

CUANTIFICACIÓN DE LA HABITABILIDAD DE LOS ENTORNOS NATURALES

ENTIDAD EJECUTORA PRINCIPAL: Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

AUTORES PRINCIPALES: Rolando Pedro Cárdenas Ortiz y Osmel Martín González

OTRO AUTORES: Noel Pérez Díaz, ¹Jorge Horvath, ²Liuba Peñate Alvariano

COLABORADORES: Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas: Madeleine López Águila, Lien Rodríguez López, Michel Leiva Mora, Antolín González Noa y Dailé Avila Alonso, Instituto Mediterráneo de Investigaciones Avanzadas, España: Susana Agustí Requena, Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas (InSTEC): Oscar Rodríguez Hoyos, Universidad de Sao Paulo, Brasil: Douglas Galante, Centro de Investigaciones de Ecosistemas Costeros de Cayo Coco: Mayrene Guimaraes Bermejo, Museo Nacional de Historia Natural de Cuba: Reinaldo Rojas Consuegra, Universidad de Canterbury, Nueva Zelanda: John Hearnshaw, Universidad Complutense de Madrid, España: Jesús Martínez-Frías

OTRAS ENTIDADES PARTICIPANTES:

¹Universidad de Sao Paulo, Brasil

²Universidad de las Ciencias Médicas “Serafín Ruiz de Zárte Ruiz” de Villa Clara

AUTOR PARA LA CORRESPONDENCIA

Rolando Pedro Cárdenas Ortiz

Carretera a Camajuaní, km. 5; Departamento de Física; Facultad de Matemática, Física y Computación; Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas; Santa Clara, Villa Clara, Cuba

rcardenas@uclv.edu.cu

RESUMEN

COMUNICACIÓN CORTA

La cuantificación de la habitabilidad es un área interdisciplinar y emergente dentro de las Ciencias Naturales, y se pueden distinguir tres corrientes para abordarla. La corriente astrobiológica se enfoca en investigar las condiciones más básicas para que los productores primarios puedan existir en cualquier lugar del Universo, la biogeoquímica se centra en la interacción organismo-entorno, mientras que en la ecológica se observa más la interacción entre los organismos dentro del contexto del ecosistema. Estas tres corrientes se complementan, pero aún queda esfuerzo por hacer para una mejor comprensión del complejo fenómeno de la vida en sus

diversas escalas espacio-temporales. En consonancia con esto, los objetivos de esta propuesta son:

- Analizar la evolución de la habitabilidad en el Universo, desde las enormes escalas cosmológicas hasta las de planeta y ecosistema.
- Estimar cuantitativamente la habitabilidad de diversos entornos naturales, incluyendo la elaboración y aplicación de nuevos índices cuantitativos de habitabilidad.

En la Introducción se hace un análisis de la evolución de la habitabilidad en el Universo, considerando un modelo conceptual de biogénesis y aceptando la hipótesis filosófica de la unidad material del mundo. Según esto, las condiciones básicas necesarias para la emergencia de la vida (elementos químicos biogénicos, solvente para que estos se mezclen y fuente de energía para que se formen las complejas moléculas que requiere la vida) pudieron estar presentes ya desde 10 millones de años posteriores al Big Bang, en los primeros planetas rocosos que se formaron alrededor de estrellas medianas (tipo solar).

En el capítulo I se maneja la Habitabilidad Cuantitativa considerando sus tres vertientes: la astrobiológica, la biogeoquímica y la ecológica (o biológica). Se presentan las bases de la Teoría Cuantitativa de la Habitabilidad y se explican varias métricas (o índices) de habitabilidad, algunas desarrolladas por otros científicos y aplicadas por los autores de la propuesta [2], y otras desarrolladas por los autores de esta propuesta [1].

En el capítulo II se presentan casos de estudio en que los autores de la propuesta aplican métricas de habitabilidad a numerosos escenarios.

La sección II.1 se centra en estimar la habitabilidad primaria del sistema estelar-planetario Alfa del Centauro, pues por ser el más cercano a nuestro Sistema Solar, y por haberse detectado recientemente planetas rocosos en este, reviste gran importancia desde el punto de vista astrobiológico. Se presentan los resultados de dos publicaciones de los autores de la propuesta [2,5].

En la sección II.2 se estima cuantitativamente la evolución de la habitabilidad primaria en la Tierra en escalas de tiempo geológicas, desde los orígenes del planeta (eón Hadaico) hasta el eón actual (Fanerozoico). Sobre el probable origen de la vida fotosintética en la Tierra en etapa tan temprana como el eón Hadaico, se presentan modelaciones de los autores publicadas en [6-8]. Posteriormente se analiza la habitabilidad en el eón Arcaico, etapa algo más conservadora para situar el origen de la vida fotosintética en la Tierra. Se presentan trabajos de los autores que muestran el potencial del océano Arcaico de hospedar fitoplancton, aun sin la protectora capa de ozono atmosférica [9]. Después se analizan los eones Proterozoico y Fanerozoico, enfatizándose en la importancia del régimen fotobiológico para la habitabilidad fotosintética. Por la importancia biológica de la radiación ultravioleta (UV) solar, se consideran atmósferas con diversos niveles de oxigenación: con 10^{-5} , 10^{-4} , 10^{-3} , 10^{-2} , 10^{-1} y 1 PAL (*present atmospheric levels*) de O_2 [8,11,12]. Estas representan diversas etapas en la evolución atmosférica del planeta: 10^{-5} , 10^{-4} , 10^{-3} O_2 PAL representan atmósferas con niveles de O_2 tan

bajos que no logran crear una capa de ozono apreciable, condiciones típicas del Arcaico y el Proterozoico temprano; con 10^{-2} y 10^{-1} O₂ PAL se tiene una capa de ozono más fina, pero más cercana a la troposfera (lo cual incrementa la eficiencia del ozono en la absorción del UV solar), esto es típico del Proterozoico Medio; y para 1 O₂ PAL se tiene la atmósfera moderna típica del Proterozoico Tardío y el Fanerozoico. Entonces se presentan en numerosas publicaciones de los autores relacionadas con perturbaciones del régimen radiacional en la superficie del planeta y sus implicaciones en la habitabilidad, incluyendo el choque radiacional extragaláctico cuando el Sistema Solar se encuentra muy cercano al norte de nuestra galaxia [10], y de manera detallada la potencial influencia de explosiones estelares sobre nuestro planeta, especialmente en los últimos mil millones de años [3,8,11,12,13,14,15]. También se incluye la modelación del riesgo ante el impacto de asteroides, dándose especial énfasis al impacto del asteroide de Chicxulub, el cual provocó una extinción masiva de la biota hace 65 millones de años en la transición Cretáceo-Paleógeno, que incluyó la extinción de los dinosaurios. Sobre este impacto, se presentan varias publicaciones de los autores [16,17].

En el capítulo III se esbozan brevemente las perspectivas, acorde al estado actual de conocimientos de la Humanidad, para la evolución natural de la vida en el Sistema Solar y en el Universo.

En resumen, se avanzó en la comprensión sobre la capacidad de los entornos naturales para sostener la vida. La propuesta está basada en una tesis doctoral en Ciencias Físicas, 10 artículos en revistas indizadas en la Web de la Ciencia, un capítulo de un libro publicado por la editorial Springer, tres artículos en la Revista Cubana de Física (indizada en Scopus, grupo I del MES), un artículo en la revista de acceso abierto Challenges (grupo III del MES) y un pre-print colocado en arxiv.org (grupo III del MES). Los principales avales que respaldan la propuesta provienen de la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas; del Instituto de Astronomía, Geofísica y Ciencias Atmosféricas de la Universidad de Sao Paulo (Brasil) y de la Universidad de las Ciencias Médicas "Serafín Ruiz de Zárte Ruiz" de Villa Clara.

REFERENCIAS

1. Rolando Cardenas, Noel Perez, Jesus Martinez-Frias and Osmel Martin. On the Habitability of Aquaplanets. Challenges 2014, 5, 284-293; doi:10.3390/challe5020284
2. A. González, R. Cárdenas-Ortiz and J. Hearnshaw. POSSIBILITIES OF LIFE AROUND ALPHA CENTAURI B. Rev. Cub. Fis. 30, 81 (2013)
3. L. Peñate, O. Martin, R. Cardenas and S. Agusti. Short-term effects of gamma ray bursts on oceanic photosynthesis. Astrophys Space Sci 330, 211 (2010).

4. L. Peñate, R. Cárdenas, O. Martín. Environmental effects of flares from red dwarf stars. *International Journal of Modern Physics E* 20, pp. 37-41 (2011).
5. M. López-Águila, R. Cárdenas-Ortiz y L. Rodríguez-López. Sobre la habitabilidad de exoplanetas orbitando a Próxima del Centauro. *Rev. Cub. Fis.* 30, 77 (2013)
6. OSMEL MARTÍN, LIUBA PEÑATE, ROLANDO CÁRDENAS, AND J.E. HORVATH. THE PHOTOBIOLOGICAL REGIME IN THE VERY EARLY EARTH AND THE EMERGENCE OF LIFE. Book Chapter, *Genesis-In The Beginning*, pp145-155 (2012)
7. Noel Perez, Rolando Cardenas, Osmel Martin, Leiva-Mora Michel. The potential for photosynthesis in hydrothermal vents: a new avenue for life in the Universe? *AstrophysSpaceSci* (2013) 346:327–331 DOI 10.1007/s10509-013-1460-z
8. Tesis de Doctorado en Física. La fotobiofilia de la Vía Láctea. Autor Osmel Martin Gonzalez. Tutores: Rolando Cardenas y Jorge Horvath
9. Daile Avila & Rolando Cardenas & Osmel Martin. On the Photosynthetic Potential in the Very Early Archean Oceans. *OrigLifeEvolBiosph* (2013) 43:67–75 DOI 10.1007/s11084-012-9322-1
10. Lien Rodriguez, Rolando Cardenas and Oscar Rodriguez. Perturbations to aquatic photosynthesis due to high-energy cosmic ray induced muon flux in the extragalactic shock model. *International Journal of Astrobiology* 12 (4): 326–330 (2013) doi:10.1017/S1473550413000219
11. Martin, Osmel; Cardenas, Rolando; Horvath, Jorge E.; Penhate, Liuba. EFFECTS OF GALACTIC GAMMA RAYS BURSTS ON PLANETARY ATMOSPHERES. *International Journal of Modern Physics E*. Vol. 20, Supplement 2 (2011) 67–70. DOI: 10.1142/S021830131104061X
12. O. Martin, D. Galante, R. Cardenas, J. Horvath. Short-term effects of gamma ray bursts on Earth. *Astrophys Space Sci.* 321 (2009), 161. DOI 10.1007/s10509-009-0037-3
13. M. Guimaraes, R. Cardenas and J. Horvath. Intense ultraviolet perturbations on aquatic primary producers. <http://arxiv.org/abs/1010.0727> preprint, October 2010.
14. ROLANDO CARDENAS, OSMEL MARTIN, LIUBA PENATE, JORGE HORVATH. EFFECTS OF GALACTIC GAMMA RAY BURSTS ON PLANETARY BIOSPHERES. *International Journal of Modern Physics E* Vol. 20, (2011) 132-135
15. Osmel Martin, Rolando Cardenas, Mayrene Guimaraes, Liuba Peñate, Jorge Horvath, Douglas Galante. Effects of gamma ray bursts in Earth's biosphere. *Astrophys Space Sci* (2010) 326: 61–67 DOI 10.1007/s10509-009-0211-7
16. N. Perez, R. Cardenas, O. Martin and R. Rojas. Modelling the onset of photosynthesis after Chicxulub asteroid impact. *Astrophys. Sp. Sc.*, 343 (2013).
17. Pérez, N., Martín, O., Cárdenas, R.: Evolución del proceso de fotosíntesis después del impacto del asteroide de Chicxulub. *Rev. Cub. Fis.* 31, 1E (2014)