



La teledetección en investigaciones ecológicas como apoyo a la conservación de la biodiversidad: una revisión

Teledetection in ecological research as support for the conservation of biodiversity: a review

Teledeteccão em pesquisa ecológica como apoio à conservação da biodiversidade: uma revisão

Baltazar Sánchez-Díaz¹

Recibido: mayo de 2018

Aceptado: agosto de 2018

Para citar este artículo: Sánchez-Díaz, B. (2018). La teledetección en investigaciones ecológicas como apoyo a la conservación de la biodiversidad: una revisión. *Revista Científica*, 33(3), 243-253. **Doi:** <https://doi.org/10.14483/23448350.13370>

Resumen

La aplicación más prometedora de la teledetección, en la actualidad, en ecología se relaciona con el campo de la biodiversidad. Algunas de las principales amenazas para la biodiversidad son la fragmentación y pérdida del hábitat por la deforestación provocada por actividades humanas; lo que a su vez acelera los índices de extinción en las especies. Sin embargo, la biodiversidad es difícil de cuantificar y medir, por lo cual la teledetección es una herramienta valiosa para las investigaciones ecológicas ya que, dadas sus características de resolución espacial, espectral, radiométrica y temporal, se hace posible tratar de medir ciertas variables de biodiversidad. No obstante, los ecólogos y las agencias espaciales, en un trabajo conjunto, han definido una lista de variables esenciales con las que se pueda monitorear la biodiversidad desde el espacio. Así, surge la necesidad de implementar nuevos enfoques

y herramientas para su estudio y conservación, utilizando la teledetección como una herramienta para apoyar los procesos de toma de decisiones en gestiones de conservación de la biodiversidad en todo el mundo.

Palabras clave: biodiversidad, imágenes de satélite, variables.

Abstract

Currently the most promising application of remote sensing in ecology concerns the field of biodiversity. One of the main threats to biodiversity is the fragmentation and loss of habitat, due to deforestation caused by human activities, accelerating extinction rates in the species. However, biodiversity is difficult to quantify and measure, which is why remote sensing is a valuable tool for ecological research, since, due to its characteristics of spatial, spectral, radiometric and temporal resolution, it is possible to try

¹ Universidad Juárez Autónoma de Tabasco División Académica De Ciencias Biológicas, México. baltazar.sanchez.diaz@gmail.com

to measure certain biodiversity variables. However, ecologists and space agencies, in a joint effort, have defined a list of essential variables with which biodiversity can be monitored from space. Due to this, there is a need to use new approaches and tools for its study and conservation, using remote sensing as a tool to support decision-making processes in biodiversity conservation efforts throughout the world.

Keywords: biodiversity, satellite images, variables.

Resumo

Atualmente, a aplicação mais promissora do sensoriamento remoto na ecologia está relacionada ao campo da biodiversidade. Uma das principais ameaças à biodiversidade é a fragmentação e a perda de habitat devido ao desmatamento causado pelas atividades humanas, acelerando as taxas de extinção de espécies. No entanto, a biodiversidade é difícil de quantificar e medir, de modo que o sensoriamento remoto é uma ferramenta valiosa para a pesquisa ecológica porque, em virtude de sua resolução espacial, espectral, radiométrica e temporal, permite medir certas variáveis da biodiversidade. No entanto, ambientalistas e agências espaciais, em um esforço conjunto, definiram uma lista de variáveis essenciais para que a biodiversidade possa ser monitorada a partir do espaço. Por causa disso, a necessidade de usar novas abordagens e ferramentas para estudo e conservação. Como imagens de satélite, uma ferramenta para apoiar os processos de tomada de decisão nos esforços de conservação da biodiversidade em todo o mundo.

Palavras-chaves: biodiversidade, imagens de satélite, variáveis.

Introducción

La pérdida del hábitat y la fragmentación son algunas de las principales amenazas para la biodiversidad (Muñoz, Estrada, Naranjo y de las Casas, 2005; Estrada *et al.*, 2005; Pasher *et al.*, 2013; Liu y Slik, 2014). Dada la rápida disminución de la biodiversidad en todo el mundo, surge la necesidad de trabajar con grandes extensiones. Sin embargo, esta es difícil de cuantificar y medir (Munguia *et al.*, 2011; San Vicente y Valencia, 2012).

Una manera de medir la biodiversidad es mediante especies indicadoras que puedan estar amenazadas o en peligro de extinción y que requieran áreas relativamente grandes en buen estado de conservación (Noss, 1990). Por lo cual, la colaboración estrecha entre los expertos en teledetección y en conservación de la biodiversidad puede facilitar las investigaciones para el monitoreo, ordenamiento y cuantificación de la biodiversidad desde el espacio (Benayas, 1993; Pfund *et al.*, 2008; Newton *et al.*, 2009; Li *et al.*, 2014; Skidmore *et al.*, 2015). Expertos en teledetección están acostumbrados a tratar con grandes áreas cuyas resoluciones espaciales, por lo general, van desde decenas de metros hasta varios kilómetros y resoluciones temporales entre diario y cada 10 días. Los ecólogos, por su parte, a menudo se ocupan de áreas relativamente pequeñas en resolución espacial de unos pocos metros y resoluciones temporales diaria o anual. Esta falta de marcos de referencia comunes dificulta el trabajo colaborativo (Pettorelli *et al.*, 2014). Aunque, los ecólogos no deben esperar que los índices derivados de los datos obtenidos por teledetección sean directamente iguales a los datos recogidos en campo, existe la necesidad de considerar fuertemente que los productos obtenidos por teledetección son adecuados para un análisis determinado (Neumann *et al.*, 2015).

En este artículo se revisa brevemente las aplicaciones de la teledetección en la ecología como apoyo a la toma de decisiones para la conservación de la biodiversidad, así como la posible utilización de estas herramientas en investigaciones futuras.

Uso de la teledetección en investigaciones ecológicas

Una de las primeras propuestas fue aplicar la teledetección a los indicadores ecológicos, pues puede trabajar con escalas espaciales y temporales para mapear los componentes bióticos y abióticos de los ecosistemas (cobertura terrestre, uso

del suelo, perturbación ecológica y fenología de la vegetación), para estimar sus cambios a través del tiempo (Noss, 1990). Posteriormente, los avances en la resolución espacial y espectral de la teledetección cada vez más factible permitieron a los ecologistas aplicarla en ciertos aspectos de la biodiversidad; por ejemplo, para distinguir los conjuntos de especies o incluso la identificación de especies de árboles individuales (Benayas, 1993; Turner *et al.*, 2003; Kerr y Ostrovsky, 2003; Cabello y Paruelo, 2008).

Recientemente, la teledetección ha sido reconocida como uno de los enfoques prometedores para estimar la biodiversidad, debido a la dificultad de recopilar datos basados en campo. Por ello, se usa la teledetección para estimar la heterogeneidad del paisaje y la diversidad de especies demostrando que es una herramienta poderosa, ya que permite trabajar a una alta resolución espacial y temporal; para mapear los componentes bióticos y abióticos de los ecosistemas (cobertura terrestre, uso del suelo, perturbación ecológica y fenología de la vegetación) y estimar sus cambios a través del tiempo (Rocchini *et al.*, 2013). Además, la teledetección se utiliza en muchas aplicaciones de monitoreo, como la fragmentación y la conectividad del hábitat, en la ecología del paisaje, y los estudios de enfoque sobre especies individuales. Esta información es esencial en el diseño de estrategias efectivas para la conservación y gestión de la biodiversidad (Willis, 2015; Rocchini *et al.*, 2015).

La teledetección activa como apoyo a la toma de decisiones para la conservación biodiversidad

LiDAR es una tecnología de teledetección activa que permite obtener información tridimensional y continua de la estructura arbórea, constituyendo una herramienta útil para complementar los inventarios forestales en los trabajos de campo (Navarro *et al.*, 2016). Por lo que las variables derivadas de LiDAR como el diámetro de copa, la altura total y

el área basal permiten la caracterización de estructuras arbóreas (Ortiz-Reyes *et al.*, 2015). Ya que, en el caso de algunas especies, obtener este tipo de datos a partir de la tecnología LiDAR son importantes para la implementación de acciones que contribuyan a la conservación de la biodiversidad (Zamora-Martínez, 2017).

La teledetección pasiva como apoyo a la toma de decisiones para la conservación de la biodiversidad

Las imágenes satelitales pertenecen a la teledetección pasiva y son utilizadas como herramienta para la toma de decisiones en la conservación de la biodiversidad, ya que, por medio del análisis, se puede monitorear y vigilar las áreas que reciben apoyos para la conservación del medio ambiente (Gómez *et al.*, 2013).

Este tipo de teledetección pasiva ofrece la posibilidad de dar un seguimiento espacial y temporal de los fenómenos que pueden delimitarse en unidades ecológicas sobre las que se apliquen distintas medidas para estudiar su estructura espacial: fragmentación, forma, abundancia, especificidad, entre otras (Benedetti, Campo y Gherardi, 2010). De esta manera, los datos de teledetección pueden jugar un papel importante en el suministro de información sobre el cambio de hábitat, la degradación y fragmentación, así como en la propagación de especies invasoras, lo que propicia el cumplimiento de objetivos para el monitoreo (Pettorelli *et al.*, 2014).

Ventajas de las imágenes de satélite en investigaciones ecológicas

Las imágenes de satélite se han convertido en una herramienta importante ya que, al combinar la información acerca de los requerimientos de hábitat de las especies con los mapas de cobertura de la tierra derivada de datos de teledetección, es posible estimar de manera precisa la distribución potencial de las especies y los patrones de riqueza de estas (Turner *et al.*, 2003). Aunque, para aumentar

el uso de imágenes de satélite con fines ecológicos y de conservación se requiere de un compromiso por parte de los expertos en biodiversidad y los de teledetección para promover un mayor nivel de trabajo interdisciplinario entre estas comunidades, para así crear oportunidades en el avance de ambas disciplinas (Pettorelli *et al.*, 2014; Turner *et al.*, 2015). Sin embargo, el uso de la teledetección por los ecólogos está creciendo. Debido a su potencial, en las últimas décadas una serie de tecnologías de teledetección se han utilizado en una amplia variedad de aplicaciones, incluyendo la identificación de relaciones con el hábitat, la cuantificación de la biodiversidad, el modelado de la distribución de especies y planificación de la conservación (Shirley *et al.*, 2013; Ancira-Sanchez y Treviño-Garza, 2015).

Índices espectrales de vegetación aplicadas para la conservación de la biodiversidad

Las *variables esenciales de la biodiversidad* proponen aprovechar los índices espectrales de vegetación para medir ciertas características de la fenología de la vegetación de forma continua a través del espacio; por ejemplo, la estructura y función de los ecosistemas (Pereira *et al.*, 2013). Por lo cual, se proponen 10 variables para medir la biodiversidad desde el espacio (Skidmore *et al.*, 2015).

Existe la necesidad de una colaboración más estrecha entre los expertos en conservación de la biodiversidad y la teledetección hoy día (Pettorelli *et al.*, 2014; Skidmore *et al.*, 2015; Xue y Su, 2017). Investigaciones como las de Leyequien *et al.* (2007) y Pettorelli *et al.* (2014) describen que hay una relación significativamente positiva entre valores altos del *índice de diferencia normalizada de vegetación* (NDVI) con la presencia de especies como el avestruz (*Struthio camelus*) y ñus (*Connochaetes taurinus*). En el caso de los primates, Willems y Hill (2009) utilizaron el NDVI para modelar el hábitat del mono de vervet (*Cercopithecus aethiops*) en África, en el estudio se identificó que los monos prefirieron áreas con altos valores de NDVI, el cual actuó como indicador de la disponibilidad de alimentos (vegetación verde). Además, existen investigaciones en las cuales se han estudiado ciertas especies desde el espacio a través de las imágenes satelitales. Por ejemplo, se han identificado y ubicado poblaciones de pingüinos emperador (*Aptenodytes fosteri*) en la costa continental de la Antártida (Fretwell *et al.*, 2012); rutas de ballenas a través del golfo Nuevo de la península Valdés en Argentina (Fretwell *et al.*, 2014); ñus, cebras y gacelas en el este de la sabana africana (Yang *et al.*, 2014; Xue *et al.*, 2017); osos polares en el Ártico canadiense (Stapleton *et al.*, 2014) y los elefantes marinos en el sur del océano Pacífico (McMahon *et al.*, 2014). Algunas de las investigaciones más destacadas se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Investigaciones destacadas de teledetección, ecología y conservación de la biodiversidad.

Investigaciones	Autores y año
Colaboración estrecha entre los expertos en ecología y teledetección para investigaciones del cambio climático, la conservación de la biodiversidad y la dinámica de los ecosistemas.	Noss (1990), Benayas (1993), Turner <i>et al.</i> (2003), Kerr y Ostrovsky (2003).
Recomendación del NDVI como un indicador de la disponibilidad de alimentos asociada con la presencia de especies como el avestruz, ñus y el mono de vervet.	Leyequien <i>et al.</i> (2007), Willems y Hill (2009).
Utilización de las imágenes de satélite en relación con la dinámica de los ecosistemas para observar cambios en la cobertura del suelo debido a la fragmentación y pérdida del hábitat.	Newton <i>et al.</i> (2009), Singh <i>et al.</i> (2010), Nagendra <i>et al.</i> (2012), Rocchini <i>et al.</i> (2013).
Identificación de poblaciones en ambientes sin vegetación de especies como pingüinos, ñus, cebras, gacelas, osos polares y elefantes marinos, mediante el uso de imágenes de satélite hiperespectrales.	Fretwell <i>et al.</i> (2012), Yang <i>et al.</i> (2014), Fretwell <i>et al.</i> (2014), Stapleton <i>et al.</i> (2014), McMahon <i>et al.</i> (2014).
Proposición de variables para monitorear la biodiversidad desde el espacio. En el cual, mediante los índices espectrales de vegetación, se pueden medir ciertas características fenológicas relacionados con los patrones de movimiento de las especies.	Skidmore <i>et al.</i> (2015), Willis (2015), Corbane <i>et al.</i> (2015), Neumann <i>et al.</i> (2015), Xue y Su (2017).

Fuente: elaboración propia de los autores.

Tipos de imágenes satelitales utilizadas en investigaciones ecológicas

Existen dos tipos de imágenes satelitales: multiespectrales (Modis, Landsat, Sentinel, entre otros); e hiperespectrales como QuickBird (figura 1), GeoEye (figura 2) y WorldView (figura 3), en la cual se han identificado ciertas poblaciones de especies.

Las imágenes de satélite multiespectrales han sido útiles para la clasificación de las diferentes clases de cobertura del suelo, normalmente basados en la vegetación (Turner *et al.*, 2003). Además, con este tipo de imágenes se pueden hacer monitoreos ecológicos, en cuanto a las estructuras de hábitat y los efectos asociados sobre la vida silvestre; lo que la convierte en una herramienta común para la exploración en la composición de la biodiversidad, es decir, la riqueza de especies (Leyequien *et al.*, 2007). Por otra parte, las imágenes hiperespectrales describen a escala fina la ocupación del suelo de cada especie, tales como categorías de vegetación o tipos de suelo, haciendo notable la contribución al estudio, en relación con los patrones de biodiversidad (Wang, Franklin, Guo y Cattet, 2010). Además, se han utilizado para generar información, con respecto a las propiedades fenológicas de las plantas (por ejemplo, pigmento de la hoja, contenido de agua y la composición química), logrando diferencias especies de árboles en paisajes y haciendo la identificación bastante exacta entre las diferentes especies, lo que permite la distinción de tipos de árboles sobre la base de reflectancia en respuesta a pigmento, nutrientes, y las diferencias estructurales entre las

especies (Nagendra y Rocchini, 2008). Por ejemplo, la firma espectral de una planta muestra las características del comportamiento de la radiación electromagnética con la estructura de la misma; también existen los índices de vegetación, que son combinaciones de las bandas espectrales registradas por las imágenes de satélite, siendo el NDVI el más conocido y usado para estimar la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base en la medición de la intensidad de la radiación (Rodríguez *et al.*, 2014).

Modelos espaciales como apoyo en la toma de decisiones para la conservación de la biodiversidad

Los modelos son herramientas de creciente uso que combinan revisión de literatura, trabajo de campo, sistemas de información geográfica y sensores remotos para estudios biogeográficos, ecológicos y de conservación (Valencia y Armenteras, 2004; Gillespie *et al.*, 2008; Cayuela *et al.*, 2009; Miller, 2010; García-Quintas y Ávila, 2012). Tal es el caso de los modelos de distribución de especies que, basados en un sistema de información geográfica, nos indican mediante una representación cartográfica derivada de sensores remotos la idoneidad ambiental del hábitat para el desarrollo de una especie en específico, y así, ayudar a tomar decisiones de conservación (Naoki *et al.*, 2006; De-Pando y De-Giles, 2007; Mateo, Felicísimo y Muñoz, 2011; Plasencia-Vázquez, Escalona-Segura y Esparza-Olguín, 2014; Maciel-Mata, Manríquez-Morán, Octavio-Aguilar y Sánchez-Rojas,

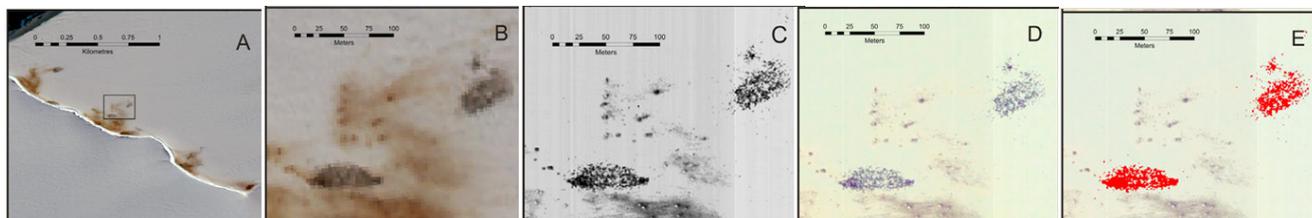


Figura 1. Poblaciones de pingüinos.

Fuente: Fretwell *et al.* (2012).

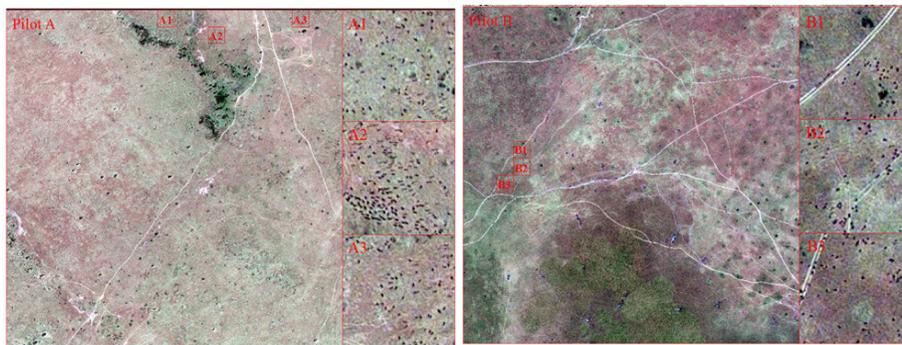


Figura 2. Poblaciones de ñus, cebras y gacelas.

Fuente: Yang *et al.* (2014).

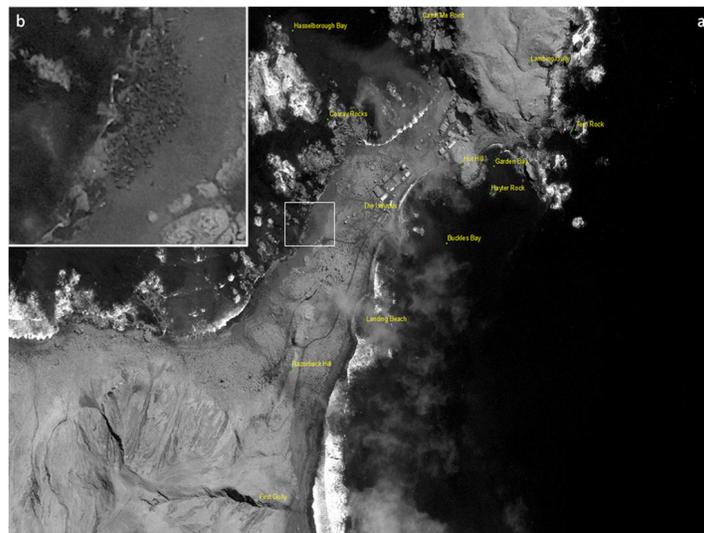


Figura 3. Poblaciones de elefantes marinos.

Fuente: McMahon *et al.* (2014).

2015). El modelado espacial es una herramienta importante para la evaluación de la distribución potencial de especies terrestres (Ibarra-Montoya *et al.*, 2012), por lo que recientemente se han realizado modelos en los cuales se han introducido como variables índices espectrales de vegetación, como el NDVI, derivados de imágenes de satélite (López-Sandoval *et al.*, 2015).

Consideraciones finales

Es preciso aumentar el uso de imágenes de satélite con fines ecológicos y de conservación de la

biodiversidad, para a su vez promover un mayor nivel de trabajo interdisciplinario entre la ecología y teledetección y estimular así creación de oportunidades y el avance de ambas disciplinas (Pettorelli *et al.*, 2014; Turner *et al.*, 2015). Sin embargo, los resultados obtenidos de la sinergia de estas dos ciencias tienen que ser cotejados con datos recolectados en campo (Neumann *et al.*, 2015).

El potencial de sinergias entre la ciencia y la teledetección es la clave para mejorar las interpretaciones y usos de los datos de satélite para apoyar futuras investigaciones en la toma de decisiones de gestión de procesos para la conservación de la

biodiversidad (Nagendra *et al.*, 2014; Pettorelli *et al.*, 2015).

Los expertos en teledetección deben buscar una comprensión más profunda de los conceptos y requisitos ecológicos para minimizar la confusión semántica y para asegurar que el procesamiento de datos sea de la manera más apropiada y útil (Zlinszky *et al.*, 2015; Skidmore *et al.*, 2015).

Conclusiones

La teledetección es una de las principales herramientas disponibles para la asignación y monitoreo de los patrones de la biodiversidad a través de escalas espaciales grandes. Los datos derivados de la teledetección proporcionan información sobre las características del entorno que influyen en la biodiversidad, las propiedades estructurales y funcionales de los ecosistemas, la distribución espacial de los diferentes componentes de la biodiversidad, los patrones de cambios de vegetación natural inducidos por el ser humano e impactos de varias perturbaciones e interacciones ecológicas. Además, es una herramienta importante para supervisar y monitorear el estado de la biodiversidad y de los parámetros ambientales asociados y pertinentes para la conservación; entre ellos, ciertos elementos de los hábitats.

Es útil en la generación de registros para el monitoreo de los cambios de la biodiversidad (cobertura terrestre, uso del suelo, perturbación ecológica y fenología de la vegetación) a nivel local y mundial. Además, es ampliamente utilizado como fuente de información ambiental para la investigación ecológica. Por ejemplo, en relación con la ecología, los estudios han buscado a menudo obtener información sobre variables como la riqueza de especies y facilitar las actividades de monitoreo de la biodiversidad, ya que los modelos espaciales permiten utilizar como variables tanto datos derivados de la teledetección pasiva para medir ciertas características de la fenológica de la vegetación a través de

las imágenes de satélite, como la altura de la vegetación a partir de la teledetección activa derivada de la tecnología LiDAR.

Referencias

- Ancira-Sánchez, L. y Trevi-o Garza, E. J. (2015). Utilización de imágenes de satélite en el manejo forestal del noreste de México. *Madera y Bosques*, 21(1), 77-91. DOI: <https://doi.org/10.21829/myb.2015.211434>
- Benayas, J. R. (1993). Perspectivas de la teledetección en investigaciones ecológicas. *Revista de teledetección: Revista de la Asociación Española de Teledetección*, 2, 4.
- Benedetti, G., Campo, A. y Geraldi, A. (2010). *Las nuevas tecnologías aplicadas a la ecología del paisaje: estudio de un área del salitral de la Vidriera, provincia de Buenos Aires*. GeoSIG, 2.
- Cabello, J. y Paruelo, J. M. (2008). La teledetección en estudios ecológicos. *Revista Ecosistemas*, 17(3).
- Cayuela, L., Golicher, D., Newton, A., Kolb, H., de Albuquerque, F. S., Arets, E. J. M.... y Pérez, A. M. (2009). Species distribution modeling in the tropics: problems, potentialities, and the role of biological data for effective species conservation. *Tropical Conservation Science*, 2(3), 319-352. DOI: <https://doi.org/10.1177/194008290900200304>
- Corbane, C., Lang, S., Pipkins, K., Alleaume, S., Deshayes, M., Millán, V. E. G.... y Michael, F. (2015). Remote sensing for mapping natural habitats and their conservation status. New opportunities and challenges. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 37, 7-16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.11.005>
- De Pando, B. B. y De Giles, J. P. (2007). Aplicación de modelos de distribución de especies a la conservación de la biodiversidad en el sureste de la península Ibérica. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 7, 100-119.

- Estrada, A., Harvey, C., Sáenz, J., Mu-oz, D., Naranjo, E., Rosales-Meda, M. y Chiapas, M. (2005). *Valor de algunas prácticas agrícolas para la conservación de poblaciones de primates en paisajes fragmentados en mesoamérica*. Universidad y ciencia, (002), 85-94.
- Fretwell, P. T., La Rue, M. A., Morin, P., Kooyman, G. L., Wienecke, B., Ratcliffe, N... y Trathan, P. N. (2012). An emperor penguin population estimate: the first global, synoptic survey of a species from space. *PLoS One*, 7(4), e33751. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0033751>
- Fretwell, P. T., Staniland, I. J. y Forcada, J. (2014). Whales from space: counting southern right whales by satellite. *PLoS One*, 9(2), e88655. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0088655>
- García-Quintas, A. y Ávila, D. D. (2012). Un ejemplo teórico de modelación del hábitat y la distribución potencial por análisis factorial del nicho ecológico. *Mesoamericana*, 16, 12-21.
- Gillespie, T. W., Foody, G. M., Rocchini, D., Giorgi, A. P. y Saatchi, S. (2008). Measuring and modelling biodiversity from space. *Progress in Physical Geography*, 32(2), 203-221. DOI: <https://doi.org/10.1177/0309133308093606>
- Gómez, I. U. H., Ellis, E. A. y Gómez, C. A. G. (2013). Aplicación de teledetección y sistemas de información geográfica para el análisis de deforestación y deterioro de selvas tropicales en la región Uxpanapa, Veracruz. *GeoFocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, 13(1), 1-24.
- Ibarra-Montoya, J. L., Rangel-Peraza, G., González-Farías, F. A., De Anda, J., Martínez-Meyer, E. y Macías-Cuellar, H. (2012). Uso del modelado de nicho ecológico como una herramienta para predecir la distribución potencial de *Microcystis* sp (cianobacteria) en la presa hidroeléctrica de Aguamilpa, Nayarit, México. *Revista Ambiente y Agua*, 7(1), 218. DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.607>
- Kerr, J. T. y Ostrovsky, M. (2003). From space to species: ecological applications for remote sensing. *Trends in Ecology and Evolution*, 18(6), 299-305. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(03\)00071-5](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(03)00071-5)
- Leyequien, E., Verrelst, J., Slot, M., Schaepman-Strub, G., Heitkönig, I. M. y Skidmore, A. (2007). Capturing the fugitive: Applying remote sensing to terrestrial animal distribution and diversity. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 9(1), 1-20. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2006.08.002>
- Li, Z., Xu, D. y Guo, X. (2014). Remote sensing of ecosystem health: opportunities, challenges and future perspectives. *Sensors*, 14(11), 21117-21139. DOI: <https://doi.org/10.3390/s141121117>
- Liu, J. J. y Slik, J. F. (2014). Forest fragment spatial distribution matters for tropical tree conservation. *Biological Conservation*, 171, 99-106. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.01.004>
- López-Sandoval, J. A., López-Mata, L., Cruz-Cárdenas, G., Vibrans, H., Vargas, O. y Martínez, M. (2015). Modelado de los factores ambientales que determinan la distribución de especies sinantrópicas de *Physalis*. *Botanical Sciences*, 93(4), 755-764. DOI: <https://doi.org/10.17129/botsci.192>
- Maciel-Mata, C. A., Manríquez-Morán, N., Octavio-Aguilar, P. y Sánchez-Rojas, G. (2015). El área de distribución de las especies: revisión del concepto. *Acta Universitaria*, 25(2), 3-19.
- McMahon, C. R., Howe, H., van den Hoff, J., Alderman, R., Broksma, H. y Hindell, M. A. (2014). Satellites, the all-seeing eyes in the sky: counting elephant seals from space. *PLoS one*, 9(3), e92613. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092613>
- Mateo, R. G., Felicísimo, Á. M. y Mu-oz, J. (2011). Modelos de distribución de especies: una revisión sintética. *Revista Chilena de Historia Natural*, 84(2), 217-240. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0716-078X2011000200008>
- Miller, J. (2010). Species distribution modeling. *Geography Compass*, 4(6), 490-509. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1749-8198.2010.00351.x>

- Munguia, P., Osman, R. W., Hamilton, J., Whitlatch, R. y Zajac, R. (2011). Changes in habitat heterogeneity alter marine sessile benthic communities. *Ecological Applications*, 21(3), 925-935. DOI: <https://doi.org/10.1890/09-2398.1>
- Muñoz, D., Estrada, A., Naranjo, E. y de las Casas, C. (2005). Monos aulladores (*Alouatta palliata*) en una plantación de cacao (*Theobroma cacao*) en Tabasco, México: aspectos de la ecología alimentaria. *Universidad y Ciencia*, 2, 35-44.
- Nagendra, H. y Rocchini, D. (2008). High resolution satellite imagery for tropical biodiversity studies: the devil is in the detail. *Biodiversity and Conservation*, 17(14), 3431-3442. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10531-008-9479-0>
- Nagendra, H., Nagendran, S., Paul, S. y Pareeth, S. (2012). Graying, greening and fragmentation in the rapidly expanding Indian city of Bangalore. *Landscape and Urban Planning*, 105(4), 400-406. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.01.014>
- Nagendra, H., Sudhira, H. S., Katti, M., Tengö, M. y Schewenius, M. (2014). Urbanization and its impacts on land use, biodiversity and ecosystems in India. *Remote Sensing*, 7(6), 7987-7994. DOI: <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2014.2.46532>
- Navarro, E. P., Ba-uelos, M. J. y Quevedo, M. (2016). Combinando datos LiDAR e inventario forestal para identificar estados avanzados de desarrollo en bosques caducifolios. *Revista Ecosistemas*, 25(3), 35-42.
- Naoki, K., Gómez, M. I., López, R. P., Meneses, R. I. y Vargas, J. (2006). Comparación de modelos de distribución de especies para predecir la distribución potencial de vida silvestre en Bolivia. *Ecología en Bolivia*, 41(1), 65-78.
- Neumann, W., Martinuzzi, S., Estes, A. B., Pidgeon, A. M., Dettki, H., Ericsson, G. y Radloff, V. C. (2015). Opportunities for the application of advanced remotely-sensed data in ecological studies of terrestrial animal movement. *Movement ecology*, 3(8). DOI: <https://doi.org/10.1186/s40462-015-0036-7>
- Newton, A. C., Hill, R. A., Echeverría, C., Golicher, D., Benayas, J. M. R., Cayuela, L. y Hinsley, S. A. (2009). Remote sensing and the future of landscape ecology. *Progress in Physical Geography*, 33(4), 528-546. DOI: <https://doi.org/10.1177/0309133309346882>
- Noss, R. F. (1990). Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach. *Conservation biology*, 4(4), 355-364. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.1990.tb00309.x>
- Ortiz-Reyes, A. D., Valdez-Lazalde, J. R., los Santos-Posadas, D., Héctor, M., Ángeles-Pérez, G., Paz-Pellat, F. y Martínez-Trinidad, T. (2015). Inventario y cartografía de variables del bosque con datos derivados de LiDAR: comparación de métodos. *Madera y Bosques*, 21(3), 111-128.
- Pasher, J., Mitchell, S. W., King, D. J., Fahrig, L., Smith, A. C. y Lindsay, K. E. (2013). Optimizing landscape selection for estimating relative effects of landscape variables on ecological responses. *Landscape Ecology*, 28(3), 371-383. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10980-013-9852-6>
- Pfund, J. L., Koponen, P., O'Connor, T., Boffa, J. M., van Noordwijk, M. y Sorg, J. P. (2008). *Biodiversity conservation and sustainable livelihoods in tropical forest landscapes*. En *Patterns and Processes in Forest Landscapes* (pp. 297-322). Dordrecht, Holanda: Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8504-8_17
- Pettorelli, N., Laurance, W. F., O'Brien, T. G., Wegmann, M., Nagendra, H. y Turner, W. (2015). Satellite remote sensing for applied ecologists: opportunities and challenges. *Journal of Applied Ecology*, 51(4), 839-848. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12261>
- Pettorelli, N., Laurance, W. F., O'Brien, T. G., Wegmann, M., Nagendra, H. y Turner, W. (2014). Satellite remote sensing for applied ecologists: opportunities and challenges. *Journal of Applied Ecology*, 51(4), 839-848. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12261>

- Pettorelli, N., Safi, K. y Turner, W. (2014). Satellite remote sensing, biodiversity research and conservation of the future. *Phil.Trans. R. Soc. B*, 369(1643). DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0190>
- Pereira, H. M., Ferrier, S., Walters, M., Geller, G. N., Jongman, R. H. G., Scholes, R. J.... y Coops, N. C. (2013). Essential biodiversity variables. *Science*, 339(6117), 277-278. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.1229931>
- Plasencia-Vázquez, A. H., Escalona-Segura, G. y Esparza-Olguín, L. G. (2014). Modelación de la distribución geográfica potencial de dos especies de psitácidos neotropicales utilizando variables climáticas y topográficas. *Acta Zoológica Mexicana*, 30(3), 471-490. DOI: <https://doi.org/10.21829/azm.2014.30372>
- Rocchini, D., Boyd, D. S., Féret, J. B., Foody, G. M., He, K. S., Lausch, A.... y Pettorelli, N. (2015). Satellite remote sensing to monitor species diversity: potential and pitfalls. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 2(1), 25-36. DOI: <https://doi.org/10.1002/rse2.9>
- Rocchini, D., Foody, G. M., Nagendra, H., Ricotta, C., Anand, M., He, K. S.... y Feilhauer, H. (2013). Uncertainty in ecosystem mapping by remote sensing. *Computers and Geosciences*, 50, 128-135. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2012.05.022>
- Rodríguez, J. A. E., Díaz-Ambrona, C. G. H. y Alfonso, A. M. T. (2014). Selección de índices de vegetación para la estimación de la producción herbácea en dehesas. *Pastos*, 44(2), 6-18.
- San Vicente, M. G. y Valencia, P. J. L. (2012). Efectos de la fragmentación de hábitats y pérdida de conectividad ecológica dentro de la dinámica territorial. Polígonos. *Revista de Geografía*, 16, 35-54. DOI: <https://doi.org/10.18002/pol.v0i16.410>
- Stapleton, S., LaRue, M., Lecomte, N., Atkinson, S., Garshelis, D., Porter, C. y Atwood, T. (2014). Polar bears from space: assessing satellite imagery as a tool to track Arctic wildlife. *PLoS One*, 9(7), e101513. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0101513>
- Skidmore, A. K., Pettorelli, N., Coops, N. C., Geller, G. N., Hansen, M., Lucas, R. y Schaepman, M. E. (2015). Environmental science: agree on biodiversity metrics to track from space. *Nature*, 523, 403-405. DOI: <https://doi.org/10.1038/523403a>
- Shirley, S. M., Yang, Z., Hutchinson, R. A., Alexander, J. D., McGarigal, K. y Betts, M. G. (2013). Species distribution modelling for the people: unclassified landsat TM imagery predicts bird occurrence at fine resolutions. *Diversity and Distributions*, 19(7), 855-866. DOI: <https://doi.org/10.1111/ddi.12093>
- Singh, J. S., Roy, P. S., Murthy, M. S. R. y Jha, C. S. (2010). Application of landscape ecology and remote sensing for assessment, monitoring and conservation of biodiversity. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 38(3), 365-385. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12524-010-0033-7>
- Turner, W., Spector, S., Gardiner, N., Fladeland, M., Sterling, E. y Steininger, M. (2003). Remote sensing for biodiversity science and conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, 18(6), 306-314. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(03\)00070-3](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(03)00070-3)
- Turner, W., Rondinini, C., Pettorelli, N., Mora, B., Leidner, A. K., Szantoi, Z.... y Koh, L. P. (2015). Free and open-access satellite data are key to biodiversity conservation. *Biological Conservation*, 182, 173-176. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.11.048>
- Valencia, I. D. y Armenteras, D. (2004). Modelo de hábitat y distribución de la alondra (*Eremophila alpestris peregrina*) en el altiplano cundiboyacense, Colombia. *Ornitología Colombiana*, 2, 25-36.
- Wang, K., Franklin, S. E., Guo, X. y Cattet, M. (2010). Remote sensing of ecology, biodiversity and conservation: A review from the perspective of remote sensing specialists. *Sensors*, 10(11), 9647-9667. DOI: <https://doi.org/10.3390/s101109647>

- Willis, K. S. (2015). Remote sensing change detection for ecological monitoring in United States protected areas. *Biological Conservation*, 182, 233-242. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.12.006>
- Willems, E. P. y Hill, R. A. 2009. A critical assessment of two species distribution models: a case study of the vervet monkey (*Cercopithecus aethiops*). *Journal of Biogeography*, 36(12), 2300-2312. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2009.02166.x>
- Xue, J. y Su, B. (2017). Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications. *Journal of Sensors*. DOI: <https://doi.org/10.1155/2017/1353691>
- Xue, Y., Wang, T. y Skidmore, A. K. (2017). Automatic Counting of Large Mammals from Very High Resolution Panchromatic Satellite Imagery. *Remote Sensing*, 9(9), 878. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs9090878>
- Yang, Z., Wang, T., Skidmore, A. K., de Leeuw, J., Said, M. Y. y Freer, J. (2014). Spotting east African mammals in open savannah from space. *PloS One*, 9(12), e115989. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0115989>
- Zlinszky, A., Heilmeyer, H., Balzter, H., Czúcz, B. y Pfeifer, N. (2015). Remote sensing and GIS for habitat quality monitoring: New approaches and future research. *Remote Sensing*, 7(6), 7987-7994. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs70607987>

