

PRESENTACION MURAL

Condiciones físicas de exoplanetas y microorganismos que habitan ambientes extremos

M. García¹, X.C. Abrevaya² & M. Gómez¹

(1) Observatorio Astronómico, Universidad Nacional de Córdoba

(2) Instituto de Astronomía y Física del Espacio (CONICET-UBA)

Abstract. In this work we identified exoplanet candidates that could host different types of microorganisms like those that inhabit extreme environments on Earth. Following this aim, we determined two physical parameters of the planets: the equilibrium temperature and atmospheric pressure. We identified microorganisms that can inhabit on Earth in the same ranges of temperature and/or pressure. We also analyzed the Stellar Habitable Zone around each planetary system and made some considerations taking into account the ultraviolet radiation that these planets would receive.

Resumen. En este trabajo se identificaron exoplanetas candidatos que podrían albergar algún tipo de microorganismo tal como los que habitan ambientes extremos en la Tierra. Para ello se determinaron dos parámetros físicos en los planetas: la temperatura de equilibrio y la presión atmosférica. Se identificaron microorganismos que habitan en la Tierra dentro de estos rangos de temperatura y/o presión. Además se analizó la Zona de Habitabilidad Estelar de cada sistema planetario y se realizaron algunas consideraciones con relación a la radiación ultravioleta que reciben estos planetas.

1. Introducción

A la fecha son más de 1000 los planetas extrasolares confirmados. Las diversas técnicas de detección (velocidad radial, tránsito planetario, etc.) han permitido no solamente detectar nuevos planetas, sino también determinar (directa o indirectamente) algunas propiedades orbitales o físicas, tales como: semieje mayor, excentricidad, radio y masa del planeta. A partir de estos parámetros planetarios y de las propiedades físicas de las estrellas huéspedes, se puede estimar la temperatura de equilibrio, la presión atmosférica, la radiación ultravioleta que recibe el planeta, entre otras condiciones físicas.

Por otro lado, en la Tierra existen distintos tipos de hábitats en los cuales microorganismos, denominados *extremófilos*, crecen óptimamente en condiciones físico-químicas que se apartan significativamente de los valores promedio de nuestro planeta ($T = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P_{\text{atm}} = 1\text{ bar}$, $E_{\text{UV}} = 116\text{ W/m}^2$). Por ejemplo, se han descubierto microorganismos que son capaces de crecer a temperaturas cercanas al punto de ebullición del agua ($100\text{ }^{\circ}\text{C}$), como es el caso de *Pyrococcus sp. strain*

CH1 (Zeng et al. 2009) con crecimiento óptimo a 98 °C; también aquellos que crecen óptimamente a presiones superiores a 1000 bar, como *Colwellia sp. strain MT41* que crece óptimamente a los 1030 bar, y no sobrevive a presiones inferiores a 500 bar (Yayanos et al. 1981; Yayanos 1986); y los que crecen a temperaturas inferiores al punto de fusión del agua (0 °C), como es el caso del microorganismo *Planococcus halocryophilus* que crece a una temperatura de -15 °C (Mykytczuk et al. 2013). Esto sugiere la posible existencia, al menos en teoría, que microorganismos de estos tipos pueden ser capaces de habitar ambientes similares en otros planetas.

¿Existen microorganismos terrestres que sean capaces de sobrevivir en condiciones extremas de temperatura, presión y/o radiación ultravioleta, como las que presentan los planetas extrasolares? Con el propósito de responder a este interrogante, se seleccionaron de la literatura y, principalmente de la Misión Kepler, aquellos planetas extrasolares para los cuales se dispone la mayor cantidad de parámetros físicos posibles, a partir de los cuales se estimaron las temperaturas, presiones y radiación UV (100 – 400 μm), que reciben de las estrellas en torno a las cuales orbitan. La muestra original consta de 92 planetas.

2. Determinación de parámetros físicos

En la determinación de la temperatura de equilibrio (T_{eq}) se asumió que tanto la estrella como el planeta se comportan como cuerpos negros y que existe equilibrio térmico. Se tuvo en cuenta el albedo Bond del planeta, y se llevó a cabo un proceso iterativo para determinar el valor final de T_{eq} . En el caso de la presión atmosférica (P_{atm}) se consideró que los gases que conforman la atmósfera del planeta se comportan como un gas ideal de una determinada composición química. Se asumió que los planetas que poseen una densidad media $\leq 2 \text{ g/cm}^3$, poseen una composición y abundancia química atmosférica similar a la de Júpiter (H_2 , He, H_2O , CH_4), mientras que aquellos con densidad $\geq 2 \text{ g/cm}^3$ tienen una composición y abundancia química como la de la Tierra (N_2 , O_2 , H_2O). Además se adoptó que el espesor y la masa de la atmósfera del planeta son aproximadamente el 1% del radio y 0.01% de la masa total del planeta, respectivamente. En estas determinaciones se estimó una incerteza del orden del 30%, razón por la cual en la Tabla 1 se listan los rangos de temperatura y presión de cada planeta teniendo en cuenta este error. Para la estimación de la radiación UV (100–400 μm) a la que está expuesto el planeta, se empleó la aproximación de Wien de la ley de Planck. Finalmente se consideraron los límites de la Zona de Habitabilidad Estelar (ZHE) usando un modelo de temperatura constante (ver, por ejemplo, Poffo & Gómez 2012). Esta zona considera la presencia de agua líquida sobre la superficie del planeta, la que resulta imprescindible para la vida tal como la conocemos.

3. Selección de microorganismos

Los microorganismos pueden ser clasificados de acuerdo al rango de parámetros físico-químicos dentro de los cuales habitan. Por ejemplo, de acuerdo a la temperatura óptima de crecimiento se clasifican en: Hipertermófilos ($80^\circ\text{C} < T_{\text{op}}$), Termófilos ($50^\circ\text{C} < T_{\text{op}} < 80^\circ\text{C}$), Mesófilos ($15^\circ\text{C} < T_{\text{op}} < 50^\circ\text{C}$) y Psicrófilos

($T_{op} < 15^{\circ}\text{C}$). Con respecto a la presión, se encuentran microorganismos capaces de soportar altas presiones ($1 \text{ bar} < P < 1100 \text{ bar}$), los que se denominan Piezófilos o Barófilos. En cuanto a la radiación, aquellos que son capaces de resistir altas dosis se denominan radiotolerantes.

Teniendo en cuenta que en la Tierra no se han encontrado microorganismos fuera del rango de temperaturas entre -20 y 130°C , éstos fueron considerados como los valores límites para este parámetro. Cabe mencionar que si bien la temperatura no es el único factor requerido para la existencia de la vida, sí puede ser condicionante. Para este trabajo, se consideraron 16 planetas de la muestra original que presentan valores de temperaturas compatibles con los límites mencionados para la existencia de microorganismos terrestres que pueden habitar en estos rangos (Tabla 1). A partir de esta muestra de 16 planetas, se seleccionaron 14 exoplanetas para los cuales es posible encontrar microorganismos terrestres capaces de habitar dentro del rango de presiones determinadas para estos exoplanetas. Considerando los dos parámetros, temperatura y presión, se observó que solamente dos planetas, Kepler 62-e y 55-c, cumplen la condición de tener microorganismos que pueden vivir o sobrevivir bajo estos dos parámetros de manera simultánea. Resulta de gran importancia, por otro lado, destacar que estos dos planetas se encuentran dentro de la ZHE. Dos planetas más, Kepler 61-b y 22-b, también se encuentran en dicha zona y otros como: Kepler 42-d, 49-c, 54-c, 55-b y HD80606-b, yacen cerca de la misma. Este hecho debe considerarse de relevancia ya que se postula a la ZHE como factor limitante para la existencia de vida tal como la conocemos.

La radiación UV a la que están expuestos los planetas de la Tabla 1, varía entre 244 y 2565 W/m^2 , con un promedio de 1404 W/m^2 , aproximadamente. Estos valores son, en general, muy superiores a lo que recibe la Tierra del Sol (116 W/m^2). Es sabido que la radiación UV puede dañar macromoléculas esenciales para las células, como el ADN, incrementando las tasas de mutación o incluso llevando a la muerte celular. Otras macromoléculas importantes pueden ser también afectadas (por ejemplo proteínas y lípidos). Por otro lado se ha visto que la radiación UV puede inhibir algunos procesos como la fotosíntesis (Cockell 1998; Horneck 1999).

Sin embargo, es posible que ciertos microorganismos sobrevivan a altas dosis de radiación, incluso mayores a las que son expuestos naturalmente en su entorno. Por ejemplo, Horneck et al. (1994) expusieron a la bacteria *Bacillus subtilis* a la radiación UV solar de la órbita terrestre, durante 6 años. Aproximadamente el 80 % de la muestra sobrevivió en forma de spora a una dosis de $\sim 10^9 \text{ J/m}^2$. Por otro lado, Cockell et al. (2011) expusieron a distintas cianobacterias, *Anabaena Cilíndrica*, *Nostoc commune* y *Chroococciopsis*, durante 548 días a la radiación UV solar en la órbita terrestre. Estos organismos presentaron supervivencia a altas dosis de radiación ($6.47 \times 10^8 \text{ J/m}^2$). Considerando dichos resultados, al presente no se podría descartar que en algunos de los exoplanetas de la Tabla 1 puedan sobrevivir microorganismos radiotolerantes. Algunos autores están trabajando en este aspecto. En otros trabajos fueron empleadas condiciones de laboratorio para simular altas dosis de radiación UV que recibirían microorganismos en diferentes contextos planetarios (ver, por ejemplo, Abrevaya et al. 2009).

Tabla 1. Muestra de planetas seleccionados y posibles microorganismos terrestres que podrían habitar en dichos cuerpos planetarios.

Planeta	ΔT_{eq} ($^{\circ}C$)	Microorg.**	ΔP_{atm} (bar)	Microorg.**
Kepler 30-d	(35,65)	<i>Tv</i>	(55,103)	<i>Pp</i>
HD 80606-b	(99,183)	<i>Gb</i>	(15,29)	<i>Pp</i>
Kepler 9-b	(110,204)	<i>Mk</i>	(34,64)	<i>Pp</i>
Kepler 20-d	(68,124)	<i>Gb</i>	(14,26)	<i>Pp</i>
Kepler 22-b	(-14,-8)	<i>Mf</i>	(27,51)	<i>Pp</i>
Kepler 32-d	(62,114)	<i>Mk</i>	--	--
Kepler 47-b	(124,230)	<i>Gb</i>	(124,230)	<i>Ss</i>
Kepler 49-c	(127,235)	<i>Gb</i>	(246,456)	<i>Pt</i>
Kepler 55-b	(72,132)	<i>Mk</i>	(483,897)	<i>Ps</i>
Kepler 55-c*	(38,68)	<i>Mt</i>	(416,772)	<i>Mt</i>
Kepler 30-c	(111,205)	<i>Gb</i>	(16,30)	<i>Pp</i>
Kepler 42-d	(124,230)	<i>Gb</i>	(85,159)	<i>Tl</i>
Kepler 11-g	(73,135)	<i>Mk</i>	(10,18)	<i>Pp</i>
Kepler 54-c	(91,167)	<i>Gb</i>	(991,1839)	<i>Cs</i>
Kepler 61-b	(-30,30)	<i>Mf</i>	--	--
Kepler 62-e*	(-33,27)	<i>Pp</i>	(91,169)	<i>Pp</i>

*Planetas que satisfacen temperatura y presión. ***Tv*:*Thermoplasmatales volcanium*, *Gb*:*Geogemma barossi*, *Mk*:*Methanopyrus kandleri*, *Mf*:*Methanogenium frigidum*, *Mt*:*Methanococcus thermolithotrophicus*, *Pp*:*Photobacterium profundum*, *Ss*:*Shewanella strain KT99*, *Pt*:*Piezobacter thermophilus*, *Ps*:*Pyrococcus strain CH1*, *Tl*:*Thioprofundum lithotrophica 106*, *Cs*:*Colwellia strain MT41*.

En la presente contribución se identificó una muestra de planetas extrasolares con estimaciones de temperatura o presión (o ambas a la vez) dentro de los límites en los cuales se encuentra vida en la Tierra. Si bien existen otros parámetros que deberían ser considerados como parte del criterio de habitabilidad planetario, la aproximación realizada en este trabajo podrá proveer información acerca de aquellos planetas con un potencial interés astrobiológico.

Referencias

- Abrevaya X. C., Cortón E., Mauas P. J., 2009, Proceedings of the International Astronomical Union, 5, 443
- Cockell C. S., 1998, Journal of theoretical biology, 193, 717
- Cockell C. S., et al., 2011, The ISME journal, 5, 1671
- Horneck G., 1999, Advances in Space Research, 23, 381
- Horneck G., Bücker H., Reitz G., 1994, Advances in Space Research, 14, 41
- Mykytczuk N. C., et al., 2013, The ISME journal, 7, 1211
- Poffo D., Gómez M., 2012, Actas de las segundas jornadas de astrofísica estelar. p. 94
- Yayanos A. A., 1986, Proceedings of the National Academy of Sciences, 83, 9542
- Yayanos A. A., Dietz A. S., Van Boxtel R., 1981, Proceedings of the National Academy of Sciences, 78, 5212
- Zeng X., et al., 2009, The ISME journal, 3, 873