

# Matemáticas y su importancia en la conservación de la biodiversidad

Rolando Torres Castillo 

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Sede Orellana, El Coca EC220001, Ecuador.

✉ Correspondencia: [rolando.torres@epoch.edu.ec](mailto:rolando.torres@epoch.edu.ec); 📞 +593 991637771

**Recibido:** 10 julio 2020; **Aceptado:** 11 agosto 2020; **Publicado:** 14 agosto 2020

DOI/URL: <https://www.greenworldjournal.com/doi-019-ac-2020>



Check for updates



**Resumen:** Se encuentran numerosos enfoques de indicadores en la literatura científica para describir los cambios en la biodiversidad. Sin embargo, no está claro qué indicadores son los más apropiados y cuáles son menos adecuados para resumir las tendencias en biodiversidad. Una razón de esta falta de claridad es que hasta ahora las propiedades matemáticas de los enfoques de indicadores han tenido poca atención. En este artículo, analizamos la importancia de las propiedades matemáticas para la biodiversidad. Resumimos las matemáticas para escenarios de biodiversidad. Finalmente se presentan conclusiones y desafíos que subyacen al enfoque pudiendo limitar la comprensión de estos interesados y su compromiso. En ese sentido, una buena estrategia para adaptar procesos participativos en aplicaciones de la vida real consistiría en comenzar con la identificación de criterios y umbrales de viabilidad antes de la determinación de dinámicas controladas, que generalmente es más complicada.

**Palabras claves:** Matemáticas; biodiversidad; conservación; áreas protegidas.

## Mathematics and its importance in biodiversity conservation

**Abstract:** Numerous indicator approaches are found in the scientific literature to describe changes in biodiversity. However, it is not clear which indicators are the most appropriate and which are less suitable for summarizing trends in biodiversity. One reason for this lack of clarity is that the mathematical properties of indicator approaches have so far received little attention. In this article, we discuss the importance of the mathematical properties for biodiversity. We summarize the mathematics for biodiversity scenarios. Finally, we present conclusions and challenges that underlie the approach and may limit the understanding of these stakeholders and their engagement. In that sense, a good strategy to adapt participatory processes to real-life applications would be to start with the identification of criteria and thresholds of feasibility before the determination of controlled dynamics, which is usually more complicated.

**Keywords:** Mathematics; biodiversity; conservation; protected areas

## 1. Introducción

La biodiversidad, abreviatura de diversidad biológica, representa la diversidad de organismos vivos y ecosistemas [1]. También incorpora las interacciones entre organismos vivos y sus entornos. Ahora se acepta que la biodiversidad (genes, especies y ecosistemas) brinda importantes servicios a las sociedades humanas y que su preservación es esencial [2]. La biodiversidad está sufriendo una erosión significativa con consecuencias muy

graves para el planeta. Esta disminución de la biodiversidad perturba el funcionamiento del ecosistema y, por lo tanto, afecta la calidad de los servicios que brindan a las poblaciones humanas interesadas [3,4]. Estos incluyen, por ejemplo, agricultura, alimentación, vivienda, salud, turismo y economía. La pérdida de biodiversidad es un problema particularmente grave porque es irreversible [5]. Según la última actualización de la Lista Roja de especies de plantas y animales amenazadas establecida por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), alrededor de 17,000 especies de las 48,000 incluidas en la lista están en peligro de extinción [6].

Nuestro planeta está repleto de sistemas vivos que proporcionan la infraestructura esencial para la civilización humana. Todos los procesos de vida en el planeta dependen de la capacidad fotosintética de las plantas y microbios acuáticos y terrestres para producir los compuestos de carbono de alta energía de los que dependen todos los organismos no fotosintéticos para sus necesidades energéticas [7]. Los complejos vínculos entrelazados entre diversos organismos de numerosos taxones han surgido a través de la evolución biológica durante un largo período de tiempo en relación con el reciente advenimiento de la civilización humana, pero las acciones directas e influencias indirectas de la humanidad han creado grandes tensiones en la biota planetaria [8]. Los métodos matemáticos son uno de los instrumentos fundamentales utilizados para evaluar los efectos actuales de las acciones humanas, proyectar la forma en que las modificaciones del forzamiento antropogénico podrían afectar a los sistemas vivos en el futuro y sugerir hipótesis que ayuden a desentrañar las interacciones y retroalimentaciones entre el medio ambiente y los sistemas bióticos para informar mejor a la ciencia y la política pública. Todas estas son cuestiones clave que aborda la ciencia de la sostenibilidad para determinar cómo podríamos modificar adecuadamente las acciones y los impactos humanos a fin de sostener y apoyar las sociedades humanas y los sistemas vivos de los que dependen [9].

Los ecosistemas están bajo presión en todo el mundo debido a los cambios globales [10]. Como consecuencia, se está prestando cada vez más atención a la biodiversidad, a sus cambios debido a los impactos antropogénicos o al cambio climático, y a cambio de los riesgos que estos cambios provocan en el bienestar humano a través de los productos y servicios ecosistémicos vinculados a la biodiversidad [11]. La creación del Panel Internacional de Biodiversidad y Servicios de Ecosistemas, en la interfaz entre el apoyo a la decisión y el conocimiento científico, está claramente alineado con esta perspectiva ecológica y económica [12].

Varios problemas ambientales importantes, como la pérdida de biodiversidad y el cambio climático, afectan actualmente a la comunidad internacional [13,14]. Estos temas relacionados con el desarrollo de las sociedades humanas se han vuelto cada vez más importantes desde la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo o la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro en 1992 [3]. La Planificación de la Conservación se ocupa de los problemas relacionados con el mantenimiento y el aumento de la biodiversidad. Preservar la biodiversidad es crucial para las sociedades humanas y el futuro del planeta Tierra [10,15].

Hacer frente a las amenazas de la biodiversidad requiere investigaciones interdisciplinarias [16]. Esto implica el desarrollo de métodos, modelos, indicadores y escenarios cuantitativos que tengan sentido desde el punto de vista económico, ecológico y biológico y que estén bien planteados matemáticamente y numéricamente [17]. Se necesita un enfoque de modelado de ecosistemas integrado para tratar el acoplamiento y la interfaz entre los modelos dinámicos de la naturaleza (dinámica de poblaciones, comunidades, redes tróficas, etc.) y los modelos de actividad humana (uso de la tierra, acceso a los recursos

marinos, etc.) [18]. Dicho marco integrado debería superar el aparente antagonismo entre ecologistas y biólogos, preocupados por cuestiones de supervivencia, conservación y viabilidad, y economistas más centrados en la eficiencia y la optimización dedicado a "Evaluación metodológica de escenarios y modelos de biodiversidad y servicios ecosistémicos" [19].

El presente documento describe los principales instrumentos matemáticos para el desarrollo de escenarios basados en modelos de biodiversidad y servicios ecosistémicos. Los escenarios predictivos, exploratorios y normativos se distinguen con un enfoque a la biodiversidad. También se presta especial atención a los criterios de sostenibilidad para la evaluación de escenarios. Finalmente, se presentan recomendación sobre la importancia de las matemáticas en procesos de conservación de la biodiversidad.

## **2. Matemáticas para escenarios de biodiversidad**

### **2.1 Un marco genérico**

En el lenguaje común, la biodiversidad se refiere a la colección de especies presentes en una región, pero en la práctica incluye la variedad de vida presente en un lugar, incluidas las conexiones y los sistemas de los que forman parte las especies [20]. Se han utilizado métodos matemáticos para caracterizar componentes de la biodiversidad, como medio para determinar si estos están cambiando en un lugar, comparando estos entre lugares, y evaluando hipótesis sobre los factores que afectan la biodiversidad [21]. La métrica más simple utilizada es la riqueza de especies que es simplemente un recuento del número de especies, típicamente de algún conjunto restringido de taxones como plantas o vertebrados, presentes en una la ubicación [22]. Esto proporciona alguna información útil para comparar ubicaciones, pero no da cuenta de las diferencias en la abundancia de las especies presentes [23]. Un lugar con un gran número de o biomasa de una sola especie y sólo unos pocos individuos de otras especies es bastante diferente de un lugar con números casi equivalentes de todas las especies presentes [13]. Diversas especies en un lugar rara vez se producen, entonces una perturbación importante como un incendio podría potencialmente reducir la gran medida la biodiversidad en el lugar rápidamente [24]. En este sentido, un lugar con una mayor uniformidad en la distribución de la abundancia de las especies es más resistente [25].

La teoría del control y más específicamente el control de los sistemas dinámicos [26] proporciona un formalismo genérico y transversal para abordar los problemas de los escenarios basados en modelos para la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas. Esto ya ha sido demostrado por diversos autores [18,27] en relación con la bioeconomía y la economía ecológica. En particular, la descripción de los ecosistemas y socio-ecosistemas en términos de estados, controles, perturbaciones y observaciones [28] permite un modelado integrado relevante teniendo en cuenta la dinámica compleja, la multiplicidad de factores (externos, directos, indirectos), las decisiones y las incertidumbres subyacentes. escenarios de biodiversidad y servicios ecosistémicos [29].

Además, el marco de los sistemas dinámicos controlados ofrece diferentes métodos y criterios matemáticos para cuantificar la sostenibilidad y la resiliencia. Esto incluye la estabilización (típicamente alrededor de equilibrios), la optimización intertemporal (o control óptimo), la invariancia y la viabilidad (restricciones de control de estado). A través del control estocástico o robusto, también propone métodos para hacer frente a la incertidumbre, los riesgos y las vulnerabilidades. Además, este marco genérico de sistemas dinámicos controlados es lo suficientemente flexible como para formularse de manera similar tanto para

tiempo continuo como discreto. Tal ubicuidad favorece la articulación entre las matemáticas y las ciencias de la computación a través de simulaciones y aproximaciones numéricas.

Importancia.

La matemática es importante tanto porque ha demostrado que los "hechos" ingeniosos (teoremas) son universalmente verdaderos como por sus aplicaciones. El dominio de las áreas académicas donde las matemáticas han demostrado ser útiles ha aumentado con el tiempo. Hubo un período en el que la gente veía la física y las matemáticas como la asociación más dramática entre las matemáticas y otra disciplina académica. Sin embargo, en este punto no existe una disciplina académica en la que las matemáticas no jueguen un papel importante [30].

Existen varias asociaciones interdisciplinarias. Esta vez, se analiza las matemáticas y la biodiversidad. En el pasado se pensó que la utilidad de las matemáticas en la biodiversidad sería limitada. Esto se debía a que los organismos vivos eran demasiado variados, demasiado complejos, demasiado sutiles para el análisis matemático. Sin embargo, no solo los usos estocásticos (probabilísticos) de las matemáticas han llamado la atención en biología, sino también los "modelos" deterministas. La biodiversidad, como las matemáticas, es una materia rica y compleja con muchas partes. Por lo tanto, si se miran las "ramas" de la biología, se encuentran muchas subdivisiones del tema, incluida la que comienza con la letra "A" - anatomía - a la que comienza con la letra "Z" - zoología [31], es útil cuando se piensa en cómo se usan las matemáticas en otras asignaturas para pensar sobre taxonomía, cómo se estructura el pensamiento sobre la forma en que las diferentes partes de una asignatura encajan entre sí. Por ejemplo, no uno duda que las matemáticas hayan demostrado ser útiles en el área de la genética. Sin embargo, el tiempo ha alterado la forma en que se organizan y piensan los resultados en esta área. Desde los primeros tiempos, los agricultores y las personas que crían ganado han utilizado el "pensamiento matemático" para mejorar los resultados - rendimientos más altos de cultivos y ganado que engordaron más rápidamente [32].

Diversos aspectos de la biodiversidad se han basado en medidas del conjunto de herramientas que las matemáticas proporcionaron a la biología. No es sorprendente, por lo general, es un desarrollo en biología que conduce a nuevas ideas sobre cómo usar las matemáticas para comprender el conocimiento biológico. Los avances en biología han resultado en avances en el uso de herramientas matemáticas para ayudar a los biólogos [33]. En lugar de tratar de mostrar la gran variedad de formas en que las matemáticas ayudan a los biólogos a comprender el vasto paisaje de la biología moderna, examinaré un dominio bastante pequeño, que ofrece formas de ver algunos temas tradicionales desde un punto de vista novedoso. Esta discusión tiene lugar en la parte de la biología denominada ecología. La ecología se preocupa por la forma en que diferentes tipos de seres vivos interactúan entre sí y con su entorno [34].

## 2.2 Escenarios predictivos y exploratorios

Los escenarios basados en modelos son trayectorias-trayectorias que se basan en un modelo matemático o numérico que es consistente con las evoluciones y dinámicas históricas u observadas. Esta consistencia generalmente se obtiene a través de la calibración de modelos donde la estimación del valor de los parámetros que sustenta el modelo se logra ajustando las observaciones a las salidas inducidas por el modelo.

En esta etapa, es útil distinguir entre escenarios predictivos, exploratorios y normativos. Los escenarios predictivos, como los pronósticos, pueden responder a la pregunta "¿Qué es probable que suceda?" [35]. Los escenarios predictivos incluyen el status quo, los negocios como de costumbre, la línea de base o los escenarios más probables. Los escenarios

exploratorios describen otras alternativas de futuro y tienen la intención de responder a la pregunta "¿Qué podría pasar?" Ayudan en el proceso de apoyo a la decisión para investigar los resultados de estrategias o impulsores específicos, incluidos los factores económicos, sociales o tecnológicos, el cambio climático. Los cuatro escenarios de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio incluyendo "Global Orchestration", "Adapting Mosaic", "TechnoGarden" y "Order from Strength" ejemplifican tales escenarios exploratorios. Escenarios de búsqueda de objetivos o escenarios normativos, aborde la pregunta "¿Qué debería suceder?" y representan objetivos y escenarios futuros acordados que proporcionan vías alternativas para alcanzar dicho objetivo [36]. En ese contexto normativo, determinar escenarios de sostenibilidad para la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas constituye un desafío importante. Investigamos estos problemas en las siguientes secciones.

Primero formulemos las ideas que sustentan los escenarios predictivos y exploratorios en términos matemáticos. Suponemos que las trayectorias históricas del sistema están dadas por una secuencia de estados, controles y controladores externos hasta un tiempo actual denotado por  $t_0$ . Por el contrario, los escenarios de control consisten en secuencias desde el tiempo actual hasta el horizonte [37].

### **3. Resiliencia de escenarios**

En las últimas dos décadas, la resiliencia se ha convertido en un concepto prometedor para ayudar a las sociedades y, en general, los sistemas socio-ecosistemas a ser menos vulnerables a los choques y estresores [37]. Como tal, ha sido adoptado por una amplia gama de disciplinas que van desde la psicología, la física, la ecología hasta la economía para la reducción del riesgo de desastres y la adaptación al cambio climático y los cambios globales. Sin embargo, aunque se han propuesto muchas definiciones o medidas de resiliencia, están demasiado centradas en su disciplina y no proporcionan un marco general adecuado. La formalización de las métricas de resiliencia genéricas es, por lo tanto, un desafío importante [33].

### **4. Escenarios de uso de la tierra y avifauna**

El marco general de escenarios basado en modelos del documento se aplica ahora para investigar el papel desempeñado por los objetivos de biodiversidad en el diseño de escenarios y manejo agrícolas. El ecosistema y el modelo multiescala [38] combinan la biodiversidad de aves y la dinámica del uso de la tierra agrícola a nivel micro con políticas públicas determinadas a nivel macro a través de incentivos financieros para el uso de la tierra. El tomador de decisiones públicas compara escenarios en términos de subsidios o impuestos con respecto a la biodiversidad, los ingresos agrícolas y el desempeño presupuestario. En particular, el modelo ha sido calibrado y aplicado a la Francia metropolitana en la escala de la Pequeña Región Agrícola (SAR) utilizando aves comunes como métricas de biodiversidad [39].

### **5. Conclusiones y perspectivas**

Equilibrar la conservación de la biodiversidad con la seguridad alimentaria y la preservación de un conjunto más amplio de servicios ecosistémicos, en un contexto de transición demográfica y cambio climático, es uno de los mayores desafíos del siglo. Hacer frente a tal desafío implica el desarrollo de escenarios basados en modelos de biodiversidad y ecosistemas que tengan sentido desde el punto de vista económico, ecológico y biológico, y que estén bien planteados matemáticamente y numéricamente. El presente documento proporciona ideas de modelado y matemáticas para abordar estos desafíos de acuerdo con el capítulo dedicado a "Evaluación metodológica de escenarios y modelos de biodiversidad y servicios ecosistémicos". En particular, el documento aboga por el uso de la teoría de control

de los sistemas dinámicos junto con las evaluaciones de ecoviabilidad. Ilustra las ideas generales con dos ejemplos inspirados en (i) escenarios de pesca y biodiversidad marina y (ii) uso de la tierra y avifauna.

El documento argumenta que la teoría de control de sistemas dinámicos combinada con el enfoque de viabilidad es relevante para diseñar escenarios predictivos, exploratorios y normativos basados en modelos de servicios de biodiversidad y ecosistemas porque permite abordar los siguientes desafíos: (a) ¿Cómo poner en práctica el enfoque por ecosistemas? (b) ¿Cómo hacer operativa la sostenibilidad? y (c) ¿Cómo operacionalizar la resiliencia? A través del desafío (a), enfatiza la capacidad de este marco de modelado general para dar cuenta dentro de los escenarios basados en modelos de las diversas complejidades que ocurren en los procesos ecológicos y económicos y en sus interfaces como en la bioeconomía. En particular, la descripción de los ecosistemas y socioecosistemas en términos de estados, controles y perturbaciones permite un modelado integrado relevante teniendo en cuenta la dinámica compleja, la multiplicidad de impulsores (externos, directos, indirectos), las decisiones y las incertidumbres que subyacen a los escenarios de biodiversidad y servicios ecosistémicos. Tal enfoque matemático puede representar de manera sintética dinámicas de múltiples especies, múltiples impulsores y escalas múltiples, al tiempo que captura varias fuentes de incertidumbre. El desafío (b) a través de la sostenibilidad se centra en cuestiones de criterios múltiples y objetivos múltiples que sustentan la evaluación de escenarios de biodiversidad y servicios ecosistémicos; La multiplicidad de métricas es ejemplificada por los numerosos indicadores de biodiversidad, así como por los numerosos servicios del ecosistema. La capacidad del enfoque de control viable para equilibrar tales puntajes ecológicos y económicos y para promover la sostenibilidad a través de escenarios de ecoviabilidad muestra el interés del marco general defendido en este documento. El desafío (b) a través de la sostenibilidad también presenta la capacidad de dicho marco de modelación a través de escenarios normativos para conciliar a corto y largo plazo y promover la equidad intergeneracional. El desafío (c) enfatiza que la teoría de control de sistemas dinámicos bajo incertidumbre combinada con objetivos de viabilidad ecológica es adecuada para la mitigación de riesgos y vulnerabilidades bioeconómicos teniendo en cuenta las incertidumbres y los choques dentro de las estrategias y escenarios de gestión.

Los problemas de gobernanza constituyen otro desafío importante frente a la heterogeneidad de las partes interesadas involucradas en la dinámica de la biodiversidad e incluyendo consumidores, agricultores, pescadores, turistas, ONG o agencias reguladoras, existe una necesidad obvia de que quienes toman las decisiones las coordinen o limiten los fracasos de la cooperación. En ese sentido, el marco dinámico presentado en el documento actual debe ampliarse mediante el uso de herramientas y conceptos de juegos dinámicos y sistemas de múltiples agentes para abordar los desafíos relacionados con las interacciones estratégicas.

En línea con las perspectivas de gobernanza e implementación, los vínculos del marco de modelado con enfoques participativos para dar cuenta de la multiplicidad y diversidad de las partes interesadas constituyen una limitación importante hasta el momento. Las matemáticas que subyacen al enfoque podrían limitar la comprensión de estos interesados y su compromiso. En ese sentido, una buena estrategia para adaptar procesos participativos en aplicaciones de la vida real consistiría en comenzar con la identificación de criterios y umbrales de viabilidad antes de la determinación de dinámicas controladas, que generalmente es más complicada.

**Contribución de autores:** El autor participó a integridad en todas las actividades.

**Financiamiento:** Los autores financiaron a integridad el estudio.

**Conflictos de interés:** Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## Referencias

1. Maestro, M.; Pérez-Cayeiro, M.L.; Chica-Ruiz, J.A.; Reyes, H. Marine protected areas in the 21st century: Current situation and trends. *Ocean Coast. Manag.* **2019**, *171*, 28–36.
2. Chung, M.G.; Dietz, T.; Liu, J. Global relationships between biodiversity and nature-based tourism in protected areas. *Ecosyst. Serv.* **2018**, *34*, 11–23.
3. Wallace, K.J. Values: drivers for planning biodiversity management. *Environ. Sci. Policy* **2012**, *17*, 1–11.
4. Mestanza, C.; Botero, C.M.; Anfuso, G.; Chica-Ruiz, J.A.; Pranzini, E.; Mooser, A. Beach litter in Ecuador and the Galapagos islands: A baseline to enhance environmental conservation and sustainable beach tourism. *Mar. Pollut. Bull.* **2019**, *140*, 573–578.
5. List, I.R. The IUCN red list of threatened species. *Int. Union Conserv. Nat. Nat. Resour. Online* <http://www.iucnredlist.org/> (accessed 11 Oct 2015) **2015**.
6. Rodrigues, A.S.L.; Pilgrim, J.D.; Lamoreux, J.F.; Hoffmann, M.; Brooks, T.M. The value of the IUCN Red List for conservation. *Trends Ecol. Evol.* **2006**, *21*, 71–76.
7. Sutherland, W.J.; Fleishman, E.; Clout, M.; Gibbons, D.W.; Lickorish, F.; Peck, L.S.; Pretty, J.; Spalding, M.; Ockendon, N. Ten years on: a review of the first global conservation horizon scan. *Trends Ecol. Evol.* **2019**, *34*, 139–153.
8. von Wehrden, H.; von Oheimb, G.; Abson, D.J.; Härdtle, W. Sustainability and Ecosystems BT – Sustainability Science: An Introduction. In: Heinrichs, H., Martens, P., Michelsen, G., Wiek, A., Eds.; Springer Netherlands: Dordrecht, 2016; pp. 61–70 ISBN 978-94-017-7242-6.
9. Frouz, J. Chapter 1 – Soil biodiversity conservation for mitigating climate change. In: Prasad, M.N.V., Pietrzykowski, M.B.T.-C.C. and S.I., Eds.; Elsevier, 2020; pp. 1–19 ISBN 978-0-12-818032-7.
10. Crist, E.; Mora, C.; Engelman, R. The interaction of human population, food production, and biodiversity protection. *Science (80-. )*. **2017**, *356*, 260–264.
11. Godfray, H.C.J.; Beddington, J.R.; Crute, I.R.; Haddad, L.; Lawrence, D.; Muir, J.F.; Pretty, J.; Robinson, S.; Thomas, S.M.; Toulmin, C. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science (80-. )*. **2010**, *327*, 812–818.
12. Cissé, A.A.; Doyen, L.; Blanchard, F.; Béné, C.; Péreau, J.-C. Ecoviability for small-scale fisheries in the context of food security constraints. *Ecol. Econ.* **2015**, *119*, 39–52.
13. Mestanza, C.; Saavedra, H.F.; Gaibor, I.D.; Zaquinaula, M.A.; Váscones, R.L.; Pacheco, O.M. Conflict and impacts generated by the filming of Discovery Channel's reality series "Naked and Afraid" in the Amazon: A Special case in the Cuyabeno Wildlife Reserve, Ecuador. *Sustain.* **2018**, *11*.
14. Mooser, A.; Anfuso, G.; Mestanza, C.; Williams, A.T. Management implications for

- the most attractive scenic sites along the Andalusia coast (SW Spain). *Sustain.* **2018**, *10*.
15. Zoppi, C. Ecosystem Services, Green Infrastructure and Spatial Planning. *Sustain.* **2020**, *12*.
  16. Varela-Candamio, L.; Novo-Corti, I.; García-Álvarez, M.T. The importance of environmental education in the determinants of green behavior: A meta-analysis approach. *J. Clean. Prod.* **2018**, *170*, 1565–1578.
  17. IPBES Summary for policymakers of the methodological assessment of scenarios and models of biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. **2016**.
  18. Possingham, H.; Day, J.; Goldfinch, M.; Salzborn, F. The mathematics of designing a network of protected areas for conservation. In Proceedings of the Decision Sciences: Tools for Today. Proceedings of 12th National ASOR Conference; 1993; pp. 536–545.
  19. Dobson, A.P. *Conservation and biodiversity*; WH Freeman and Co., 1996; ISBN 0716750570.
  20. Juniper, T. *The Ecology Book: Big Ideas Simply Explained*; Big Ideas; Dorling Kindersley Publishing, Incorporated, 2019; ISBN 9781465479587.
  21. Cooper, R.J.; Hama-Aziz, Z.Q.; Hiscock, K.M.; Lovett, A.A.; Vrain, E.; Dugdale, S.J.; Sünnerberg, G.; Dockerty, T.; Hovesen, P.; Noble, L. Conservation tillage and soil health: Lessons from a 5-year UK farm trial (2013–2018). *Soil Tillage Res.* **2020**, *202*, 104648.
  22. Mestanza Ramon, C.; Sanchez Capa, M.; Cunalata Garcia, A.; Jimenez Gutierrez, M.; Toledo Villacís, M.; Ariza Velasco, A. Community Tourism In Ecuador: A Special Case In The Rio Indillama Community, Yasuní National Park. *Int. J. Eng. Res. Technol. (IJERT)*, **2019**, vol. 8, num. 6, p. 653–657 **2020**.
  23. Smallhorn-West, P.F.; Weeks, R.; Gurney, G.; Pressey, R.L. Ecological and socioeconomic impacts of marine protected areas in the South Pacific: assessing the evidence base. *Biodivers. Conserv.* **2020**, *29*, 349–380.
  24. Ramón, C.M.; Villacís, M.A.T.; García, A.E.C. Tortugas Charapa un aporte para el turismo comunitario y conservación de la biodiversidad. *Explor. Digit.* **2020**, *4*, 55–65.
  25. Ramón, C.M.; Capa, M.C.S.; Gutiérrez, M.J. Capacidad de Carga turística una herramienta para la gestión sostenible en áreas protegidas. *Tierra Infin.* **2019**, *5*, 6–22.
  26. Börjeson, L.; Höjer, M.; Dreborg, K.-H.; Ekvall, T.; Finnveden, G. Scenario types and techniques: towards a user's guide. *Futures* **2006**, *38*, 723–739.
  27. Butchart, S.H.M.; Walpole, M.; Collen, B.; Van Strien, A.; Scharlemann, J.P.W.; Almond, R.E.A.; Baillie, J.E.M.; Bomhard, B.; Brown, C.; Bruno, J. Global biodiversity: indicators of recent declines. *Science (80-. )*. **2010**, *328*, 1164–1168.
  28. Cury, P.M.; Mullon, C.; Garcia, S.M.; Shannon, L.J. Viability theory for an ecosystem approach to fisheries. *ICES J. Mar. Sci.* **2005**, *62*, 577–584.
  29. De Lara, M.; Ocana, E.; Oliveros-Ramos, R.; Tam, J. Ecosystem viable yields. *Environ. Model. Assess.* **2012**, *17*, 565–575.



30. Carvache-Franco, M.; Segarra-Oña, M.; Carrascosa-López, C. Segmentation and motivations in eco-tourism: The case of a coastal national park. *Ocean Coast. Manag.* **2019**, *178*, 104812.
31. Walters, J.R.; Derrickson, S.R.; Fry, D.M.; Haig, S.M.; Marzluff, J.M.; Jr., J.M.W. Status of the California Condor (*Gymnogyps californianus*) and Efforts to Achieve Its Recovery. *Auk* **2010**, *127*, 969–1001.
32. Billionnet, A. Mathematical optimization ideas for biodiversity conservation. *Eur. J. Oper. Res.* **2013**, *231*, 514–534.
33. van Strien, A.J.; Soldaat, L.L.; Gregory, R.D. Desirable mathematical properties of indicators for biodiversity change. *Ecol. Indic.* **2012**, *14*, 202–208.
34. Doody, J.P. History, Coastal Ecology BT – Encyclopedia of Coastal Science. In; Finkl, C.W., Makowski, C., Eds.; Springer International Publishing: Cham, 2019; pp. 969–975 ISBN 978-3-319-93806-6.
35. Mendoza-Escamilla, A.J.; Hernandez-Rangel, J.F.; Cruz-Alcántar, P.; Saavedra-Leos, Z.M.; Morales-Morales, J.; Figueroa-Díaz, A.R.; Valencia-Castillo, M.C.; Martínez-Lopez, J.F. A Feasibility Study on the Use of an Atmospheric Water Generator (AWG) for the Harvesting of Fresh Water in a Semi-Arid Region Affected by Mining Pollution. *Appl. Sci.* **2019**, *9*.
36. *The GEO Handbook on Biodiversity Observation Networks*; Springer International Publishing, 2017;
37. Wang, Z.; Song, G.; Li, Y.; Yu, G.; Hou, X.; Gan, Z.; Li, R. The diversity, origin, and evolutionary analysis of geosmin synthase gene in cyanobacteria. *Sci. Total Environ.* **2019**, *689*, 789–796.
38. Singh, S.; Vikram, P.; Sehgal, D.; Burgueño, J.; Sharma, A.; Singh, S.K.; Sansaloni, C.P.; Joynson, R.; Brabbs, T.; Ortiz, C.; et al. Harnessing genetic potential of wheat germplasm banks through impact-oriented-prebreeding for future food and nutritional security. *Sci. Rep.* **2018**, *8*, 12527.
39. Blondel, J. The “design” of Mediterranean landscapes: A millennial story of humans and ecological systems during the historic period. *Hum. Ecol.* **2006**, *34*, 713–729.

#### Reseña del autor:



Rolando Torres Castillo, profesor investigador de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. en la rama de la matemática. Sus últimas investigaciones se han desarrollado en la zona norte de la región amazónica en la provincia de Orellana, Ecuador.



© 2020 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).