planetésimos se agruparon en cuerpos más grandes gracias a la gran cantidad de hielo de agua, una fuente adicional de sólidos. En cambio, en el sistema solar interior, las moléculas permanecieron en estado gaseoso, limitando la aglomeración de materia.

Tras la creación de los planetas gigantes, muchos planetésimos dispersos no lograron integrarse en cuerpos más grandes. Entonces, la influencia gravitacional de los planetas gigantes comenzó a afectar drásticamente las órbitas de los planetésimos, heredadas del disco protoplanetario. Las órbitas originales tenían una forma casi circular y orientación coplanar. Su alteración posterior es evidente: un gran número de órbitas de los TNO tienen forma de elipses alargadas (su excentricidad es alta) y están inclinadas respecto al plano donde orbitan la Tierra y los demás planetas.

1 Konstantin Batygin y Michael E. Brown, “Evidence for a Distant Giant Planet in The Solar System”, *The Astronomical Journal*, vol. 151, núm. 22, 20 de enero de 2016.

MAURICIO REYES RUIZ

A favor de la existencia del planeta nueve

Pese a todo, la mayoría de los TNO conservan algo de las propiedades del disco de donde surgieron. El estudio de estos objetos es indispensable para la discusión que nos ocupa, pues las características de sus órbitas se deducen de su interacción con los planetas del sistema solar y, en caso de existir, el planeta nueve influiría en ellas.

LOS OBJETOS TRASNEPTUNIANOS EXTREMOS

Para detectar y caracterizar los TNO se han realizado muchas observaciones astronómicas. En 2003, al mirar en las cercanías del plano donde orbita la Tierra (la eclíptica), Mike Brown, Chad Trujillo y David Rabinowitz identificaron un objeto con una órbita elíptica muy alargada, 76 UA en su perihelio (el punto de la órbita más cercano al Sol) y 937 UA en su afelio (el punto más alejado del Sol).² Se trataba del planeta enano Sedna. No había manera de entender por qué, pese a haberse formado en el sistema solar, Sedna tiene una órbita tan extraña. La influencia gravitacional de Neptuno y la migración planetaria no pueden explicarlo.

Sedna fue el primero en una serie de objetos con órbitas inusuales. En 2012 se encontró otro más (2012 VP113) y en 2015 se empezó a usar la clasificación ETNO (objeto trasneptuniano extremo) para nombrarlos. Hoy se conocen aproximadamente cuarenta, pero sólo se han precisado las órbitas de ocho. Es muy difícil observarlos debido a la distancia a la que están. Además, se mueven muy lentamente con relación a las estrellas de fondo y se requieren muchas observaciones, tomadas desde distintas posiciones, para determinar sus órbitas.

LA BÚSQUEDA DE OTROS PLANETAS EN EL SISTEMA SOLAR

Desde que se descubrió Neptuno, comenzó la búsqueda de planetas que se encontraran aún más lejos del Sol. En 1880 George Forbes especuló sobre la existencia de dos planetas trasneptunianos masivos.

A principios del siglo XX, con base en las presuntas anomalías en las órbitas de Urano y Neptuno, Percival Lowell postuló un noveno planeta. Aunque éste nunca fue hallado, la exploración llevó al descubrimiento de Plutón, lo que dejó claro que el sistema solar no acaba en Neptuno. La idea sobre un elusivo planeta adicional ha sido recurrente. Sin embargo, nuestra vasta ignorancia sobre la región trasneptuniana hace prácticamente imposible demostrar que no existan planetas ahí, a menos de que esto resulte obvio.

Más recientemente, el hallazgo de Sedna llevó a Rodney Gomes a escribir un nuevo episodio en la saga de cazadores de planetas.

Para explicar las extrañas órbitas de Sedna y otros cuerpos menores del sistema solar, el astrónomo planteó la existencia de un planeta con una masa comparable a la de Neptuno y una órbita excéntrica e inclinada que se ubicaría más allá de las 1000 UA.

En 2014, al analizar 2012 VP113 y otros ETNO apenas descubiertos, Chad Trujillo y Scott Sheppard sugirieron que podría existir un planeta de masa varias veces mayor que la terrestre, a unas 250 UA: eso explicaría el hecho de que las órbitas de los ETNO estén agrupadas en torno a la orientación del perihelio de Sedna. Sin embargo, los planetas propuestos no podían ser detectados debido a su lejanía del Sol, su tamaño y su baja capacidad de reflejar la luz solar.

La inquietud de que nuestro inventario de planetas del sistema solar estaba incompleto

2 M. E. Brown, Chadwick Trujillo y David Rabinowitz, "Discovery of a Candidate Inner Oort Cloud Planetoid", *The Astrophysical Journal*, vol. 617, 10 de diciembre de 2004, pp. 645-649.

flotaba en el ambiente académico cuando Batygin y Brown³ publicaron un análisis sobre los ETNO conocidos que los llevó a concluir que la hipótesis más probable para explicar las peculiaridades de sus órbitas es —para variar— un noveno planeta. Postularon que su masa podría ser diez veces la terrestre y que podría hallarse en una órbita distante,⁴ moderadamente inclinada y excéntrica, con un perihelio aproximado de 250 UA. Estas características han ido cambiando durante los casi diez años de la búsqueda de dicho planeta. Las últimas estimaciones sugieren que tendría una masa un poco menor a la que se estableció en un inicio (entre cinco y diez masas terrestres), una órbita más cercana al Sol (entre 400 y 800 UA) y menos excéntrica e inclinada.⁵

LA COMPOSICIÓN DEL PLANETA NUEVE

Nuestras mejores suposiciones sugieren que el planeta sería semejante, en términos de composición y estructura, a Urano y Neptuno. Su interior tendría una estructura diferenciada: el núcleo estaría compuesto principalmente de hierro y lo rodearía un manto de rocas (silicatos). Hasta el 50% de la masa del manto estaría conformada de hielo de agua, metano y amoníaco.

Algunos científicos han especulado que podría contener vastos depósitos de agua líquida bajo la superficie. Además, su atmósfera sería delgada y estaría compuesta, sobre todo,

de hidrógeno y helio. Si la masa del planeta nueve fuera entre cinco y diez veces la terrestre, según la nomenclatura actual, sería una super-Tierra.

La formación de dicho planeta no parece ser cosa fácil. Para que se forme un cuerpo de este tipo, se necesita la aglomeración sucesiva de partículas de polvo y la eventual acreción⁶ de una gran cantidad de gas. Por lo tanto, su nacimiento habría requerido que la nebulosa solar, de donde surgieron los planetas conocidos de nuestro sistema, haya sido mucho más extensa y masiva de lo que se había pensado. Tendría que haber sido más extensa y masiva que los discos protoplanetarios de otras estrellas similares al Sol. Por si fuera poco, es improbable que un planeta a esa distancia haya permanecido en su órbita original.

Aunque la hipótesis sobre la formación *in situ* del planeta nueve no ha sido descartada y se trabaja en variantes *ad hoc* de la teoría más aceptada, existen

otras explicaciones que se han considerado más plausibles. La primera postula que dicho planeta fue eyectado desde la parte interna del sistema solar. Quizá se formó más cerca del Sol de lo que ahora se encuentra, incluso es posible que se haya creado en la región donde se cree que surgieron Urano y Neptuno. Más tarde, un encuentro cercano con Júpiter o Saturno pudo haberlo trasladado a la órbita lejana y excéntrica que se ha propuesto para él. Una versión de esta hipótesis considera que sería uno de los cinco planetas gigantes que el modelo de Niza supone que existieron durante las últimas etapas de formación del sistema solar.

En cambio, la segunda hipótesis propone que este polémico planeta se originó en otra

3 K. Batygin y M. E. Brown, *op. cit.*

4 Su semieje estaría entre 400 y 1000 UA.

5 En el caso de los círculos, la excentricidad es cero; a mayor valor, más alargada es la elipse que traza la órbita. La excentricidad del planeta propuesto rondaría la cifra de 0.3 y su inclinación, respecto al plano donde orbita la Tierra, sería de 20°. M. E. Brown y K. Batygin, "Orbital Clustering in the Distant Solar System", *The Astronomical Journal*, vol. 157, núm. 2, 22 de enero de 2019.

6 Crecimiento por adición de materia, como sucede en los continentes.

estrella y que fue capturado por el Sol. De ser así, no se habría formado con el resto de los planetas del sistema solar.

LAS ÓRBITAS AGRUPADAS DE LOS ETNO

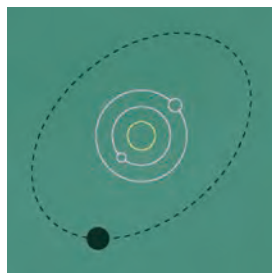
La existencia del planeta nueve no fue sugerida por capricho. En un inicio, fue propuesto para dar cuenta de las peculiares órbitas de seis ETNO, las cuales contrastan con las de otros objetos menores en el cinturón de Kuiper.

El enigma es el siguiente: las órbitas de la mayoría de los TNO tienen una baja inclinación respecto al plano orbital de la Tierra, porque se supone que surgieron dentro de un mismo disco protoplanetario. Además, la orientación de sus órbitas es prácticamente aleatoria en términos del argumento del perihelio (el ángulo formado entre el punto donde cada uno de estos objetos cruza de abajo arriba el plano orbital de la Tierra y el punto en las órbitas de dichos objetos donde se encuentran más cerca del Sol). Es de esperarse que así sea debido al efecto gravitacional no ordenado que los planetas del sistema solar ejercen en ellos.

Sin embargo, las observaciones muestran que seis de los ETNO conocidos en 2016 tienen órbitas de inclinaciones similares y suelen orientarse en una región específica del cielo.

Al respecto, Batygin y Brown⁷ demostraron que es muy poco probable que los planetas del sistema solar sean capaces de organizar de este modo a los ETNO, a causa de la lejanía a la que se encuentran. Por lo tanto, proponen que un planeta masivo y distante, aún no descubierto, los pastorea. El planeta nueve intercambiaría energía con dichos ETNO, contrarrestando la tendencia de sus órbitas a desalinearse, actuando como una especie de ancla.

7 K. Batygin y M. E. Brown, *op. cit.*



Ambos investigadores han realizado una gran cantidad de simulaciones numéricas que permiten establecer que, para que la aglomeración de la orientación de las órbitas de los ETNO ocurra, la órbita del planeta nueve debe tener una orientación casi opuesta. A partir de ello, es posible estimar el tamaño, la inclinación y la excentricidad de la órbita del planeta nueve, así como su masa. En artículos más recientes, este par de astrónomos⁸ incorporaron otros ocho ETNO y llegaron a la misma conclusión sobre la aglomeración observada de sus órbitas y la capacidad del planeta nueve de pastorear todos estos objetos.

LOS KBO Y LOS CENTAUROS DE ALTA INCLINACIÓN

El mismo proceso puede explicar de manera natural el origen de los objetos del cinturón de Kuiper (KBO) desligados de Neptuno. Desde hace tiempo se sabe que la interacción de los KBO con Neptuno y los demás planetas no es capaz de llevar a estos objetos

a órbitas estables, como las que tienen, de modo que se necesitaría alguna perturbación gravitacional externa para elevar el perihelio de sus órbitas a su valor actual.

En los meses siguientes a su primera publicación sobre el tema, Batygin⁹ y Brown¹⁰ aseveraron que el planeta nueve también podría tener efectos en la dinámica de otros cuerpos menores del sistema solar. En particular, su presencia ofrece una explicación lógica de las órbitas de muy alta inclinación e incluso de algunas órbitas retrógradas —que giran en sentido opuesto al de los planetas—, de algunos KBO y centauros (cuerpos menores ubica-

8 M. E. Brown y K. Batygin, *op. cit.*, 2019.

9 M. E. Brown y K. Batygin, "Generation of Highly Inclined Trans-Neptunian Objects by Planet Nine", *The Astrophysical Journal Letters*, vol. 833, núm. 1, diciembre de 2016.

10 *Ibid.*

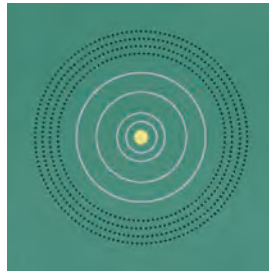
dos entre las órbitas de Júpiter y Neptuno).

Si bien hay mecanismos que dan razón del origen de los KBO y los centauros con órbitas no muy inclinadas respecto al plano orbital de la Tierra (dicha inclinación es menor de 40°), existen cerca de cincuenta objetos con órbitas aún más inclinadas. Todavía no se ha ideado una teoría sobre el origen de dichos objetos. Lo que podría explicarlos es la existencia de un perturbador constante como el planeta nueve.

TEORÍA COSMOGÓNICA: EL ORIGEN DEL SISTEMA SOLAR Y LOS EXOPLANETAS

El argumento que desarrollo en esta sección no sustenta directamente la hipótesis sobre el planeta nueve, sin embargo, su existencia sería consistente con múltiples observaciones de planetas extrasolares e incluso con el modelo de Niza, que teoriza las últimas etapas de la formación del sistema solar.¹¹

Según la versión más reciente de este modelo,¹² el sistema solar primitivo contenía un quinto planeta gigante, además de los conocidos. Se cree que su masa debió ser similar a las de Urano y Neptuno. Durante la última fase de formación del sistema solar, hace unos 4000 millones de años, hubo un reacomodo violento de los planetas gigantes y se esculpieron muchas poblaciones de TNO y otros cuerpos menores, lo que les dio una configuración orbital muy semejante a la que hoy presentan. A causa de esta violenta migración planetaria, provocada por la interacción entre los planetas y un disco exter-



no masivo de planetésimos, el quinto planeta gigante fue removido de su órbita. En un inicio se encontraba a unas 15 UA, pero terminó en una órbita distante, convirtiéndose en lo que hoy llamamos el planeta nueve.

Vale la pena mencionar que los objetos con una masa como la que tendría el planeta nueve son muy comunes en los sistemas exoplanetarios. Aunque, en general, se les encuentra en órbitas mucho más cercanas a su estrella central, la frecuencia de dichos objetos sugiere que a la naturaleza no se le dificulta formar planetas de dicha masa. Además, se han descubierto numerosos planetas más masivos aún que el planeta nueve a cientos de UA de su estrella, lo que sugiere que existen mecanismos relativamente comunes que causan que los planetas gigantes migren hacia órbitas lejanas.

OTRAS PECULIARIDADES DEL SISTEMA SOLAR

El planeta nueve también podría resolver el añejo misterio sobre la diferencia de seis grados que existe entre el ecuador de rotación del Sol y el plano donde rotan los planetas del sistema solar. En principio, la formación del sistema solar y de su estrella, a partir de un mismo material y con idéntico sentido de rotación, sugiere que la rotación tanto de los planetas como del Sol debería estar alineada. Pero no es así. Ante ello, Bailey, Batygin y Brown¹³ argumentan que el planeta nueve ejerce una torca sobre todos estos cuerpos celestes, dando pie a un tambaleo muy lento que coincide con la enigmática inclinación actual de seis grados.

11 K. Tsiganis, R. Gomes, A. Morbidelli y H. F. Levison, "Origin of the Orbital Architecture of the Giant Planets of the Solar System", *Nature*, vol. 435, 2005, pp. 459-461.

12 David Nesvorný, "Young Solar System's Fifth Giant Planet?", *The Astrophysical Journal Letters*, vol. 742, núm. 2, 7 de noviembre de 2011.

13 Elizabeth Bailey, K. Batygin y M. E. Brown, "Solar Obliquity Induced by Planet Nine", *The Astronomical Journal*, vol. 152, núm. 5, 21 de octubre de 2016.

En 2024, Batygin y sus colaboradores¹⁴ enfocaron sus estudios en el movimiento de los TNO de periodo largo provenientes de la nube de Oort y con órbitas de baja inclinación que atraviesan la de Neptuno. Mediante simulaciones que incluyen los efectos gravitacionales de los planetas gigantes conocidos del sistema solar, de nuestra galaxia y de las estrellas cercanas, mostraron que la configuración orbital de esta población de objetos se parece mucho a la observada cuando el modelo incorpora el planeta nueve. De acuerdo con los autores, la probabilidad de que las simulaciones que no toman en cuenta dicho planeta expliquen las órbitas observadas de estos TNO es despreciable, un argumento más en favor del planeta nueve.

Por ahora, la moneda está en el aire o, mejor dicho, en el cielo. Esperemos que en los próximos años tengamos evidencia contundente para resolver este fascinante debate. Mientras tanto, la navaja de Occam se inclina en favor del noveno planeta. Esta receta heurística nos recomienda elegir los modelos que eliminen —o que por lo menos no multipliquen— las suposiciones *ad hoc* para expli-

car lo observado. Dar cuenta de los hechos que he descrito, sin dicho planeta, requiere invocar cuatro o cinco teorías y mecanismos distintos.

La búsqueda de este elusivo planeta está por cumplir diez años y, hasta ahora, no ha dado resultados. Sin embargo, en los próximos meses comenzará un proyecto que dará un golpe sobre la mesa y pondrá punto final a esta polémica. Este año, el observatorio Vera C. Rubin, en Chile, comenzará un censo sin precedentes de objetos astronómicos. En principio, su gran área colectora, su amplio campo de visión y sus instrumentos le confieren la capacidad de detectar sin problema un planeta con las características mencionadas; aunque, para buscarlo, el proyecto tendría que modificar la rutina de observación de su misión científica. Pero si lo hiciera, este novedoso telescopio encontraría al hipotético planeta aproximadamente dentro de un año. Por ahora no está claro que el proyecto decida compro-

meter sus objetivos para dedicarse a nuestro problema. Por fortuna, incluso si esto no sucede, el telescopio podría encontrar una multitud de KBO y ETNO. A partir de ello, las simulaciones serían puestas a prueba con una colección de poblaciones diversas de TNO que será estadísticamente robusta, lo que dará paso a la confirmación o el rechazo del planeta nueve. *RM*

14 K. Batygin, Alessandro Morbidelli, M. E. Brown y D. Nesvorný, "Generation of Low-Inclination, Neptune-Crossing Trans-Neptunian Objects by Planet Nine", *The Astrophysical Journal Letters*, vol. 966, núm. 1, 24 de abril de 2024.

JOEL HUMBERTO CASTRO CHACÓN

En contra de la existencia del planeta nueve

La gran tragedia de la ciencia: la aniquilación de una hermosa hipótesis a manos de un horrible dato.

THOMAS HUXLEY

QUIZÁ LAS ÓRBITAS DE LOS ETNO NO ESTÉN AGRUPADAS

Lo primero que debe decirse en este debate es que existe la posibilidad de que sea incorrecta la observación que dio pie a la hipótesis sobre el planeta nueve. El agrupamiento de las órbitas de los ETNO puede ser mera apariencia. Nuestra percepción de ello puede ser producto de las restricciones tecnológicas actuales, y es bien sabido que las limitaciones causan sesgos.

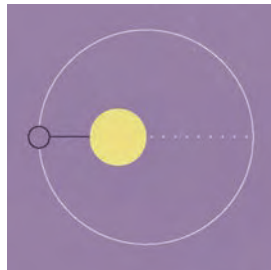
Quienes han tenido la oportunidad de observar el cielo en condiciones de alta oscuridad seguramente han podido admirar el mayor objeto visible en él: la Vía Láctea. Al mirar por medio de un telescopio hacia el centro de nuestra galaxia se revela la inmensa cantidad de estrellas que hay en nuestro vecindario; es tal su densidad que, en algunos sectores, parece que es el propio cielo el que brilla. La imagen directa es, de hecho, la técnica más común para descubrir cuerpos menores. Sin embargo, al enfocar los telescopios hacia donde resplandecen tantas estrellas, no es posible descubrir los ETNO pues, por la distancia a la que se encuentran, reflejan muy poca luz solar. Por lo tanto, el movimiento de nuestro planeta y su posición respecto al centro de la galaxia provocan que haya regiones del plano orbital de la Tierra (eclíptica) donde es imposible detectar objetos móviles y tenues.

A pesar de lo anterior, el proyecto OSSOS (Outer Solar Sys-

tem Origins Survey) es muy eficaz en la detección de los TNO: hasta hoy ha descubierto más de ochocientos. El OSSOS utiliza el telescopio Canadá-Francia-Hawái, uno de los instrumentos más poderosos para identificar y caracterizar cuerpos menores que, además, está ubicado en el mejor cielo del mundo para la observación del sistema solar exterior (a más de cuatro mil metros de altura en Hawái). Gracias a los datos obtenidos a partir de este proyecto, se ha debilitado un pilar de la hipótesis sobre la existencia del planeta nueve.

El disco disperso es una región poblada de objetos trasneptunianos con órbitas muy elípticas (esto es, excéntricas) e inclinadas respecto al plano orbital de la Tierra (dicha inclinación es de alrededor de 40°) y cuyo punto más cercano al Sol (perihelio) se encuentra a 30 o más UA. Pues bien, antes se pensaba que los tamaños de los objetos en ese disco seguían la misma distribución heredada del disco protoplanetario, como es el caso del cinturón de Kuiper.¹ Por ejemplo, en el disco donde se formó el sistema solar, una mayor cantidad de materia se acumuló cerca de nuestra estrella; conforme nos alejamos del Sol, encontramos menos materia. La evidencia muestra que esto no es así en el disco disperso, pues contiene un número excesivo de cuerpos pequeños.

Tal multitud de objetos nos lleva a pensar que, en la historia de dicha región, las colisiones fueron muy violentas por la



Ilustraciones de
Lore Mondragón

1 S. M. Lawler *et al.*, "OSSOS. VIII. The Transition between Two Size Distribution Slopes in the Scattering Disk", *The Astronomical Journal*, vol. 155, núm. 5, 19 de abril de 2018.

inyección constante de nuevos objetos y la influencia gravitacional de Neptuno, que incrementa la velocidad de las colisiones. De este descubrimiento se desprenden incongruencias con la hipótesis del planeta en cuestión, que describiré más adelante.

Debido a que varios proyectos independientes han investigado la aglomeración de los ETNO, se cree que los datos están libres de cualquier sesgo causado por el sitio de observación o por los límites de uno u otro instrumento. No obstante, al consultar el Centro de Planetas Menores —el organismo que recopila la información sobre las posiciones de los cuerpos menores y calcula sus órbitas—, se constata que la mayoría de los descubrimientos de los ETNO no están documentados, es decir: en todos estos casos, se desconocen las circunstancias de observación. Uno de los propósitos del OSSOS es, precisamente, revelar los sesgos que podrían distorsionar nuestro conocimiento acerca de este tema.

La discusión se concentra en un parámetro de las órbitas de los ETNO: el *argumento del perihelio*, esto es, el ángulo formado entre el punto donde el objeto cruza de abajo arriba el plano orbital de la Tierra² y el punto en la órbita de dicho objeto donde se encuentra más cerca del Sol.³ Casualmente, las observaciones indican que ambos puntos coinciden en la mayoría de los ETNO.⁴ Los astrónomos insistimos en el perihelio porque ahí es más fácil observar cuerpos celestes: es donde más brillan, por estar más cerca del Sol, y donde se mueven más rápido para mantenerse en su órbita.

En 2017 el proyecto demostró que sí existe un sesgo asombroso.⁵ El OSSOS muestra que el

parámetro en cuestión (el argumento del perihelio) no es el mismo en todas sus observaciones de los ETNO. Además, encontró un cuerpo que tiene una órbita de 90° y que, por lo tanto, no se ajusta a las del resto de los ETNO aglomerados. Este simple hallazgo destruye la tesis sobre la agrupación: la población de los ETNO con órbitas no aglomeradas debe rondar los miles. Por lo tanto, los datos recopilados por el Centro de Planetas Menores, incluidos los del OSSOS, no están libres de sesgos. En vista de ello, es riesgoso, por decir lo menos, sugerir la existencia de un planeta para explicar un fenómeno que podría no ser real.

Nuestra percepción sobre el aglomeramiento puede deberse a que, para detectar los ETNO, siempre miramos hacia las mismas regiones del cielo, debido a las restricciones naturales (como nuestra ubicación respecto al centro de la galaxia), las limitaciones tecnológicas o incluso las condiciones del tiempo y el clima. Es más lógico pensar, entonces, que los parámetros de las órbitas de estos objetos tengan distintos valores. Resulta muy improbable que presenten una aglomeración tan notoria. El camino para resolver el problema sería aumentar los ETNO de la muestra estudiada. Quizá no hemos sido capaces de hacerlo porque no podemos mirar hacia otra parte del cielo.

En la ciencia, siempre que se plantea una hipótesis, ésta debe probarse por medio de su hipótesis nula. En el caso que nos ocupa, la aglomeración de los ETNO, la hipótesis nula es que tal agrupación no sea real. Pues bien, el estudio de OSSOS concluye que no podemos descartar la hipótesis nula.

UN DISCO MASIVO

Si bien aún no se han calculado con certeza las órbitas de todos

2 Debido a que el objeto cruza de abajo arriba el plano de la Tierra se denomina nodo *ascendente*.

3 Este punto se mide sobre la órbita del objeto estudiado.

4 Es decir, el ángulo mide cero grados.

5 Cory Shankman *et al.*, “OSSOS. VI. Striking Biases in the Detection of

Large Semimajor Axis Trans-Neptunian Objects”, *The Astronomical Journal*, vol. 154, núm. 2, 14 de julio de 2017.

los ETNO descubiertos hasta ahora y que la muestra de objetos que llevó a sugerir la existencia del planeta nueve es demasiado pequeña como para tener validez estadística, es cierto que ocho de ellos, por lo menos, sí tienen órbitas aglomeradas y que un planeta podría explicar este arreglo. Así sucedió en un caso del pasado. En 1846, las anomalías de la órbita de Urano revelaron la existencia de Neptuno. Sin embargo, otras hipótesis pueden explicar las coincidencias entre las órbitas de este puñado de objetos y algunas son más fascinantes que el planeta nueve.

En 2019 se publicó un estudio que calculó las órbitas de los ETNO descubiertos hasta ese año mediante simulaciones hechas con clones: el resultado fue que están aglomeradas, incluso sin añadir a la receta el planeta nueve.⁶ Para llegar a este resultado, el cálculo supuso la existencia de un disco trasneptuniano de escombros, con una masa de diez Tierras y una distribución no uniforme de ella en los 360° del disco.

Aunque el modelo clásico de formación planetaria predice que la cantidad máxima de masa en esa zona del espacio no puede ser mayor al 40% de la masa terrestre, muchos astrónomos no descartan la existencia de un disco aún más masivo: se basan, principalmente, en el número y el tamaño de los cometas, además plantean una analogía con otros discos protoplanetarios de estrellas similares al Sol.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que a las simulaciones de dicho estudio les falta incorporar ciertos datos para ser más precisas, porque no contemplan los procesos hidrodinámicos causados por el gas en el disco protoplanetario ni los efectos de la migración planetaria, fenómenos que po-

drían ocasionar la aglomeración de ETNO sin que exista un noveno planeta.

EL PASO DE UNA ESTRELLA

Otra manera de explicar el tan discutido arreglo de estas órbitas apunta al nacimiento del Sol y otras estrellas en una región común. En tal escenario, si una estrella, que no viajaba sola, sino en compañía de otros objetos, se acercó lo suficiente al Sol, los ETNO podrían haber sido capturados por la gravedad solar e integrados a nuestro sistema.⁷

Al considerar que el Sol nació, junto con otras estrellas, dentro de un cúmulo y al tomar en cuenta ciertos ángulos de aproximación entre el disco protoplanetario del Sol y el de otra estrella, en una vecindad similar al cúmulo de Orión, no sólo se pueden explicar los ETNO, sino también algunas propiedades de los TNO más cercanos, como la baja cantidad de masa que se supone que tienen aquellos que superan las 30 UA de distancia.

Varios estudios apoyan la hipótesis de los acercamientos estelares para explicar las condiciones actuales de la región trasneptuniana. La mayoría se basa en las propiedades de diferentes cúmulos estelares, como su dinámica y su tiempo de vida antes de que las estrellas comienzan a dispersarse por sus propios movimientos.

Si esta hipótesis fuese cierta, el planeta nueve sería innecesario para explicar los ETNO. Dicho resultado sería compatible con todo lo que sabemos sobre la formación y la evolución planetaria, y además daría cuenta de otras anomalías de las órbitas de los TNO. El planeta nueve causa asombro, pero ¿acaso no sería fascinante que Sedna y otros objetos se hubiesen for-

6 Antranik A. Sefilian y Jihad R. Touma, "Shepherding in a Self-gravitating Disk of Trans-Neptunian Objects", *The Astronomical Journal*, vol. 157, núm. 2, 21 de enero de 2019.

7 Lucie Jilková *et al.*, "How Sedna and Family were Captured in a Close Encounter with a Solar Sibling", *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 453, núm. 3, 1 de noviembre de 2015, pp. 3157-3162.

mado en otro sistema planetario y no en el nuestro?

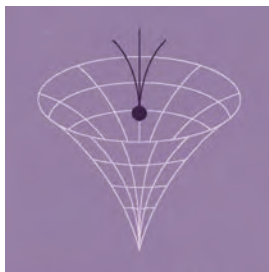
UN PEQUEÑO AGUJERO NEGRO PRIMORDIAL

Hay otra interesante hipótesis capaz de explicar el aglomeramiento de las órbitas, aunque quizá sea menos probable que las anteriores. El fenómeno podría deberse no al planeta nueve, sino a la existencia de un agujero negro con una masa similar a cinco Tierras, el cual ejercería suficiente gravedad como para aglomerar las órbitas de los ETNO.⁸

Uno de los pilares de esta hipótesis es que se han registrado breves desviaciones en la posición de los ETNO, que resultan inusuales. En cuanto más masivo sea un cuerpo celeste, mayor es su pozo gravitacional. Desde nuestra perspectiva, dichos pozos cambian la trayectoria de la luz, de forma que parece que los objetos, que la reflejan, se mueven de su sitio durante un tiempo.⁹ Un agujero negro primordial (el cual sería pequeño para los estándares de estos objetos). Por lo tanto, algunos astrónomos consideran que vale la pena buscar fuentes de rayos X, gamma y rayos cósmicos de alta energía para averiguar si existe dicho agujero negro.

INCONSISTENCIAS EN LA DINÁMICA DE OTRAS POBLACIONES DE TNO

Como suele suceder, el planeta nueve daría cuenta de las órbitas en cuestión, pero su existencia crearía otro problema: las órbitas de los cuerpos en el disco disperso más cercano a Neptuno serían inexplicables.



En 2019 se publicó un artículo¹⁰ sobre la inclinación y la excentricidad de dichas órbitas, así como de la inestabilidad dinámica de los objetos en ese disco. El estudio descubrió que la inyección de objetos desde la nube de Oort —la región con objetos trasneptunianos más alejada del Sol— y las fuerzas de gravedad que ejerce la Vía Láctea pueden explicar estas características; de ser así, el planeta nueve sería innecesario.

Como mencioné antes, es probable que otras estrellas se acercaran al sistema solar durante su formación o su evolución. La gravedad de esas estrellas también habría perturbado a la nube de Oort, ocasionando que varios de sus objetos se acoplaran al disco disperso más próximo a Neptuno. De hecho, la inclinación de las órbitas de muchos de ellos son inexplicables sin este aporte.

Ahora bien, al incluir el planeta nueve en estas simulaciones, surgen inconsistencias respecto a los datos observados. Un planeta con las características propuestas¹¹ es consistente con objetos de órbitas inclinadas a más de 45°,

pero la mediana de las inclinaciones observadas con los telescopios es 5° mayor. Por lo tanto, el hipotético planeta tendría que ser distinto. El mismo ejercicio se ha realizado alterando las características del planeta,¹² pero entonces el número de objetos con inclinaciones mayores a 45° se cuadruplica o se sextuplica respecto a lo observado. Por lo tanto, dicho escenario es aún más inconsistente.

En resumen, aunque el planeta nueve podría dar razón de las órbitas de los ETNO —si bien, debo insistir en que todavía no se verifican suficientes objetos

8 Jakub Scholtz y James Unwin, "What If Planet 9 Is a Primordial Black Hole?", *Physical Review Letters*, vol. 125, 29 de julio de 2020. Nathan A. Kaib *et al.*, "OSSOS. vx. Probing the Distant Solar System with Observed Scattering TNOs", *The Astronomical Journal*, vol. 158, núm. 1, 2 de julio de 2019.

9 El fenómeno se conoce como eventos cortos de microlentes gravitacionales.

10 Basado principalmente en las observaciones del OSSOS.

11 Cinco masas terrestres, ubicado a quinientas UA, con una órbita de excentricidad 0.25 e inclinación de 20°.

12 Diez masas terrestres, ubicado a setecientas UA, con una órbita inclinada en 20°, pero una excentricidad de 0.6.

de este tipo—, su existencia contradice los datos de los cuerpos que habitan en el disco disperso cercano a Neptuno.

PROBLEMAS SOBRE LA FORMACIÓN Y LA MIGRACIÓN DEL PLANETA NUEVE

A partir de lo que sabemos sobre la formación planetaria, a medida que nos alejamos de la estrella del disco donde se crean, hay menos material para generar planetas. Al respecto, en 2016 se publicó un estudio que considera dos escenarios sobre el origen del planeta nueve.¹³

El primer escenario versa sobre la formación de planetas tipo supertierra ubicados a distancias de entre 3 y 30 UA. El estudio propone que quizás alguno de ellos acreció suficiente material como para convertirse en un gigante gaseoso que después eyectó al resto de las supertierras más allá de la órbita de Neptuno. De ser así, ¿dónde están las evidencias de la migración de los planetas interiores del sistema solar ante la pérdida o ganancia de momento?¹⁴ Si esto hubiera sucedido, la dinámica orbital del sistema solar sería menos estable de lo que es en la actualidad.

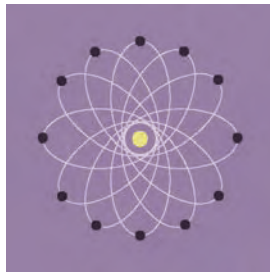
El segundo escenario considera que el planeta nueve se generó a partir de colisiones que ocurrieron dentro de un disco gigantesco, constituido por material sólido, que se encontraba a una distancia de entre 100 y 750 UA. Para que esto fuera cierto, las partículas sólidas deben haber tenido radios de un centímetro y las rocas deben haber medido aproximadamente cien kilómetros de radio. Además, el número de rocas necesarias para la creación de una supertierra es dema-

siado específico (mayor a diez), de otro modo la formación del planeta sería imposible. Este conjunto de condiciones es muy improbable en una región tan extensa del espacio, donde se espera que ocurra una sucesión fuerte de colisiones y que no se presenten las particularidades de este escenario.

Quizá la hipótesis sobre la captura de una supertierra, ante el acercamiento de su estrella madre con el Sol, sea más compatible con lo que conocemos sobre el sistema solar. Pero, de nuevo, se trata de un acontecimiento sumamente dudoso debido a la enorme distancia que existe entre el Sol y sus vecinos y a que las supertierras se formarían más probablemente cerca de las estrellas. Tampoco es probable que una estrella pasara cerca del Sol y afectara la dinámica de los ETNO y los rasgos atribuidos al planeta nueve.

EL PLANETA NUEVE NO HA SIDO DETECTADO

El argumento más contundente contra el planeta nueve —tal y como se propone en su versión actual— es el siguiente: han pasado más de quince años sin que hayamos detectado algún candidato.



Según el tamaño propuesto para el planeta y su superficie congelada, debería brillar lo suficiente como para ser detectado con la tecnología actual de los telescopios terrestres y espaciales. Los astrónomos llamamos “magnitud” al resplandor de un objeto visto desde la Tierra: a menor magnitud, es más brillante; a mayor magnitud, es más tenue. Pues bien, la magnitud del planeta nueve debería estar entre 24 y 28: se trataría de un objeto opaco pero discernible. El telescopio de cuatro metros, en el cerro Tololo, en Chile, es capaz de percibir cuerpos de hasta 26; el límite del OSSOS es de 25 y el del Gran Telescopio de las Canarias es de 27. El hipotético planeta se le podría escapar a cualquiera de estos telescopios

13 Scott J. Kenyon y Benjamin C. Bromley, “Making Planet 9...”, *The Astrophysical Journal*, vol. 825, núm. 1, 27 de junio de 2016. El artículo debe leerse con cautela porque no toma en cuenta la interacción con el gas de ese disco protoplanetario, pues eso destruiría la excentricidad de las órbitas de los ETNO.

14 El momento es la magnitud vectorial que resulta de multiplicar la masa de un móvil por su velocidad.

terrestres, pero por un margen pequeño. Sin embargo, el telescopio espacial Hubble puede detectar objetos de magnitud 30 en el espectro de luz visible y el límite del James Webb es de 32 en el espectro infrarrojo, si bien su campo de visión es mucho menor.

Si por lo menos supiéramos dónde está el planeta nueve, podríamos detectarlo mediante estos telescopios, pero las simulaciones actuales no pueden calcular su posible ubicación. En el caso del descubrimiento de Neptuno, las matemáticas predecían correctamente dónde debía encontrarse. Para refinar dicha predicción, debemos encontrar más objetos tipo Sedna, aunque al hacerlo es probable que constatemos que las órbitas de las que surgió este meollo no están agrupadas. Por ahora, no queda más que observar el cielo, ya sea para confirmar o descartar la hipótesis.

La incertidumbre sobre el planeta nueve es mucho mayor que la que nuestros antecesores tuvieron respecto a Neptuno. El punto clave, reitero, es la posición de dicho planeta, y no tanto su brillo. Por lo tanto, necesitamos instrumentos tan precisos como los que tenemos actualmente, pero cuyo campo de observación sea muchísimo más amplio.

En conclusión, hoy en día no tenemos evidencia sólida sobre la existencia del planeta nue-

ve e, insisto, ni siquiera tenemos un candidato. Quizá se repita lo que ocurrió con el planeta Vulcano. Le Verrier, el matemático que predijo la existencia de Neptuno, también predijo la de Vulcano, ubicado entre el Sol y Mercurio debido a las anomalías en la órbita de este último (no obedecían las leyes de Newton). En esa ocasión, hubo un candidato: en 1859 se detectó el tránsito de un objeto sobre el Sol, pero sólo sucedió una vez. Fue hasta 1915, con la teoría de la relatividad general de Einstein, que se descartó por completo a Vulcano. Recuerdo esta historia porque ilustra que las anomalías en las mediciones pueden llevarnos a descubrimientos aún más fascinantes que un nuevo planeta.

En lo personal, me encantaría que se confirmara la existencia del planeta nueve. Sin embargo, pese a los conocimientos sobre la formación y la evolución planetaria que dicho descubrimiento aportaría, quizá nos perderíamos de algo mucho más interesante y significativo para la ciencia. Al fin y al cabo, la teoría de la relatividad general es mucho más asombrosa que un hipotético planeta llamado Vulcano. Como científico, mi curiosidad se despierta ante lo que parece extraño y es difícil de explicar, y el planeta nueve, si existe, ya fue explicado. *RM*