

Evaluación in silico de las áreas marinas protegidas del pacífico costarricense: Métodos bioinformáticos en la preservación de la biodiversidad.

Steve A. Stephens-Cardenas.*^a

^a Profesor investigador, Escuela de Biología de la Universidad Latina de Costa Rica.

Enviado: 12/01/2018 | **Aceptado:** 17/08/2018 | **Publicado:** 10/11/2018

Resumen

Las áreas marinas protegidas (AMPs) son herramientas vitales para la conservación de la biodiversidad, y en especial, de los recursos de importancia pesquera. Sin embargo, su efectividad en términos de su capacidad para proteger los hábitats necesarios para las especies, y la conectividad que generan entre estos, no se ha cuantificado de formas rigurosas. El desarrollo de las AMPs en Costa Rica no escapa a esta problemática; razón por la cual se hace necesario, desde el grupo de Investigación de la Escuela de Biología de la Universidad Latina de Costa Rica, integrar herramientas bioinformáticas de última generación que permitan producir información crítica optimizar los esfuerzos en conservación.

Palabras clave:

Abstract

Marine protected areas (MPAs) are vital tools for the conservation of biodiversity, and especially of resources of fishing importance. However, its effectiveness in terms of its ability to protect the habitats needed for the species, and the connectivity they generate among them, has not been quantified in rigorous ways. The development of MPAs in Costa Rica does not escape this problem; For this reason, it is necessary, from the Research Group of the School of Biology of the Universidad Latina de Costa Rica, to integrate cutting-edge bioinformatics tools that allow the production of critical information to optimize conservation efforts.

Keywords:

En la actualidad, el planeta afronta una crisis de biodiversidad. En particular, los océanos están siendo los más afectados por estos procesos, los cuales son, en gran medida, producto de los impactos antropogénicos. La sobre explotación de los recursos marinos, la contaminación, el desarrollo urbanístico costero, la degradación de hábitat, las invasiones biológicas y el cambio climático, son las grandes amenazas que enfrenta la biodiversidad marina (Alvarado, Herrera, Corrales, Asch, & Paaby, 2011; Halpern et al., 2015; Pérez-Jorge, Pereira, Come, Wijtten, & Omar, 2015).

Para mitigar estos efectos, una de las principales estrategias que se ha desarrollado es la creación las Áreas Marinas Protegidas (AMP). Estos espacios se conciben como áreas seleccionadas, dirigidas a la conservación de la biodiversidad marina a todo nivel; desde la diversidad genética y específica, hasta la diversidad de hábitats y ecosistemas (Alvarado, Cortés, Esquivel, & Salas, 2012; Pérez-Jorge et al., 2015; Ward, Vanderklift, Nicholls, & Kenchington,

*Correspondencia con el autor: steve.stephens@ulatina.net

1999). Desde su creación, las AMP se han convertido en herramientas clave para el manejo y la conservación de los recursos marinos en una gran cantidad de naciones costeras alrededor del planeta (Abecasis, Afonso, & Erzini, 2014).

Adicionalmente, diversos estudios han proporcionado evidencia de las ventajas, en términos de la conservación de los recursos de interés netamente pesquero, que ofrecen las áreas marinas protegidas. Ventajas que van desde el aumento de la biomasa de peces reproductivamente activos protegidos en este espacio, y su posterior dispersión a poblaciones donde las presiones de pesca no están reguladas; así como un efecto de recuperación de la diversidad a lo interno de las poblaciones y el aumento en el promedio tallas de los individuos. Por otra parte, es conocido que brindan protección a especies raras, que presentan bajas densidades poblacionales, y que son propensas a eventos de extinción local (D'Agostini, Gherardi, & Pezzi, 2015; Halpern, 2003).

Si bien las AMP constituyen herramientas promisorias para el ordenamiento costero, su impacto puede ser limitado, dado que protegen solo una fracción aislada de la riqueza marina y costera. La efectividad de estas áreas, se optimiza cuando se encuentran establecidas dentro de una red de áreas efectivas, las cuales permiten la conectividad entre poblaciones protegidas (Alonso C, Segura-quintero, Castillo-torres, & Gerhantz-Muro, 2008; Alvarado et al., 2012; Andrello et al., 2013).

En términos biológicos, estas redes de AMP representan un espacio seminatural que permite el restablecimiento de poblaciones, reclutamiento de individuos y la interacción entre especies con patrones de dispersión cortos (Alonso C et al., 2008). En términos ecológicos, estas redes hacen parte de un sistema integrado de elementos de paisajes naturales y/o seminaturales, cuyo objetivo es el de preservar y restaurar las funciones ecológicas de un ecosistema determinado. Todo ello facilita el restablecimiento de la biodiversidad y el uso sostenible de los recursos marinos (Alonso C et al., 2008; Ward et al., 1999).

A pesar de que las áreas marinas han ganado gran popularidad como herramientas de conservación, muchas de las decisiones sobre su creación, y el lugar de establecimiento, han sido tomadas con base en decisiones socio políticas, sin contemplar criterios biológicos relevantes (Halpern, 2003). De hecho, pocas áreas marinas protegidas a nivel mundial, han sido diseñadas con una comprensión científica de factores biológicos y bio geofísicos indispensables a la hora de seleccionar su ubicación. Por otra parte, no se contemplan los potenciales efectos biológicos del establecimiento de estas áreas, así como la optimización en el diseño de las mismas permitiría una mayor efectividad en términos de conservación (Halpern, 2003).

Desafortunadamente, la planificación sistemática de las iniciativas de conservación en los países en desarrollo se ve limitada por la escasez de investigación de referencia, capacidad tecnológica reducida y la inversión limitada en investigación y monitoreo (Esselman & Allan, 2011). En el caso de las áreas marinas protegidas, estas condiciones representan un desafío para reunir la información básica necesaria que permita la planificación de estas unidades de conservación (Esselman & Allan, 2011).

Costa Rica, a pesar de ser un país reconocido mundialmente no solo por su impresionante biodiversidad marina y costera, sino también, por su liderazgo en temas de conservación y protección de la biodiversidad, no es ajeno a esta problemática (Alvarado et al., 2011). Si bien, se estima que el país presenta el 3.5% de la diversidad de especies marinas del planeta, y casi el 100% de los ecosistemas marinos existentes, aún mantiene una serie de vacíos asociados a la planificación para la conservación de la biodiversidad marina (Alvarado et al., 2012, 2011);

Quesada-Alpizar & Cortés, 2006). La falta de información no solamente ecológica, sino también, de los patrones espacio temporales determinantes en las dinámicas poblacionales de las especies, es una de las más críticas (Alvarado et al., 2011; Quesada-Alpizar & Cortés, 2006). Por esta razón, se hace necesario desarrollar investigación científica a nivel país, que genere información actualizada, base para el desarrollo de planes de conservación, evaluación de las áreas marinas protegidas y uso sostenible de la biodiversidad (Alvarado et al., 2011).

En los últimos años, las herramientas bioinformáticas, los sistemas de información geográfica y el acceso a datos geoespaciales de las especies, se han convertido en elementos fundamentales para identificar los patrones espaciales en la biodiversidad en áreas donde la información es escasa o nula (Elith & Leathwick, 2009; Esselman & Allan, 2011; Guisan & Zimmermann, 2000). Nuestra capacidad para integrar dichos elementos y desarrollar algoritmos que cuantifican las relaciones espacio temporales existentes entre las especies y su ambiente, ha permitido el desarrollo del modelamiento geográfico en ecología, o como comúnmente se le conoce, los modelos de distribución de especies (SDM) (Abecasis et al., 2014; Andrello et al., 2013; Elith & Leathwick, 2009; Guisan & Zimmermann, 2000).

Estas herramientas numéricas han tenido una creciente acogida en estudios de biogeografía, ecología, manejo de especies, biología de la conservación y cambio climático debido a su capacidad para predecir la distribución geográfica de las especies, por cuanto usan información incompleta, como puntos georreferenciados de individuos aislados que no representan la distribución total de una especie (Araújo & Guisan, 2006; Elith & Leathwick, 2009; Esselman & Allan, 2011). Los SDM, generalizan las relaciones empíricas entre los puntos donde fueron avistados o capturados los individuos de una especie, y las condiciones del hábitat; esto permite generar estimaciones espaciales del nicho de una especie, y por ende, la probabilidad de ocurrencia o abundancia de especies dentro de un área determinada (Guisan & Zimmermann, 2000).

En áreas marinas protegidas, estos modelos están pasando de ser simples herramientas conceptuales de la distribución de las especies, a convertirse en elementos claves para la evaluación cuantitativa de los potenciales beneficios generados por su implementación (Fulton et al., 2015). Sin embargo, y pese a su comprobada efectividad, este tipo de herramientas han sido poco aplicadas para el diseño, establecimiento o evaluación de las áreas marinas protegidas a nivel nacional; más aún, en tiempos donde el país vive un ambiente político complejo en lo concerniente a la toma de decisiones políticas relacionadas con la protección de los recursos pesqueros.

Dado que se desconoce la efectividad de las áreas marinas protegidas, en términos de su capacidad para proteger la diversidad de especies marinas y la conectividad entre poblaciones, desde el Grupo de Investigación de la Escuela de Biología de la Universidad Latina de Costa Rica, se ha propuesto la aplicación de métodos bioinformáticos para recopilar información base que permita evaluar la efectividad del sistema de áreas marinas protegidas, establecido en el pacífico costarricense.

Este proyecto el cual nace como una iniciativa para contribuir con información científica al soporte o evaluación de estas redes AMP, tiene como objetivos: (1) evaluar la efectividad de las AMP para proteger las áreas donde con mayor probabilidad se encuentran las especies marinas de interés pesquero, y (2) estimar el grado de conectividad en términos bio geofísicos que presentan estas áreas.

Para alcanzar dichos objetivos, el equipo de trabajo, compuesto por profesores, estudiantes y egresados de la carrera de Biología de la Universidad Latina, ha estado trabajado en el desarrollo de simulaciones a partir de modelos probabilísticos estimados con herramientas bioinformáticas. Estos modelos generan estimadores que predicen las condiciones ambientales potencialmente adecuadas para las especies, utilizando registros de presencia, información relevante sobre la biología de las especies, y un conjunto de variables ambientales, continuas y / o categóricas, que pueden influir en la aptitud de la especie y la persistencia de la misma a largo plazo (Elith et al., 2011).

En este estudio, se seleccionaron las especies de mayor importancia pesquera en el pacífico costarricense, para las cuales se recolectaron datos de capturas o presencias registradas en bases de datos nacionales (Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura - INCOPECA) y mundiales (Global Biodiversity Information Facility - GBIF). Las variables ambientales fueron obtenidas de bases de datos geofísicos y climáticos derivados de observaciones in situ y observaciones satelitales del océano a nivel global (Sbrocco & Barber, 2013). Se desarrolló un método comparativo, donde las predicciones del rango de dichas especies, fueron utilizadas para el desarrollo de modelos conjuntos de nicho ecológico, los cuales, al ser cotejados con la disposición de las áreas marinas protegidas, corroboran de primera mano si el diseño de las AMP incluye la mayor cantidad de ecosistemas adecuados donde las especies de peces más importantes comercialmente están efectivamente protegidas (Figura 1).

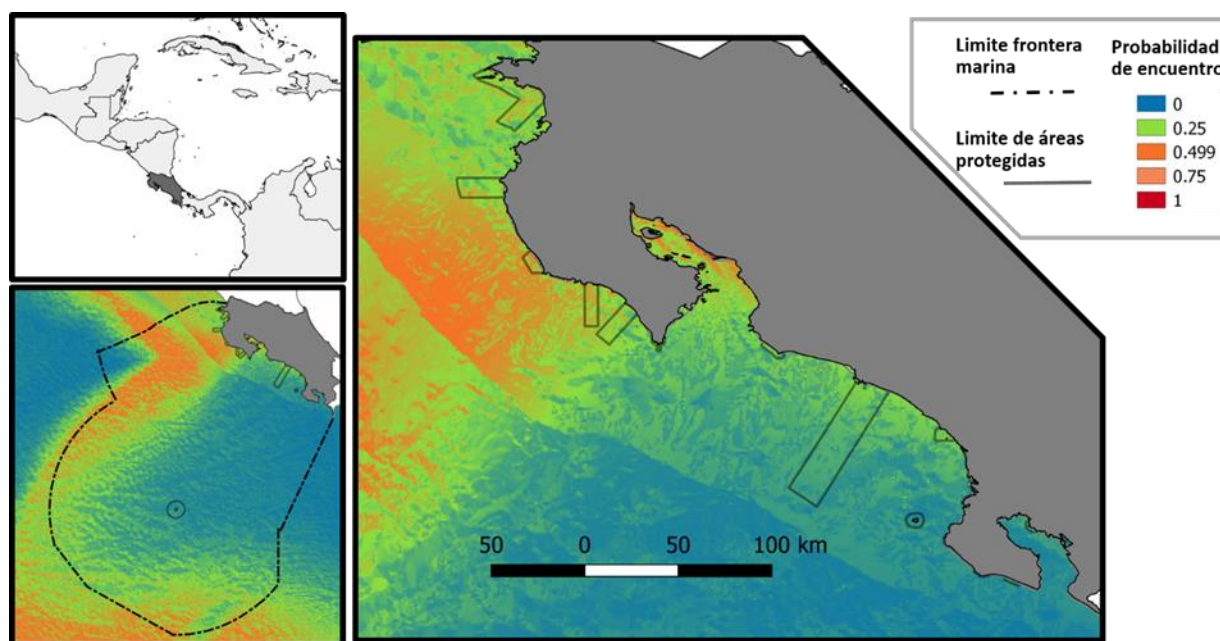


Figura 1. Ejemplo de modelo de distribución geográfica de la especie *Centropomus robalo* (Gualaje) comparado con las áreas protegidas del pacífico costarricense. Las probabilidades de encuentro de los individuos de la especie muestran que las AMP brindan una protección reducida a los ecosistemas que utiliza con mayor frecuencia. Estudio en preparación.

Este tipo de estudios comparativos entre múltiples especies de interés comercial, si bien no han sido ejecutados a nivel regional, han probado ser una herramienta innovadora para comprender la efectividad de las áreas marinas protegidas previamente establecidas, desde una perspectiva integral de la biodiversidad (Pérez-Jorge et al., 2015).

Adicionalmente, se están desarrollando simulaciones de conectividad marina, en base a modelos matemáticos que predicen los patrones de dispersión de partículas biológicas en base a los procesos biogeofísicos marinos, tales como las condiciones de mareas, corrientes, calidad del agua y distribución de nutrientes (Andrello et al., 2013). Esta herramienta permite estimar procesos de dispersión de individuos marinos, y la probabilidad de establecimiento (reclutamiento) o liberación (punto de origen) de individuos a diferentes escalas espaciotemporales, con base en modelos de simulación hidrodinámica marina (D'Agostini et al., 2015; Fox, Henry, Corne, & Roberts, 2016).

El enfoque de modelamiento biofísico brindará una primera evaluación de la conectividad entre las áreas marinas protegidas del pacífico costarricense. Esto dará una primera evaluación de la capacidad de las AMP, para funcionar como redes a escala espacial y temporal, para la preservación de las especies. Asimismo, generarán la base comparativa para las fases posteriores que se propone el grupo de investigación, en la cual esta conectividad marina será corroborada a partir de herramientas de genética poblacional.

Este estudio, representa el primer esfuerzo organizado de una unidad de investigación en ciencias biológicas de la Universidad Latina, para generar un aporte científico conducente al desarrollo de un sistema integrado de AMP, que optimice los esfuerzos de conservación en el país. Por otro lado, los resultados de este trabajo representan un insumo crucial para contribuir a la sostenibilidad de los recursos biológicos aprovechables, la protección de la representatividad de la biodiversidad marina y costera y la protección de sitios de importancia cultural e histórica a nivel regional. Se constituye en una perspectiva de investigación que puede ser replicada y extrapolada al contexto marino costero de otros países del área. En particular, esta es una oportunidad fundamental para que estudiantes, egresados y profesores de una Universidad Latina de Costa Rica unan esfuerzos para enfrentar a los desafíos que vive la biodiversidad en la actualidad aplicando de forma innovadora los recursos tecnológicos que día con día se encuentran disponibles en el contexto científico.

REFERENCIAS

- Abecasis, D., Afonso, P., & Erzini, K. (2014). Combining multispecies home range and distribution models aids assessment of MPA effectiveness, 513, 155–169. <http://doi.org/10.3354/meps10987>
- Alonso C, D., Segura-quintero, C., Castillo-torres, P., & Gerhantz-muro, J. (2008). AVANCES EN EL DISEÑO DE UNA RED DE ÁREAS MARINAS PROTEGIDAS: ESTRATEGIA DE CONSERVACIÓN PARA EL, 37(1010), 129–156.
- Alvarado, J. J., Cortés, J., Esquivel, M. F., & Salas, E. (2012). Costa Rica ' s Marine Protected Areas : status and perspectives. *Revista de Biología Tropical*, 60(1), 129–142.
- Alvarado, J. J., Herrera, B., Corrales, L., Asch, J., & Paaby, P. (2011). Identificación de las prioridades de conservación de la biodiversidad marina y costera en Costa Rica. *International Journal of Tropical Biology*, 59(2), 829–842. <http://doi.org/10.1007/s003380050240>
- Andrello, M., Mouillot, D., Beuvier, J., Albouy, C., Thuiller, W., & Manel, S. (2013). Low Connectivity between Mediterranean Marine Protected Areas: A Biophysical Modeling Approach for the Dusky Grouper *Epinephelus marginatus*. *PLoS ONE*, 8(7). <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0068564>
- Araújo, M. B., & Guisan, A. (2006). Five (or so) challenges for species distribution modelling. *Journal of Biogeography*, 33(10), 1677–1688. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01584.x>

- D'Agostini, A., Gherardi, D. F. M., & Pezzi, L. P. (2015). Connectivity of marine protected areas and its relation with total kinetic energy. *PLoS ONE*, 10(10), 1–19. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0139601>
- Elith, J., & Leathwick, J. R. (2009). *Species Distribution Models: Ecological Explanation and Prediction Across Space and Time*. <http://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.110308.120159>
- Elith, J., Phillips, S. J., Hastie, T., Dudík, M., Chee, Y. E., & Yates, C. J. (2011). A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*, 17(1), 43–57. <http://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2010.00725.x>
- Esselman, P. C., & Allan, J. D. (2011). Application of species distribution models and conservation planning software to the design of a reserve network for the riverine fishes of northeastern Mesoamerica, 71–88. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2010.02417.x>
- Fox, A. D., Henry, L., Corne, D. W., & Roberts, J. M. (2016). Sensitivity of marine protected area network connectivity to atmospheric variability. *Royal Society Open Science*, 2, 1–9. <http://doi.org/https://dx.doi.org/10.6084/m9.figshare.c.3569484.v4>
- Fulton, E. A., Bax, N. J., Bustamante, R. H., Dambacher, J. M., Dichmont, C., Dunstan, P. K., ... Fulton, E. A. (2015). Modelling marine protected areas: insights and hurdles.
- Guisan, A., & Zimmermann, N. E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 135(2–3), 147–186. [http://doi.org/10.1016/S0304-3800\(00\)00354-9](http://doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00354-9)
- Halpern, B. S. (2003). The impact of marine reserves: Do reserves work and does reserve size matter? *Ecological Applications*, 13(1 SUPPL.). [http://doi.org/10.1890/1051-0761\(2003\)013\[0117:tiomrd\]2.0.co;2](http://doi.org/10.1890/1051-0761(2003)013[0117:tiomrd]2.0.co;2)
- Halpern, B. S., Frazier, M., Potapenko, J., Casey, K. S., Koenig, K., Longo, C., ... Walbridge, S. (2015). Spatial and temporal changes in cumulative human impacts on the world's ocean. *Nature Communications*, 6(May), 1–7. <http://doi.org/10.1038/ncomms8615>
- Pérez-jorge, S., Pereira, T., Corne, C., Wijten, Z., & Omar, M. (2015). Critical Areas for Highly Mobile Marine Top Predators? Insights from Coastal East Africa, (i), 1–16. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0133265>
- Quesada-alpizar, M. a, & Cortés, J. (2006). Los ecosistemas marinos del Pacífico sur de Costa Rica: estado del conocimiento y perspectivas de manejo. *Revista de Biología Tropical*, 54(September (suppl.1)), 101–145.
- Sbrocco, E. J., & Barber, P. H. (2013). MARSPEC: Ocean climate layers for marine spatial ecology. *Ecology*, 94(4), 979. <http://doi.org/10.1890/12-1358.1>
- Ward, T. J., Vanderklift, M. a, Nicholls, a O., & Kenchington, R. A. (1999). Selecting Marine Reserves Using Habitats and Species Assemblages as Surrogates for Biological Diversity, 9(2), 691–698. [http://doi.org/10.1890/1051-0761\(1999\)009\[0691:SMRUHA\]2.0.CO;2](http://doi.org/10.1890/1051-0761(1999)009[0691:SMRUHA]2.0.CO;2)