

La Biogeografía de Islas: herramienta científica y tecnológica de lo microscópico a lo universal.

Edgardo I. Garrido-Pérez^{1*}

¹Asociació Llapis i llavors (Pencil and Seeds), Calle Aragó 565 Bajos, Barcelona, España.

*Autor para correspondencia. E-mail: edgardoga2@hotmail.com

Recibido: 11 de septiembre de 2019

Aceptado: 18 de diciembre de 2019

Resumen

En Biogeografía, 'isla' es todo habitat propicio para cualquier especie rodeado de un entorno que no lo es. Desde este enfoque, las bocas de las personas, los charcos, lagos, fragmentos de bosque, plantíos, ciudades y hasta planetas se consideran islas. De acuerdo con MacArthur y Wilson, las islas más grandes, viejas y cercanas a sitios biodiversos albergan más especies que las pequeñas, apartadas y jóvenes. Algunas líneas de investigación emanadas de ello pueden estudiar los procesos de colonización de los plantíos, ganaderías y ciudades por plagas, y la efectividad del aseo personal para afrontar epidemias. Los planetas son islas sometidas a procesos de: surgimiento de la vida, especiación, extinción y aniquilación que ocurren a velocidades cuantificables con respecto a un solo tiempo cósmico: la Gran Explosión. Ello viabiliza la presentación aquí de una fórmula sencilla para estudiar la biodiversidad universal. La Biogeografía de Islas puede orientar la inagotable creatividad humana para promover investigaciones desde lo microscópico hasta lo universal.

Palabras clave: biodiversidad, especiación, extinción, patógenos, plagas.

Abstract

Biogeography calls an island to every habitat suitable for a given species being surrounded by a non-habitable zone for such a species. Thus, the mouths and bodies of people, water pounds, lakes, forest fragments, crops, cities, and even planets can be considered as islands. According to MacArthur and Wilson, the larger, older islands near to biodiverse places host more species than small, younger islands located far away. Some of the exciting research lines coming out of that are: the colonization of plants and animals by pathogens and the ways to tackle that, the attack of crops and cities by pests, and even the effectiveness of personal hygiene for reducing the risks of epidemics. Planets are islands submitted to processes of: rise of life, speciation, extinction, and annihilation. Speeds of such processes are quantifiable respect to one single universal time: the Big Bang. That has made possible to introduce here a simple formula for universal biodiversity. Island Biogeography can guide the neverending creativity of humans studying life from the microscopic to the universal levels.

Keywords: biodiversity, extinction, speciation, pathogens, pests.

1 Introducción

Médicos, epidemiólogos, agrónomos, biólogos, y hasta exobiólogos figuran entre quienes pueden impulsar sus ideas mediante el trampolín que brinda la teoría de biogeografía de islas. Todos tenemos bacterias en la boca, y cada boca es una “isla” para esas bacterias. Usar enjuague bucal corresponde a lo que los biólogos llaman un “disturbio” que reducen drásticamente las poblaciones de esas bacterias; comer, besar y compartir cubiertos con otras personas son mecanismos por los cuales las poblaciones de aquellos microbios vuelven a aumentar por migraciones “de una isla a otra”. Cuando los médicos nos aconsejan lavar bien nuestros cubiertos y no compartir los cepillos de dientes, están aplicando la *teoría de biogeografía de islas* a lo más íntimo y cotidiano de nuestras vidas. También lo hacen cuando nos invitan a guardar “prudente distancia” con alguna persona resfriada, o a taparnos la boca al estornudar cerca de otros.

Pero ¿en qué consiste la teoría de biogeografía de islas, qué aplicaciones tiene y cuán lejos puede llevar a quienes renuncien a ser meros técnicos para encarar temas científicos de envergadura y crear tecnologías efectivas? Nadie parte de cero, pero el mejor modo de proponer algo relevante a cualquier campo de conocimientos es, parafraseando a Newton, encaramarse sobre los hombros de quienes formularon las ideas más influyentes; aquellas cuya amplitud las hizo llegar a los libros de texto. La biogeografía de islas, de **Robert MacArthur y Edward O. Wilson (1963)**, es una de esas ideas. Por mencionar sólo un ejemplo, la Teoría Neutral Unificada de la Biodiversidad y la Biogeografía, de **Stephen P. Hubbell (2001)**, que tanto revuelo ha causado entre los ecólogos (e.g. **Casemiro & Padiál 2008**), se fundamenta en la biogeografía de islas. Este ensayo ofrece un vistazo a la biogeografía de islas tomando como guía la pregunta arriba indicada, ilustrando el tema con ejemplos que incluyen lo médico, epidemiológico, agronómico, urbanístico y biológico. Más aún, se ha reportado que más de mil planetas pueden albergar formas de vida como sucede en la Tierra (**Lineweaver & Chopra 2012**). Por ello este ensayo también aplica la biogeografía de islas al excitante campo de la posible biodiversidad interplanetaria y universal.

2 La “isla” como unidad para entender la biodiversidad

Del origen de la vida a la teoría de MacArthur y Wilson

Una vez que la vida en nuestro planeta surgió y proliferó en los ambientes acuosos, los primeros organismos se agrupaban como consecuencia de la corta distancia entre los individuos que surgían por división celular como “hijos” de otros. Mientras, a lo lejos, quedaban organismos apartados que, cuando no perecían, se reproducían y formaban a su vez grupos. Pero los ambientes acuosos forman discontinuidades, a muchas de las cuales denominamos coloquialmente “charcos”. Los charcos son buenos ejemplos de “islas” en el sentido biogeográfico del término: zonas colonizables por seres vivos rodeadas de otras que no son habitables para esos seres vivos. Conforme esta definición, los charcos funcionan como islas para las bacterias, larvas de insectos, algas microscópicas, y otros organismos. Entre los años 1963 y 1967, MacArthur y Wilson indicaron que el número de especies en las islas depende de los siguientes aspectos (ver también **Pozo & Llorente 2001**):

(a) El tamaño de la isla. Las islas más grandes tienen más espacio o variedad de hábitats disponibles, por lo cual deben acumular más especies que las islas pequeñas. **MacArthur y Wilson (1963)** presentaron evidencias: el total de especies de anfibios y reptiles en el Caribe es mayor en las islas más

grandes. Ya en una escala más pequeña, una olla de sopa olvidada a la intemperie albergará más microorganismos que un plato de la misma sopa. También, un lago saturado de seres vivos tiene más especies que un charco también saturado; la piel de un adulto alberga más microorganismos que la de un niño, y las ciudades grandes brindan más oportunidades para que proliferen las ratas, ratones, cucarachas y alimañas en general que las ciudades pequeñas. Complementando lo antedicho, en las islas pequeñas hay mayor mortandad por eventos repentinos que en las grandes, contribuyendo a que las islas pequeñas tengan menos especies. Por ejemplo, la mortalidad por desecación es más drástica para los charcos que para los lagos.

(b) La distancia desde la fuente de propágulos. Las islas más lejanas a los sitios con seres vivos son menos accesibles para estos que las más cercanas, por lo cual poseen menos especies que las segundas. Lo antedicho incrementa los riesgos de extinción en las islas lejanas.

Epidemiología y Agronomía

Los peligros de transmisión de enfermedades disminuyen conforme aumenta la distancia entre personas. Quien está muy cerca de alguien que estornuda se arriesga más al contagio, en comparación con quienes están lejos. Quien besa los labios de una persona resfriada está reduciendo a cero la distancia entre “islas contagiadas y sin contagiar”, maximizando las posibilidades de resfriarse. Aplicando el principio biogeográfico de “a mayor separación menor contagio”, los ganaderos minimizan los contactos de sus animales con los de otras fincas para evitar pestes, y los agricultores procuran que sus plantas no se toquen entre ellas. Por supuesto que el número y concentración de las poblaciones de ganado y plantas no bastan como criterios para salvaguardar la producción. Las vacas demasiado separadas ocupan mucho espacio, despilfarrando tierras y exigiendo altos esfuerzos de arreo. Las plantas muy dispersas dejan demasiada tierra al descubierto, aumentando el deslave y la erosión que restan fertilidad al suelo. Un modo de contrarrestar eso, también entendible mediante la biogeografía de islas, lo aplican los indígenas de gran parte del mundo. Ellos intercalan las especies vegetales, reduciendo con ello las posibilidades de traspaso entre individuos que puedan compartir un mismo patógeno. Lo mismo les ocurre a los humanos que viven en sitios forestales y remotos: al reducir el contacto entre aldeas aisladas por selvas espesas, logran que el bosque funcione como un “océano verde”, aminorando la transmisión de enfermedades.

En todo caso, es posible medir la velocidad de “colonización” de los microorganismos. Los fitopatólogos, por ejemplo, pueden medir, en fechas distintas, el tamaño de las manchas de hongos o bacterias en una muestra de hojas, extrapolarla al número de hojas o el área foliar de la planta. Con ello se puede calcular la velocidad de ocupación de la cada planta por los microorganismos y hasta comparar entre plantas para saber a qué niveles de infestación se generan mayores pérdidas de cosecha. Más aún, se pueden registrar las fechas de paso de las infecciones de un individuo a otro, e incluso de un fin a otra, para decidir en consecuencia los modos de frenar epidemias.

3 Disturbios y cambios temporales: de los microbios al universo

Cada vez que usted se cepilla los dientes o usa enjuague bucal, disminuye mediante un disturbio severo las poblaciones de gérmenes en su boca. Algo similar puede decirse de la ingesta de purgantes o antibióticos; pero también de la fumigación de casas, jardines y plantaciones: estas son perturbaciones

que reducen las poblaciones y variedad de especies perjudiciales. Fuera del cuerpo humano, otros disturbios son la tala selectiva, el clareo de terrenos para sembrar y la recanalización de los arroyos y ríos. Luego de la perturbación, un sitio puede ser recolonizado en virtud de las reglas de la biogeografía de islas: los sitios lejanos y de mayor superficie tardarán más en recuperar su biota. Y, como las islas cambian con el tiempo, los mejores médicos piden a sus pacientes que los visiten varias veces, a fin de monitorear los cambios de sus enfermedades. También los buenos agrónomos, veterinarios y custodios de la naturaleza procuran “auscultar” repetidas veces a las plantas y animales, tanto productivos como silvestres a fin de diagnosticar de manera temprana si los “enfermos” se agravan o mejoran.

Colonizaciones, extinciones y especiaciones

Para MacArthur y Wilson, el número de especies en una isla oscila a través del tiempo desde cero especies hasta un valor máximo empíricamente determinable. Ello como consecuencia del “tira y afloja” entre los procesos de colonización de cada isla, por un lado, y los de extinción en la isla -por el otro (**Pozo & Llorente 2001**). Cuando predominan las colonizaciones, el número de especies de la isla es alto; cuando predominan las extinciones, es bajo. Al llegar a una isla poco poblada y biodiversa, alguna especie inmigrante afronta menores riesgos de extinción, por ejemplo, porque ha escapado de los depredadores que la afectaban en su lugar de origen. Bajo esas condiciones, los individuos “fundadores” que han llegado se reproducen entre ellos durante muchas generaciones con poco peligro de “degenerar” por endogamia. Eso permite a dicha especie seguir un rumbo evolutivo propio, originando nuevas especies; incrementando con ello la biodiversidad en un archipiélago por encima del número de especies aportado por mera inmigración desde el “continente” (**Mayr 1963**).

Cinética de la biodiversidad: expandiendo la biogeografía de islas a una escala universal

Los procesos de especiación y extinción demoran más tiempo que los eventos puntuales de inmigración, lo cual nos invita a tomar en cuenta la dimensión temporal de los cambios de la biota en las islas. Hay procesos rápidos, como el arribo de individuos mediante inmigración. Hay alteraciones que acaecen a velocidad intermedia, como la proliferación o extinción de especies y el cambio de sus poblaciones a causa de los disturbios. También acontecen variaciones a plazos más largos, como la transformación geológica de las islas o la especiación, la cual abarca los tiempos de vida de muchas generaciones. Si todo eso es verdad, entonces se puede expandir la teoría de MacArthur y Wilson indicando que el número de especies de las islas cambia según: el tamaño de la isla, su distancia a la fuente de propágulos, y la edad de cada isla. En concreto: las islas más viejas han tenido más tiempo para acumular especies por inmigración y especiación, pero también para perderlas por emigración y extinción.

A nivel universal, cada planeta funciona como una isla. Eso habilita a la teoría de biogeografía de islas para formular estimadores del número de especies de cualquier planeta y de todo el Cosmos, como MacArthur y Wilson lo hicieron para las islas terrestres. De acuerdo con los astrónomos, nuestro mundo tiene alrededor de 4500 millones de años y la vida surgió aquí de modo autóctono hace alrededor de 4000 millones de años (**Martin et al. 2006, Pascal et al. 2006**). Desde entonces, en nuestro planeta se ha acrecentado la biodiversidad a través de especiaciones, y se ha reducido por medio de extinciones. Todos esos procesos consumen tiempo y, por ende, se pueden cuantificar sus velocidades.

Tomando a nuestro planeta como referencia, la formación y transformaciones de la atmósfera, los líquidos y sólidos ambientales que contextualizan las reacciones capaces de producir vida ocurren a velocidades que abarcan centenas de millones de años (**Pascal et al. 2006**). Aunado a ello, algunos planetas se formaron en momentos diferentes a otros, por lo que es muy improbable que el surgimiento y permanencia de la biodiversidad en unos planetas sea simultánea al de otros. De modo que para poder aplicar la biogeografía de islas a la construcción de un marco teórico que oriente la búsqueda de vida en otros planetas, es necesario lograr que todos los cálculos de cinética de especiaciones y extinciones operen sobre una misma escala temporal. Ello puede hacerse estandarizando la edad de cada planeta y de la vida en estos con respecto a una sola fecha en la cual, por cierto, no existía vida alguna: el origen del Universo; la Gran Explosión (**Garrido-Pérez & Cajas 2017**); la cual ocurrió hace aproximadamente 14000 millones de años. Así, el total de especies de seres vivos (s) para un planeta cualquiera, durante cualquier lapso medido a partir de la Gran Explosión, equivale al balance entre el número de especies surgidas por especiación (e), menos el número de especies perdidas por extinción (p) en dicho lapso. Pero los planetas más viejos; es decir, los que se formaron primero, han tenido más tiempo que los planetas jóvenes, tanto para que la vida se genere (g) como para acumular especies mediante especiaciones. Así que ese tiempo g de generación de vida tiene que calcularse tomando en cuenta la edad de cada planeta (**Garrido-Pérez & Cajas. 2017**).

El planeta Tierra como ejemplo

Apliquemos lo arriba indicado tomando a nuestro planeta como ejemplo. Si hemos definido a g como el tiempo necesario a partir de la formación de nuestro planeta para que la vida surja en este, y si nuestro planeta se formó hace aproximadamente 4500 millones de años respecto a nuestros días (**Martin et al. 2006**), entonces, con respecto a la Gran Explosión, la fecha de formación de nuestro planeta ocurrió hace como 9500 millones de años de edad del Universo. Ello porque 14000 millones – 4500 millones = 9500 millones. Por otro lado, se estima que la vida surgió aquí hace alrededor de 4000 millones de años (**Pascal et al. 2006**). Así que, tomando a la Gran Explosión como referencia, tenemos aproximadamente: 14000-4000=10000 millones de años de edad del Universo para cuando la vida surgió sobre la Tierra. Las cifras exactas de ese cómputo pueden variar a la luz de nuevos hallazgos, pero ilustra que, para poder calcular el tiempo de generación g de la vida en nuestra “isla cósmica” con respecto a la fecha de surgimiento del universo, tenemos que restar la edad del universo cuando la vida apareció sobre nuestro planeta (llamémosle t_v) a la edad del Universo cuando se formó el planeta (t_{form}). Eso nos da la fórmula de g , la cual sirve para cualquier planeta:

$$g = t_v - t_{form} \quad (1) \text{ Tiempo desde la Gran Explosión que tardó un planeta habitado en generar vida.}$$

Para la Tierra, el planeta cuya historia conocemos mejor, tenemos:

$$g = 10000 \text{ millones de años} - 9500 \text{ millones de años} = 500 \text{ millones de años.}$$

Conforme los científicos vayan conociendo la vida y su historia en otros planetas, se podrá repetir este cálculo para esos planetas y compararlos, tanto entre ellos como con el nuestro.

El factor de acumulación de especies

Ya arriba vimos que una vez que la primerísima especie se ha generado en un planeta, la especiación hará que aumenten las especies y la extinción reducirá su número. Pero de la misma manera que los planetas más viejos han tenido tiempo g para originar vida y acumular biodiversidad mediante especiaciones, también lo han tenido para ocurran extinciones. Así, el valor g es útil para establecer un coeficiente capaz de modificar los efectos de las velocidades de especiación y extinción. Ello a fin de proponer una fórmula que indique el número de especies que habiten cualquier planeta en cualquier momento, mediante la simple resta de las especies ganadas por especiación menos las perdidas por extinción (**Garrido-Pérez & Cajas 2017**). El coeficiente que necesitamos no puede ser el valor g , porque los coeficientes son adimensionales (sin unidad de medida), mientras que g se mide en millones de años. **Garrido-Pérez & Cajas (2017)** lograron esa adimensionalidad dividiendo $g \div t_p$; o sea entre el tiempo posterior a la Gran Explosión que tardó el planeta en generar vida. En el caso de la Tierra, ese cociente se calcula así: 500millones de años \div 10000millones de años = 0.05.

El valor antedicho es cómodo: tiene pocos decimales y no alcanza los miles de millones. Más todavía no sirve para comparar entre planetas, porque sigue dependiendo de la edad de cada planeta, la cual es dispareja entre estos. Por fortuna para la simplificación de nuestros cálculos, la existencia de vida es parte de un proceso continuo de modos cómo reaccionan las sustancias químicas. Dicho “gradiente químico” va entre las reacciones que generan y mantienen la vida, a las cuales asignamos un valor de 1, y las que no lo logran, a las cuales asignamos valores cercanos a 0. En otros términos: allí donde la vida no se ha formado jamás, no puede haber ni especiaciones, ni extinciones -lo que justifica el valor 0. También, para que haya especiaciones o extinciones, tiene que haber vida (justificando el valor 1). Nótese que esto equivale a considerar algo que, geoquímicamente hablando, no tiene nada de simplón: sabemos que no en todos los planetas las reacciones abióticas han generado vida. Así que es aceptable modificar a $g \div t_p$ haciendo que varíe dentro de una escala entre 0 y 1, donde 1 equivale al logro de generar vida y 0 a la no ejecución de dicho logro para cualquier planeta. Con todo eso en mente, Garrido-Pérez y Cajas (¡por fin!) restaron 1 menos el cociente de $g \div t_p$. Ello para darnos el siguiente coeficiente, al que llamaron **factor de acumulación de especies** (m), asociado a la ganancia por especiaciones y pérdida por extinciones:

$$m=1-(g \div t_p) \quad (2) \text{ factor de acumulación de especies para un planeta cualquiera.}$$

Sustituyendo por cifras para el caso de la Tierra, nuestra “isla cósmica” tiene en estos momentos un $m=1-0.05=0.95$.

Una hipótesis para el número de especies de cualquier planeta

Ya conociendo el factor de acumulación de especies m , podemos establecer una fórmula que prediga el número de especies (s) de cualquier planeta para cualquier tiempo (t) después de la Gran Explosión (**Garrido-Pérez & Cajas 2017**). En concreto, se modifican los valores las velocidades de: ganancia de biodiversidad por especiación, (e) menos la pérdida por extinción (p) multiplicándolas por m así: $s=(me-mp) \div t$. Esa fórmula se simplifica así:

$$s=m[(e-p) \div t] \quad (3); \text{ número de especies de un planeta para cualquier instante posterior a la Gran Explosión.}$$

Conforme se vayan conociendo los planetas que tengan o han tenido vida, se podrán promediar los valores de sus números de especies s y calcular sus varianzas. Desde este punto de vista, s es un parámetro calculable a partir de los inventarios de biodiversidad que harán los astronautas futuros; herederos profesionales de los biólogos de campo actuales. Dicho coloquialmente, se irá contestándonos a la pregunta “¿cuántas especies ocupan un planeta habitado en el universo?” La respuesta numérica variará conforme progresen los descubrimientos, pero será algo como lo siguiente: “En promedio tal; dentro de un rango entre este valor y este otro”.

De las islas al Cosmos: una hipótesis para la biodiversidad universal

Tal cual ya se ha hecho para la Tierra, los científicos irán afinando su conocimiento sobre las fechas de formación de los planetas, así como las del surgimiento de la vida en los que la tengan o hayan albergado. Eso permitirá identificar cuál fue el primer planeta en todo el Universo en el que surgió la vida (llamado D por Garrido-Pérez y Cajas). Así, aplicando las fórmulas aquí expuestas, se podrá estimar el tiempo g de generación de la vida en el primer planeta que la ha tenido, a partir de los valores empíricos de: la edad del universo cuando la vida se formó en el planeta D ($t_v D$) y la edad del universo cuando se formó dicho planeta ($t_{form} D$). Ello a su vez permitirá calcular m para el planeta D y, a partir de todo eso, el valor del número de especies s de dicho planeta.

Será una labor fascinante: la humanidad comenzará a informarse sobre el momento en que nuestra “Madre Universo” comenzó a “parir” biodiversidad. Ello con ayuda de la biogeografía de islas: visualizando al universo como un mega-archipiélago que acumula especies por especiación y las pierde por extinción. Por ende, a nivel cósmico, es legítimo dejar de llamar s para denominar S al número de especies acumuladas por dicho archipiélago, para cualquier momento después de la Gran Explosión, tomando en cuenta las fechas de formación del planeta D y surgimiento de la vida en este. Tal cálculo es posible modificando la ecuación 3 de la siguiente manera:

$$S=M[(E-P)/A] \quad (4); \text{ Número universal de especies para cualquier tiempo post Gran Explosión.}$$

El valor M en dicha fórmula es simplemente el factor de acumulación de especies m para el universo, pero tomando como edad de la vida al surgimiento de esta en el planeta D . En cambio, las velocidades de ganancia universal por especiación (E) y pérdida por extinción (P) se referirán no a ese planeta, sino a todo el “archipiélago universal”. Es decir, se basarán en los datos de todos los planetas que hayan albergado seres vivos, conforme se vayan conociendo. Ánimo: pasará mucho tiempo antes de que alguien invente excusas que dejen los amantes de la biodiversidad sin trabajo.

4 Conclusión

Biogeográficamente hablando, una isla es cualquier sitio habitable por seres vivos que esté rodeado de una zona no habitable para estos. Tal definición incluye a las islas “verdaderas” como las Antillas, pero también a los lagos, charcos de agua, cuerpos humanos, bocas, siembras, y hasta planetas. Todos esos sitios son estudiables desde la perspectiva de la Teoría de Biogeografía de Islas. De acuerdo con esta, la variedad de especies que se encuentra en cualquier isla depende del tamaño, la distancia a la fuente de propágulos y la edad de cada isla. Así que muchos profesionales pueden considerar estos valores

para darles utilidad. Es lo que hacen, por ejemplo, los epidemiólogos al frenar la propagación de enfermedades por medio de cuarentenas.

Las especies que llegan a una isla pueden proliferar, o bien reducir sus poblaciones; ello depende de si se adaptan al lugar y sus cambios. A largo plazo, las especies que perduran en una isla pueden generar nuevas especies, lo cual aumenta la biodiversidad. Alternativamente, pueden extinguirse -reduciendo así el número de especies en la isla. Como todos esos procesos consumen tiempo, la velocidad cambio de la biodiversidad en cualquier isla es medible. Cuando esos tiempos se estandarizan tomando como cero absolutos el origen del Universo (la Gran Explosión), se puede cuantificar el aporte de cualquier isla, incluso los planetas, a la biodiversidad universal.

Los astrobiólogos indican que el universo contiene tantos sitios propicios para la vida, que el descubrimiento de esta fuera de nuestro mundo solamente es cuestión de tiempo (**Lineweaver & Chopra 2012**). Sin embargo, pasará mucho tiempo antes de que existan datos de campo que permitan el uso numérico universal de la biogeografía de islas. Pero no debemos esperar con los brazos cruzados: *Homo sapiens* se traiciona a sí mismo cada vez que se conforma con lo que ya aprendió. Estamos obligados a ensamblar una cadena generacional de amantes de la biodiversidad, no sólo porque ésta está amenazada en nuestro planeta, sino para que ideas tan elegantes como la biogeografía de islas no se esfumen antes de poderlas contrastar con la inmensidad del Cosmos. El reto es permanente: para sobrevivir, toda ciencia tiene que atraer a los jóvenes a explorar sin miedo su propia curiosidad.

5 Agradecimientos

La Asociación Llapis i Llavors (Lápiz y semillas), Barcelona, apoyó este trabajo como parte de sus “cuadernos didácticos”.

6 Referencias

1. Cassemiro F.A.S. & A.A. Padial. 2008. Teoría neutra da biodiversidade e biogeografia: aspectos teóricos, impactos na literatura e perspectivas. *Oecologia Brasiliensis* 12(4):706-719.
2. Garrido-Pérez E.I. & A. Cajas. 2017. How many species of living beings fit into the Universe? *International Journal of Science and Nature* 8(1):171-177.
3. Hubbell S.P. 2001. *The unified neutral theory of biodiversity and biogeography*. Princeton University Press: New Jersey.
4. Lineweaver C. H. & A. Chopra. (2012). The habitability of our Earth and other Earths: astrophysical, geochemical, geophysical, and biological limits on planet habitability. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 40:597-623. DOI:10.1146/annurev-earth-042711-105531
5. MacArthur R.H. & E.O. Wilson. 1963. *The theory of island biogeography*. Princeton, New Jersey.

6. Martin H., F. Albarède, P. Claeys, M. Gargaud, B. Marty, A. Morbidelli & D.L. Pinti. 2006. Building of a habitable planet. In Gargaud, M., Claeys, P., López-García, P., Martin, H., Montmerle, T., Pascal, R., & J. Reisse, eds. *From Suns to Life: A Chronological Approach to the History of Life on Earth* Springer, New York. Pp. 97-151.
7. Mayr E. 1963. *Animal species and evolution*. Harvard, Cambridge -Massachusetts.
8. Pascal, R., L. Boiteau, P. Forterre, M. Gargaud, A. Lazcano, P. Lopez-García, D. Moreira, M-C Maurel, J. Peretó & J. Reisse. 2006. Prebiotic Chemistry–Biochemistry–Emergence of Life (4.4–2 Ga). In Gargaud, M., Claeys, P., López-García, P., Martin, H., Montmerle, T., Pascal, R., & J. Reisse, eds. *From Suns to Life: A Chronological Approach to the History of Life on Earth* Springer, New York. Pp. 153-203.
9. Pozo C. & J. Llorente. 2001. La teoría del equilibrio insular en biogeografía y bioconservación. In Llorente, J., & J.J. Morrone, eds. *Introducción a la Biogeografía en Latinoamérica: Teorías, Conceptos, Métodos y Aplicaciones*, Las prensas de Ciencias -UNAM, México. Pp: 95-106.