

Mundos habitables más allá del sistema solar

Hemos detectado más de 5 mil exoplanetas que nos han maravillado con su diversidad y nos preguntamos si entre ellos habrá alguno que sea habitable. Para comprender todas las posibilidades, requerimos estrategias que nos permitan identificar esos mundos e instrumentos que nos permitan hacer realidad la detección de vida en ellos.

La vida como la conocemos

Hubo una vez un planeta cubierto por un océano de lava y envuelto en vapor de agua, golpeado constantemente por enormes rocas provenientes del espacio. Mientras la lluvia de rocas espaciales cesaba, la superficie de roca fundida se enfrió, y el mundo se cubrió de tierra y océano. En ese mundo, los compuestos que se encontraban en la atmósfera, la tierra y el agua, se combinaron y concentraron hasta formar a los primeros seres vivos.

Ésta es la historia de la Tierra, formada hace 4 500 millones de años y donde tenemos evidencia de que la vida surgió hace unos 3 500 millones de años. Una de las preguntas que nos hacemos en la astrobiología es si pueden existir otros mundos donde la vida pueda surgir y evolucionar; es decir, mundos habitables, y para responderla estudiamos el fenómeno de la vida terrestre, la única que conocemos. La vida en la Tierra puede generalizarse considerando que está hecha de moléculas de carbono y requiere agua líquida para que éstas se encuentren, reaccionen y se acumulen. Este requerimiento no es extraordinario, pues el carbono es el cuarto elemento más abundante del universo, y en los lugares donde se forman los planetas y las estrellas el agua es un compuesto abundante que se encuentra como gas o hielo. Aplicando la generalización de la vida en la Tierra, un planeta potencialmente habitable debe tener carbono y agua líquida; el primero es muy abundante, así que lo damos por hecho; en cambio, la presencia de agua líquida requiere condiciones mucho más específicas.

Mundos habitables

Tenemos un solo ejemplo de vida, pero muchos planetas para explorar la diferencia entre ellos y nuestro mundo. Marte, por ejemplo, fue similar a la Tierra en el





pasado. Hace 4 000 millones de años las atmósferas de ambos estaban compuestas de bióxido de carbono (CO_2) y nitrógeno (N_2), tenían agua líquida en su superficie y volcanes activos. Pero Marte tiene una décima parte de la masa terrestre y su gravedad no pudo retener a la atmósfera. Entre los impactos de asteroides, el viento solar y reacciones químicas con la superficie marciana, la atmósfera se fue perdiendo hasta quedar sólo una tenue capa cuya presión no era suficiente para mantener agua líquida en la superficie. Además, el efecto invernadero causado por el CO_2 en la atmósfera también disminuyó, enfriando el planeta. Ahora Marte es un desierto helado donde el agua se encuentra congelada en los polos y en la superficie. Nuestro vecino nos da las primeras lecciones sobre habitabilidad planetaria. Una es que un planeta habitable puede dejar de serlo. La segunda es

que la atmósfera es fundamental para proveer la presión y temperatura suficientes para mantener agua líquida en la superficie.

Venus tiene una masa y radio similares a los de la Tierra, pero su atmósfera es mucho más masiva (92 veces, para ser exactos). En este mundo la temperatura superficial es de $462\text{ }^\circ\text{C}$, el agua está en forma de gas y es poca, pero hay datos que indican que en el pasado tuvo mucha más agua que se escapó al espacio. Su problema fue su distancia al Sol (0.72 veces la distancia entre la Tierra y el Sol). Nuestra estrella ha ido aumentando lentamente su luminosidad y lo seguirá haciendo durante otros 5 000 millones de años más. De manera que cuando se formaron los planetas, el Sol era 25% menos brillante que ahora. Si un planeta mantiene la cantidad de gases de efecto invernadero en su atmósfera, pero recibe más energía de su estrella, entonces aumentará su temperatura. En Venus esto provocó que el agua se evaporara causando un “efecto invernadero desbocado”. El agua, al igual que el CO_2 , es un gas de efecto invernadero. Si el planeta se calienta, hay mayor evaporación de los océanos, el vapor de agua atmosférico aumenta la temperatura, lo que incrementa la evaporación y así sucesivamente hasta que toda el agua de la superficie se evapora. En la atmósfera, los componentes del agua (hidrógeno y oxígeno) son separados por la radiación ultravioleta (uv) del Sol, y el hidrógeno se va escapando lentamente hacia el espacio haciendo imposible recuperar el agua. Venus nos muestra que la energía que recibe un planeta de su estrella debe ser suficiente para calentarlo, pero no tanto para que inicie un efecto invernadero desbocado. Si la radiación que recibe el planeta es muy poca, entonces el planeta se congelará.

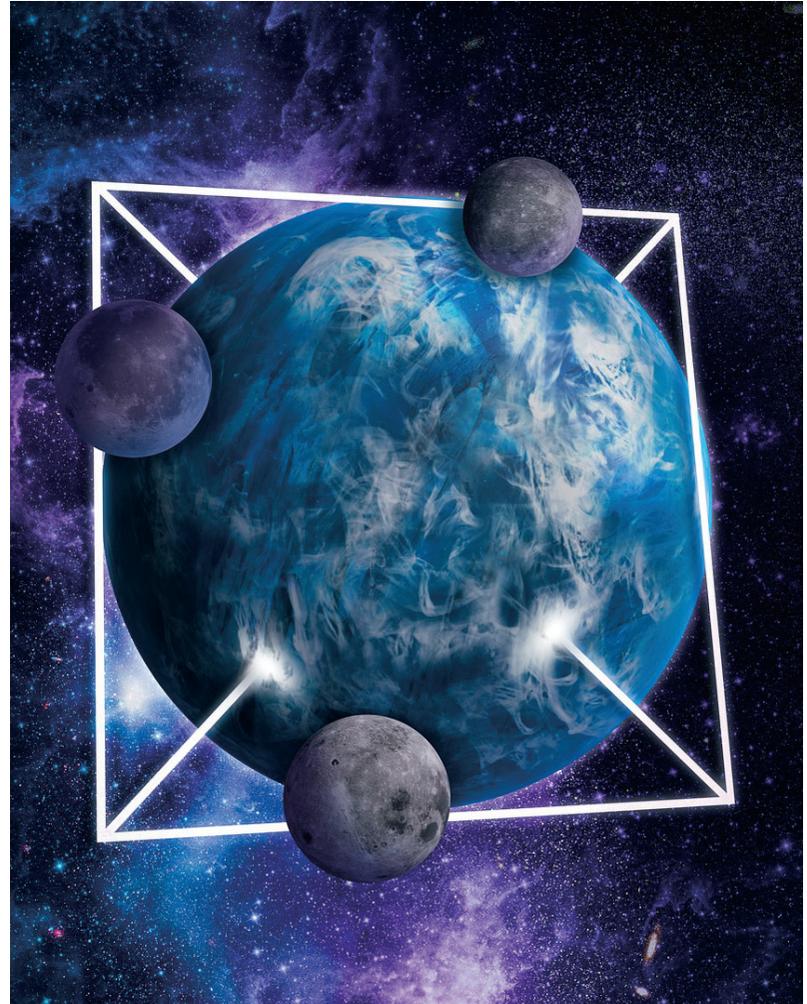
Así, tenemos dos requisitos para un mundo habitable: que tenga una masa suficiente para retener una atmósfera con gases de efecto invernadero y que reciba suficiente energía de su estrella para que el agua no se congele ni se evapore a escala global. Podemos pensar en otros cuerpos del sistema solar; por ejemplo, Júpiter, un gigante compuesto de hidrógeno y helio donde hay agua pero ésta se encuentra en una baja proporción y en condiciones extremas

de presión y temperatura. Así pues, el tercer requisito de nuestro mundo habitable será que sea un mundo con una superficie sólida; es decir, hecho de roca, como la Tierra, Venus o Marte.

Los ejemplos del sistema solar no sólo nos sirven para establecer las características de un mundo habitable, sino también para construir un concepto fundamental para la astrobiología: la zona habitable (ZH). La ZH es la región alrededor de una estrella en la que un planeta rocoso con atmósfera recibe suficiente energía estelar para mantener agua líquida en su superficie (Kopparapu y cols., 2013). Esta zona nos da una primera aproximación respecto a la estrategia de búsqueda de planetas potencialmente habitables, pero tiene limitaciones. Para calcularla se requieren modelos numéricos que simulan atmósferas con composiciones específicas; la más común es de CO_2 , N_2 y agua, porque ésa es la más probable para planetas rocosos. Hoy en día los cálculos de la ZH se han ampliado para incluir otras variables; por ejemplo, la cantidad de radiación UV que le llega al planeta o la cantidad de agua que contiene en la superficie o composiciones atmosféricas distintas.

Más allá del sistema solar

 Con estas herramientas, podemos iniciar nuestra búsqueda de mundos habitables alrededor de otras estrellas, mundos a los que llamamos “exoplanetas”. Hemos detectado más de 5 000 y sus características nos han sorprendido. Para entender su diversidad, volvamos al sistema solar. Aquí hay de tres “sabores”: los rocosos (Mercurio, Venus, Tierra y Marte), los de hidrógeno y helio (Júpiter y Saturno) y los gigantes helados (Neptuno y Urano), hechos de una combinación de hielos de agua, amoníaco, metano y roca. Curiosamente, los exoplanetas más comunes tienen radios y masas mayores a los de la Tierra, pero menores a los de Neptuno. En el sistema solar no hay nada igual. El reto es saber si estos mundos son versiones pequeñas de Neptuno, minineptunos, o versiones gigantes de la Tierra; o sea, supertierras. Las supertierras serían mundos rocosos capaces de retener atmósferas de hidrógeno molecular (H_2). Otra posibilidad es que sean planetas océano. Por su



aparición, podría pensarse que la Tierra es un mundo océano, pero en realidad es una roca seca, pues menos del 1% de su masa es agua, mientras que los planetas océano tendrían porcentajes de agua mucho mayores.

Una pregunta pertinente es si algunos de estos mundos podrían ser habitables. Ciertamente, un mundo océano tiene mucha agua y una supertierra podría mantener agua líquida en su superficie. Aquí es cuando los modelos de habitabilidad se hacen más complejos. Por ejemplo, hay un debate alrededor de la existencia de vulcanismo en las supertierras. El vulcanismo permitiría reciclar la atmósfera que reacciona químicamente con la superficie, quedando “atrapada” en ella. Un mundo sin vulcanismo eventualmente perdería su atmósfera. En los mundos océano, en cambio, la falta de una superficie de roca

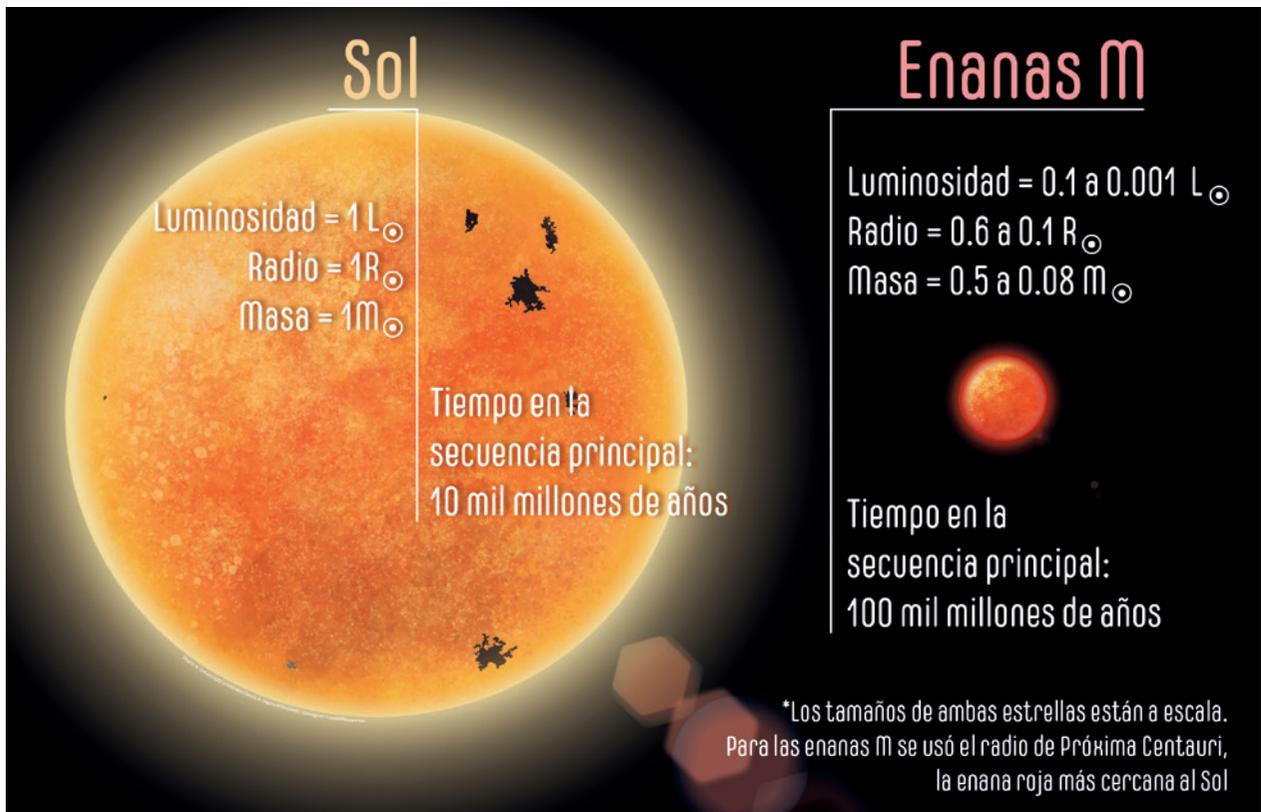


Figura 1. Características de las enanas M comparadas con el Sol.

podría hacer imposible el origen de la vida, pues se ha demostrado que la interfaz de la superficie y el océano fue fundamental para concentrar compuestos que eventualmente formaron las primeras células. Otra posibilidad es que la vida haya surgido en volcanes submarinos donde el agua a altas temperaturas y presiones disolvió minerales que resultaron indispensables para la vida, como el hierro y el azufre. Los mundos océano podrían proveer ambientes similares si tienen zonas donde el fondo del océano esté en contacto con roca, pero esto es sólo una posibilidad; el agua también podría estar en forma de hielo o un superfluido, de manera que no necesariamente serían oasis para la vida.

Bajo la luz de otra estrella

Al igual que los planetas, las estrellas también vienen en muchos tamaños. Las más pequeñas se llaman enanas M o enanas rojas debido a su color, y nos importan porque son casi el 75% de las estrellas

en la vecindad solar y, por si fuera poco, la mayoría de los planetas considerados potencialmente habitables están alrededor de ellas. Sus características generales pueden verse en la Figura 1. Las enanas M, al igual que el Sol, están en una etapa llamada secuencia principal, en la que obtienen energía a partir de la conversión de hidrógeno en helio. Durante esta etapa las estrellas aumentan lentamente su luminosidad de manera que proveen una cantidad de energía relativamente estable que puede aprovecharse en un planeta para ser habitable. Una vez que consumen el hidrógeno en sus núcleos, las estrellas sufren cambios que vuelven imposible la vida en sus planetas. Las enanas M se mantienen en la secuencia principal por mucho más tiempo que una estrella como el Sol (Figura 1), lo que permitiría que la vida surja y evolucione. Su baja luminosidad implica que su ZH estará mucho más cerca de la estrella, comparada con la de una estrella como el Sol (Figura 2). Cuando una estrella y su planeta se encuentran así de cerca, el planeta va frenando su rota-

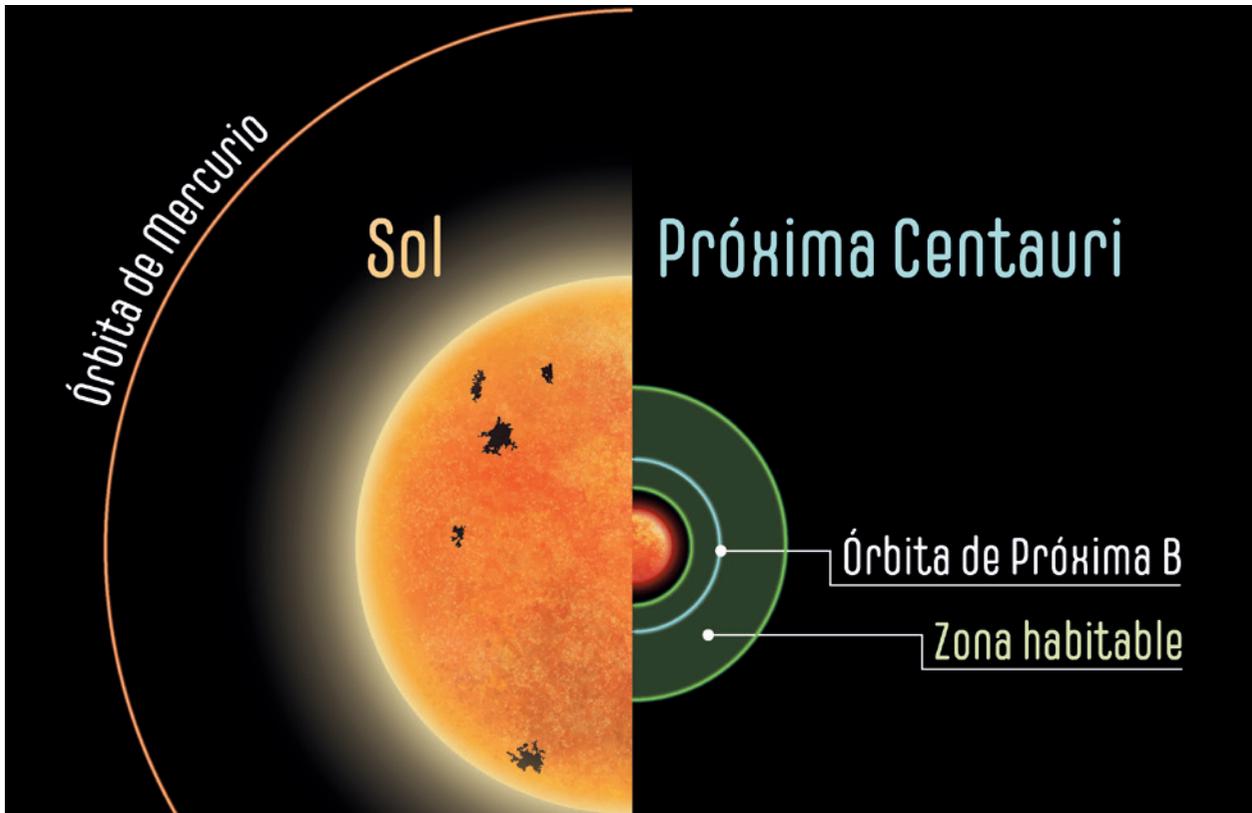


Figura 2. Comparación de la órbita de Próxima b con la órbita de Mercurio, el planeta más cercano al Sol. La zona habitable de Próxima Centauri se muestra en verde. El tamaño de las órbitas comparado con el de las estrellas no está a escala.

ción hasta que ésta se sincroniza con su translación. Esto le sucedió al sistema Tierra-Luna y por eso hay una cara de la Luna que nunca vemos. En el caso de una estrella y su planeta habrá un hemisferio que siempre esté iluminado y otro no. Durante un tiempo se pensó que esto haría que el planeta fuera inhabitable, pues la atmósfera estaría muy caliente de un lado y se escaparía al espacio, mientras que del otro lado se congelaría y depositaría en la superficie. Pero se demostró que una atmósfera tenue de CO_2 podría distribuir el calor de un hemisferio al otro de manera que estos planetas podrían ser habitables. Sin embargo, las enanas M seguían siendo ignoradas en las listas de estrellas para buscar planetas potencialmente habitables.

A principios de este siglo pasaron dos cosas: una fue que las técnicas observacionales favorecieron la detección de planetas menos masivos alrededor de enanas M y la otra fue descubrir que la radiación UV que emitían estas estrellas daba como resultado una química atmosférica particular. Resulta que las en-

anas M producen mucha más radiación UV de la que deberían porque la mayoría de ellas son “activas”. La actividad estelar se debe a que el campo magnético de la estrella interacciona con la atmósfera estelar provocando que ésta emita más rayos X y UV de lo esperado. El trabajo que realicé con James Kasting (Universidad Estatal de Pensilvania) y más tarde con el grupo dirigido por Victoria Meadows (Universidad de Washington), sobre la química atmosférica de planetas alrededor de enanas M, reabrió las puertas no sólo para estudiar el potencial de habitabilidad de sus planetas, sino también para estudiar más a detalle a estas estrellas y los efectos que su actividad tiene en la habitabilidad planetaria (Segura, 2010). En la UNAM, mi grupo de trabajo estudia el potencial de habitabilidad de estos exoplanetas y el efecto de la actividad estelar en la química atmosférica y la formación de compuestos relevantes para la vida. Para ilustrar la complejidad de estudiar la habitabilidad de exoplanetas, vayamos al sistema planetario más cercano al Sol.



La vecina de al lado

Próxima Centauri es una enana M activa a sólo 4.2 años luz de distancia y alrededor de ella se encuentra Próxima b (los exoplanetas se nombran como su estrella más una letra que se elige a partir de la b, según se van descubriendo). Próxima b tiene apenas un 7% más masa que la Tierra y cae dentro de la famosa zona habitable, pero ¿es un mundo habitable? Bueno, en principio no sabemos si es un mundo rocoso. Para restringir su composición necesitamos su masa y su radio, y sólo tenemos la primera. Además,

los instrumentos actuales no nos permiten saber si tiene atmósfera. Lo que sí sabemos es que una estrella como ésta, antes de iniciar la etapa de secuencia principal fue mucho más brillante y luego bajó su luminosidad, y en ese entonces debió de emanar mucha más radiación en forma de rayos X y UV. Esto implica que en sus inicios el planeta debió de recibir suficiente energía para que se evaporara su agua y quizás también para que perdiera su atmósfera, aunque esto depende de la cantidad inicial de ambas, cosa que desconocemos. Por otro lado, la radiación

uv emitida por Próxima Centauri durante esta etapa pudo ser la fuente de energía para que se dieran los primeros pasos hacia el origen de la vida en su planeta, suponiendo que el agua y la atmósfera hayan sobrevivido. La comunidad astrobiológica ha explorado varios escenarios para Próxima b, pero la respuesta llegará hasta que tengamos observaciones que nos digan si este exoplaneta tiene una atmósfera y cuál es su composición. Los modelos servirán entonces para interpretar las observaciones y establecer el potencial de habitabilidad de Próxima b.

Un mundo habitable

Los telescopios más avanzados hoy en día tienen muchas limitaciones para observar atmósferas de planetas potencialmente habitables. El JWST es el mejor instrumento que tenemos en el espacio y puede estudiar de forma limitada algunos exoplanetas rocosos (JWST son las siglas de James Webb Space Telescope). Una parte de la comunidad astronómica ha protestado por este nombre porque J. W. no fue científico y participó activamente en la exclusión de personas de la comunidad LGBTQ+ de la NASA y otras entidades de gobierno. A pesar de las múltiples solicitudes, el nombre se mantuvo y como protesta

usamos sólo las siglas o lo llamamos *Just Wonderful Space Telescope*). Será hasta la siguiente generación de telescopios, tanto en la superficie como en el espacio, cuando podremos estudiar estas atmósferas y establecer si los planetas son habitables y, tal vez, encontrar huellas de actividad biológica.

Por primera vez en la historia de la humanidad tendremos la posibilidad de saber si a nuestro alrededor hay mundos habitados. Pero hay que recordar que si encontramos mundos habitables, no lo serán para los humanos. La Tierra es el único mundo habitable para la humanidad y de nosotros depende que continúe siéndolo.

Antígona Segura

Instituto de Ciencias Nucleares, UNAM.

antigona@nucleares.unam.mx

Lecturas recomendadas

Landau, E. (2021), “¿Estamos solos en el universo?”, NASA. Disponible en: <https://ciencia.nasa.gov/universo/estamos-solos-en-el-universo/>, consultado el 6 de diciembre del 2023.

López Suárez, P. (2023), “¿Existe vida en otros planetas?”, *Gaceta UNAM*, 5379:10.