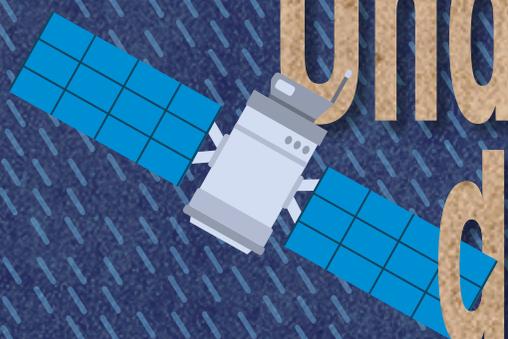


CIENCIA MÁS TECNOLOGÍA

3 de febrero de 2021 - Año 6, n.º 62



# Una ciencia ancestral de gran vigencia

Desde sus inicios, la meteorología como campo de estudio se ha dedicado a la observación del tiempo atmosférico. En nuestros días, esta disciplina realiza mediciones y predicciones con la ayuda de la tecnología.





Estación meteorológica automática ubicada en el Cigefi-UCR. Foto: Laura Rodríguez Rodríguez.

# Meteorología:

## una aliada en la predicción de los cambios atmosféricos

**Esta área de la física cuenta, en la actualidad, con múltiples instrumentos que le permiten predecir el tiempo atmosférico.**

David Esteban Chacón León  
[david.chaconleon@ucr.ac.cr](mailto:david.chaconleon@ucr.ac.cr)

El ser humano ha tenido siempre la inquietud de observar y aprender de los cambios que sufre la atmósfera: desde documentar las estaciones del año para escoger cuándo es más oportuno cultivar, hasta predecir el aumento del cauce de los ríos para saber cuándo estos son más navegables.

La Real Academia Española define este término como la “ciencia que estudia los fenómenos atmosféricos”.

Desde una perspectiva más física, la meteorología se entiende como la ciencia que “estudia la capa gaseosa que cubre a la Tierra y cómo esta interactúa con lo que está fuera y con lo que está dentro del planeta”, en palabras del Dr. Marcial Garbanzo Salas, director del Departamento de Física Atmosférica, Oceánica y Planetaria de la Escuela de Física de la Universidad de Costa Rica (UCR).

Esta ciencia involucra a distintas disciplinas. Por ejemplo, se relaciona con la vulcanología, debido a que estudia cómo se modifica la composición atmosférica a

causa de las erupciones, y con la biología, porque analiza cuáles gases consumen y emiten distintos organismos.

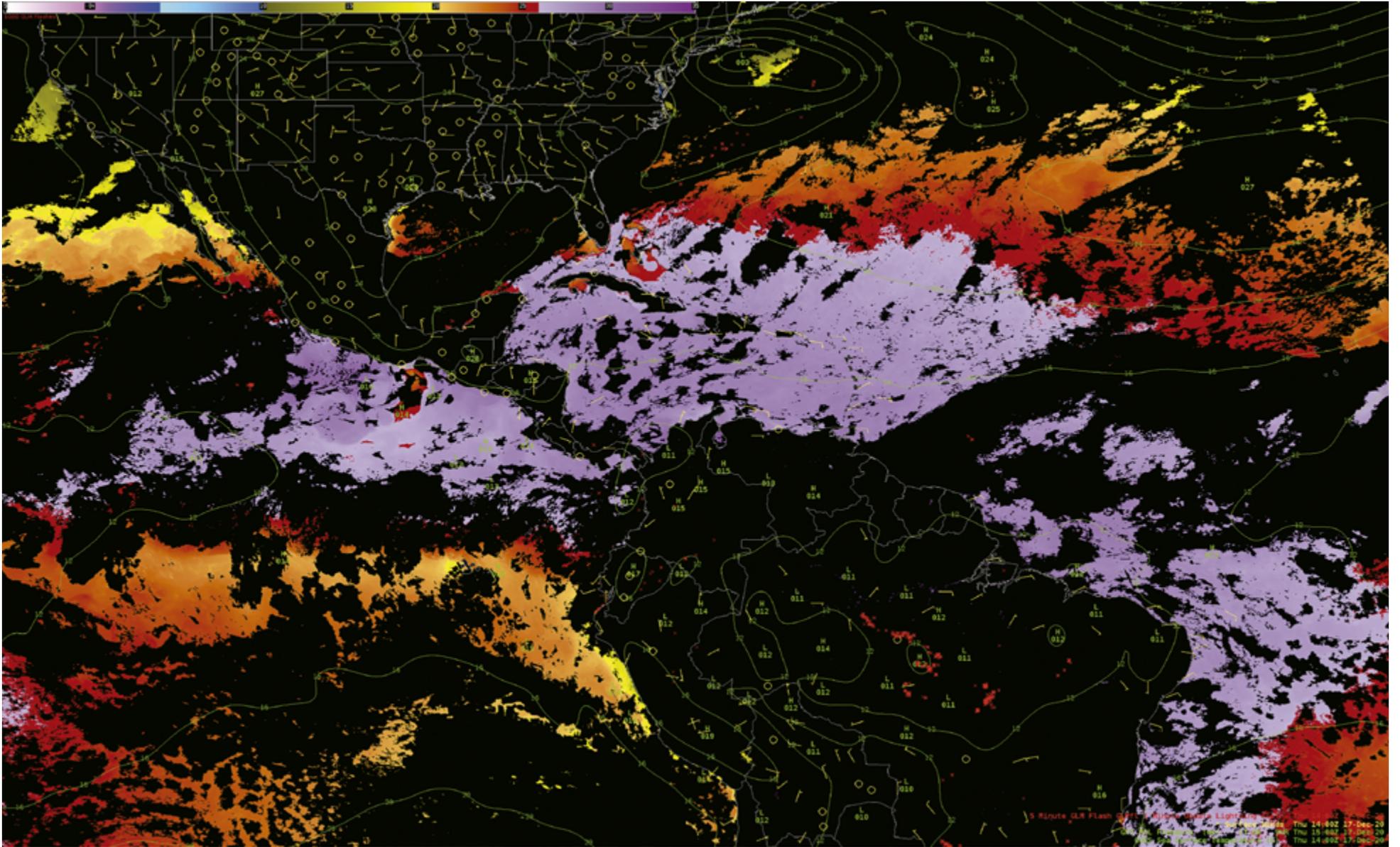
“La meteorología ha cambiado mucho en los últimos años. Si retrocedemos siglos, la meteorología era simplemente una curiosidad, se enfocaba en el cambio de los vientos, de la temperatura, etc. No es hasta que se empieza a pensar en el modelado numérico del tiempo, que la meteorología se transforma, porque las mediciones comenzaron a brindar información a un sistema que predice lo que va a ocurrir”, comenta el investigador.

Con la introducción de datos en las primeras computadoras, se empezaron a generar las primeras predicciones. Esto

hizo que las mediciones se convirtieran en un elemento fundamental para pronosticar el tiempo atmosférico.

Al principio, estos datos se recogían en estaciones en la superficie. Luego, se adoptó una tecnología que, inicialmente, se desarrolló para uso militar, como los radares para poder ver la ubicación de las nubes y la precipitación.

Después, vinieron los satélites, los cuales no cubren una pequeña región (como lo hace un radar), sino que comprenden áreas mucho más extensas. Existen satélites geoestacionarios, que abarcan una región completa del planeta, y satélites polares, que pueden medir todo el planeta en cuestión de 12 horas



Recursos como el Laboratorio de Observación del Sistema Climático (Losic) y el sistema AWIPS permiten visualizar datos sobre la rayería, la temperatura superficial del mar, los vientos en la superficie del planeta, así como las regiones de bajas y altas presiones. Foto: cortesía del Dr. Marcial Garbanzo Salas.

Hoy, los satélites geoestacionarios, como el GOES-16 y el GOES-17, son capaces de medir también el clima espacial. Gracias a esta tecnología, es posible saber las modificaciones que el Sol hace en el espacio circundante de la Tierra y las implicaciones que eso puede tener para el planeta.

**“Cuando nosotros pensamos en este nuevo laboratorio es porque la meteorología enfocada en modelos numéricos es importante, ya que genera la predicción, tanto del tiempo como del clima”. Dr. Marcial Garbanzo, director del Departamento de Física Atmosférica, Oceánica y Planetaria de la Escuela de Física de la UCR.**

“Los humanos necesitan comprender mejor lo que ocurre en la Tierra, quiénes emiten gases, dónde los emiten, las consecuencias de emitirlos, el efecto que esto tiene en el planeta completo y en el quehacer de la humanidad. La meteorología tiene que crecer con información y con estudios que relacionen de forma

certera las hipótesis que se planteen con resultados científicos aplicados y con impacto”, afirma Garbanzo.

## ¿Qué es lo que se utiliza en la UCR?

La UCR es, desde 1969, un centro de formación regional de la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Por esto, la Universidad tiene la responsabilidad de educar, tanto a sus estudiantes como a otros de la región, en el uso de las tecnologías más actuales que existen en el campo.

La Escuela de Física ofrece la carrera de Meteorología, mientras que el Sistema de Estudios de Posgrado tiene también varias maestrías relacionadas con esta disciplina.

Desde el área de la investigación, el Centro de Investigaciones Geofísicas (Cigefi) desarrolla una actividad fundamental en el campo de la meteorología. Sus estudios se centran en el modelado y el análisis de datos de las estaciones atmosféricas.

Además, la UCR cuenta con dos laboratorios: el Laboratorio de Investigaciones Atmosféricas y Planetarias (LIAP) y el Laboratorio de Observación del Sistema Climático (Losic).

Esta universidad tiene a su alcance datos que proceden directamente del satélite GOES-16, que es el encargado de cubrir a Costa Rica. Dicho instrumento tiene la capacidad de generar imágenes de

nubes en tiempo real, así como de analizar su movimiento y eventual transformación en tormentas y huracanes, los cuales luego generan precipitación.

Los satélites también ofrecen información sobre los vientos (otra de las variables esenciales para predecir el tiempo atmosférico), monitorean incendios forestales, miden la razón de la precipitación (intensidad de la lluvia) y captan muchos otros datos relacionados con la meteorología, como la temperatura de la superficie del mar.

Ese centro de educación superior posee una red de estaciones meteorológicas automáticas distribuidas por todo el país, las cuales se encargan de monitorear en tiempo real todo lo que ocurre en la atmósfera. Las estaciones cuentan con juegos de datos muy antiguos, que permiten hacer comparaciones para comprender la variabilidad y el cambio del clima.

Asimismo, los científicos de la UCR tienen acceso a sistemas como Geonet-Cast y AWIPS, que obtienen y muestran productos satelitales y datos de miles de estaciones alrededor del mundo.

## Un nuevo laboratorio

El Losic fue creado a finales del 2019 por la Dra. Ana María Durán Quesada y el Dr. Marcial Garbanzo Salas, profesores e investigadores de la Escuela de Física y del Cigefi. Su trabajo está orientado al desarrollo de la meteorología experimental y aplicada.

“Cuando nosotros pensamos en este nuevo laboratorio es porque la meteorología enfocada en modelos numéricos es importante, ya que genera la predicción, tanto del tiempo como del clima. Pero los modelos no son suficientes, estos necesitan condiciones iniciales, las cuales son generadas por las mediciones”, explica Garbanzo.

Este laboratorio fue fundado con la visión de tener un espacio donde crear e implementar instrumentos meteorológicos.

“Una de las ideas es convertirnos en una entidad que a nivel nacional pueda dar asesoría en el área de instrumentos meteorológicos, que pueda ofrecer entrenamientos a lo interno y externo de la UCR, además de equipos”, indica el científico.

Garbanzo aclara que la elaboración de tales instrumentos deberá ir asociada a la investigación, pues —en conjunto con el ente que los adquiera— se desarrollará ciencia comunitaria, con el fin de mejorar los productos meteorológicos en el ámbito regional.

Actualmente, en el laboratorio están por terminar algunos prototipos de estaciones portátiles, ideales para giras de carácter científico. También están desarrollando una torre de perfilación de temperatura, de uso en los aeropuertos para conocer la estratificación del viento. ■



Los murciélagos machos se perchan durante horas en un sitio específico y realizan exhibiciones visuales y acústicas para conseguir pareja. Foto: cortesía de Marco Tschapka.

## Un estudio describe el comportamiento sexual de una especie enigmática de murciélagos



**Los machos seducen a las hembras con movimientos de sus alas, vocalizaciones y una mascarilla facial.**

Patricia Blanco Picado  
patricia.blancopicado@ucr.ac.cr

Costa Rica es noticia internacional en el campo de las ciencias biológicas. Por primera vez, se logró registrar en audio y video el sistema de apareamiento en una especie de murciélagos poco conocida que habita en nuestro país: *Centurio senex*.

Dicho descubrimiento es sin duda de gran valor para la biología, ya que muy pocas veces se ha podido documentar el cortejo, llamado *lek*, en estos mamíferos en su medio natural. En este, los machos se agrupan y compiten por el apareamiento con las hembras.

“Nuestro estudio proporciona la primera información sobre la ecolocalización y el cortejo de un murciélago frugívoro raro y muy interesante”, afirman los autores del artículo científico “The masked seducers: Lek courtship behavior in the wrinkle-faced bat *Centurio senex* (Phyllostomidae)”, publicado el 11 de noviembre del 2020 en la revista especializada *PLOS ONE*.

La investigación fue liderada por biólogos de la Universidad de Costa Rica (UCR) y el trabajo de campo se llevó a cabo en el año 2018 en la reserva natural del hotel Villa Blanca, en San Ramón de Alajuela.

El estudio contó también con la participación de científicos de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la

Universidad de Ulm, Alemania; el Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales, con sede en Panamá; y la Estación de Investigación José Miguel Alfaro, del Hotel Villa Blanca.

El análisis del comportamiento sexual y reproductivo de algunas especies no es fácil de efectuar, según los especialistas, sobre todo en aquellas que son muy pequeñas, nocturnas y voladoras, como los murciélagos. Además, el desarrollo de la tecnología para la observación nocturna de murciélagos, como cámaras de infrarrojos y grabadoras de ultrasonido, es reciente.

Hasta el momento, los sistemas de apareamiento solo se han estudiado en cerca del 7 % de todas las especies de murciélagos, a pesar de la existencia de una gran variedad de modalidades en estos mamíferos.

### El cortejo *lek*

El sistema de apareamiento *lek* fue descrito primero en aves, aunque también está presente en insectos y peces. En los murciélagos, se ha documentado en muy pocos casos. La literatura científica reporta que existe información parcial de apenas unas ocho especies, de las 1 406 especies de murciélagos descritas a nivel mundial, según explicó Bernal Rodríguez Herrera, director del Centro de Investigación en Biodiversidad y Ecología Tropical (Cibet) y profesor de la Escuela de Biología de la UCR.

El término *lek* hace referencia a una arena (sitio común de combate o lugar espe-

cífico), donde los machos territoriales se agrupan para realizar exhibiciones visuales y acústicas, y conseguir pareja. Los que ofrecen una mejor visualización tienen una mayor probabilidad de ser elegidos por una hembra. En este sistema de apareamiento, los machos solo aportan el material genético y no se ocupan de la descendencia.

La mayor parte de la información disponible sobre la reproducción de murciélagos se basa en las capturas de individuos con redes de niebla. Por medio de un examen físico, se detectan signos de embarazo y lactancia de las hembras, así como el estado de los testículos en los machos. Estos diagnósticos pueden brindar datos sobre la proporción de los sexos y los ciclos reproductivos, pero no sobre el cortejo y el apareamiento.

### El seductor con máscara

*Centurio senex* es descrita por Rodríguez como una especie rara y enigmática. Su cara es muy arrugada, tiene alas reticuladas, ojos muy grandes verdosos y la nariz es distinta a la de otras especies.

Las hembras son diferentes a los machos, lo cual se conoce como dimorfismo sexual. Esta característica es muy notoria principalmente porque los machos poseen unos pliegues en la barbilla con los que crean una especie de máscara facial, que suben y bajan cuando están posados realizando las exhibiciones sexuales.

El biólogo había publicado hace unos años, junto con dos de sus estudiantes, que esta especie come semillas. “Comer semillas

es muy extraño en murciélagos”, aclaró. Luego, se interesó por comprender para qué sirven unas estructuras que tienen en las alas, pero para esto necesitaba atrapar a más animales, lo cual no es sencillo.

La noticia de que habían visto a varios individuos de *Centurio senex* colgados de las ramas le llegó por medio de una fotografía tomada por dos guías naturalistas del hotel Villa Blanca. “Daniel Zamora, investigador de la Sede de Occidente de la UCR, sabía que yo estaba buscando a esta especie y me avisó. Al día siguiente comenzamos a trabajar”, recordó.

### Resultados

El estudio describe el apareamiento y el repertorio acústico básico de *C. senex*. Con esto, proporciona información sobre una de las especies de murciélagos neotropicales más emblemáticas, afirman los investigadores.

Tal comportamiento de los mamíferos fue grabado en el bosque de altura de San Ramón durante 21 horas y ocho noches. En una misma noche, los científicos llegaron a observar hasta 56 machos perchados en las ramas de los árboles, a una altura promedio de 2,35 metros, durante muchas horas.

Basándose en el distintivo dimorfismo sexual, los científicos plantean la hipótesis de que la máscara facial única de los machos *Centurio senex* se emplea durante el comportamiento de cortejo.

Los machos mostraron patrones de comportamiento distintos, incluidas señales acústicas. “La exhibición general



Los machos de *C. senex*, a diferencia de las hembras, poseen una máscara facial que, según los investigadores, se emplea durante el cortejo. Foto: cortesía de Marco Tschapka.



Las hembras de la especie estudiada son diferentes a los machos. Foto: cortesía de Marco Tschapka.

de los machos consistía en que se posaban con la máscara de piel puesta. Movieron las puntas de sus alas con regularidad y produjeron ultrasonidos. Grabamos 'encuentros' cuando otro murciélago se acercó al macho y este comenzó a mover sus alas rápidamente y varió la vocalización con un pitido audible al final. El visitante casi nunca se posó", detallan en el artículo.

De 181 acercamientos entre machos y hembras, solo en una ocasión la hembra visitante se colgó junto al macho y copularon. Este momento es descrito así en el artículo científico: "El día 10 de octubre a las 19:40 h, observamos un acercamiento a un macho posado que finalizó con la

secuencia habitual de pitos y la salida del visitante. Apenas cinco segundos después, el murciélago posado fue visitado nuevamente y esta vez el visitante aterrizó de inmediato, muy cerca y casi sobre la espalda del macho posado. La visitante era una hembra, claramente reconocible por la falta de máscara facial. El macho inmediatamente se bajó la máscara y rápidamente se colocó en una posición cara a cara con la hembra. Cinco segundos después, cambió de posición, se movió alrededor de la hembra y presionó su rostro en la mitad de su espalda, en una posición típica del apareamiento en murciélagos. El macho, que vibraba visiblemente, sostenía

a la hembra, usando garras de pulgar y alas, y parecía también morder el pelaje de la parte inferior de la espalda de la hembra, presumiblemente mientras la penetraba".

En cuanto a los tipos de sonidos, se reconocieron al menos ocho en los diferentes comportamientos mostrados. "Creemos que la vocalización es parte del 'anuncio' que hacen los machos para atraer a las hembras", dijo Rodríguez.

Según los investigadores, "independientemente de los sistemas *lek*, esta comunicación social está documentada para muchas especies de murciélagos y puede incluir señales visuales, táctiles, olfativas y acústicas. En algunas especies,

los machos muestran incluso canciones sofisticadas durante el cortejo".

Los científicos involucrados en el estudio son, además de Bernal Rodríguez Herrera y Daniel Zamora Mejías, Ricardo Sánchez Calderón, Víctor Madrigal Elizondo, Paulina Rodríguez, Jairo Villalobos, Esteban Hernández, Gloria Gessinger y Marco Tschapka.

Este tema ha despertado mucho interés en los medios de comunicación extranjeros, como *The New York Times*, *CNN*, la revista *Science*, *EurekaAlert!* y el medio especializado alemán *IDW*, entre otros. ■

## "Quedan muchas preguntas e incógnitas por resolver"

Daniel Zamora Mejías, profesor de la Sede de Occidente de la Universidad de Costa Rica, es otro de los investigadores que participó en el estudio sobre la especie de murciélagos *Centurio senex*.

Desde el Instituto de Ecología de la UNAM, en México, donde cursa su doctorado en Ciencias Biológicas, Zamora nos comentó su interés por el estudio de los murciélagos y su experiencia en la investigación con *C. senex*, en San Ramón de Alajuela.

### ¿Anteriormente había trabajado con murciélagos?

-Sí, mi trabajo con murciélagos ya lleva varios años. Mi investigación de tesis de maestría en la UCR fue sobre el impacto de la fragmentación del hábitat sobre la riqueza, abundancia y prevalencia de ectoparásitos en un género de murciélagos en la Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes, en San Ramón (Alajuela) y una porción de su área de influencia. En esta región fue donde encontramos la actividad que describimos sobre el *Centurio senex*.

### ¿Cómo se involucró en este estudio y por qué?

-El profesor Bernal Rodríguez y yo publicamos la primera lista de especies de murciélagos para esta región en el 2017, incluyendo al *C. senex*. Gracias a esto se logró llegar a más personas con información sobre la importancia de los murciélagos.

La razón principal por la que me involucré en esta investigación es que ya le veníamos siguiendo los pasos a esta especie, debido a que tiene características morfológicas particulares y muy interesantes, cuya función aún no conocemos con total certeza. Además, lo que conocíamos de su historia natural y comportamiento era muy poco.

### ¿Podría describir cómo es la zona donde ustedes encontraron a los *Centurio senex*?

-El área en donde ha sido registrada esta especie de murciélagos se ubica en la vertiente atlántica de la Cordillera de Tilarán, al noroeste del cantón de San

Ramón de Alajuela, en el distrito de Los Ángeles, con un rango de elevación de 800 a 1500 m s. n. m. Es un lugar sumamente lluvioso (entre 3550-5300 mm anuales), de mucha nubosidad y con zonas boscosas muy bien conservadas, que incluyen la Reserva Biológica Privada Villa Blanca, donde realizamos esta investigación y la Reserva Biológica Alberto Manuel Brenes (administrada por la UCR). Estas zonas están muy cerca del Bosque Eterno de los Niños, las distintas áreas de protección de Monteverde y el Parque Nacional Juan Castro Blanco. Sin embargo, esta región también ha sido altamente impactada por la acción antropogénica.

Los bosques tropicales presentes en el área son de tres tipos, de acuerdo con el Sistema Holdridge: húmedo premontano, muy húmedo premontano y húmedo montano bajo. El relieve es muy quebrado y contiene una diversidad biológica y paisajística altísima, que aún necesita ser estudiada con mayor detalle.

### ¿Qué fue lo más interesante de este descubrimiento para usted como investigador?

-Poder describir por primera vez en un murciélago neotropical el comportamiento de *lek*, que además es raro en estos animales. Describir la interacción y el comportamiento de machos y hembras, y su complejidad, ha sido muy satisfactorio y sobre todo un reto, porque no es una tarea sencilla, en especial en una especie como *C. senex*, de la cual tenemos un conocimiento sobre su biología muy escaso. Fue muy interesante ver el uso de estructuras sobre las que únicamente teníamos algunas hipótesis de su función (como la capucha de piel en los machos) o los distintos comportamientos en las perchas de los machos, posiblemente para atraer a las hembras o defender su posición. Aún quedan muchas preguntas e incógnitas por resolver, muchas de ellas generadas durante esta investigación.



El país requiere un debate nacional sobre cómo debe realizarse la compensación, cuáles metodologías emplear y cómo debe evaluarse. Fotos: cortesía de Fabián Bonilla.

# Compensación ambiental: un debate pendiente

**Investigadores de la UCR promueven una discusión sobre la compensación ambiental en Costa Rica, la cual involucre a distintos actores del Gobierno, la sociedad civil y la academia.**

*Fabián Bonilla Murillo, investigador del Instituto Clodomiro Picado de la UCR y candidato al Doctorado en Biodiversidad y Biología Evolutiva, Universidad de Valencia, España.*

En la gestión ambiental, la jerarquía de la mitigación (evitar-reducir-compensar) establece una base conceptual sobre cómo lograr la mínima alteración posible del

ambiente ante los posibles impactos de un proyecto. Según este enunciado, la compensación ambiental es una medida última, planteada como una forma de resarcir un impacto inevitable.

El principio fundamental en el que se basa la compensación ambiental es que el resarcimiento no puede ser menor al costo del impacto. De hecho, es deseable que implique una ganancia ambiental, que resulte en un entorno de mejor "calidad" al existente antes del impacto. Aquí, la acepción de "calidad" es un tanto ambigua, pero existe el consenso de que, en general, involucra una mayor riqueza de especies de interés, disponibilidad y acceso sostenible a recursos naturales, y una ausencia o disminución de agentes nocivos.

## Equivalencia ecológica

Un concepto que suele emplearse a la hora de definir el resarcimiento es el de equivalencia ecológica. Esta construcción no es precisa y tiene también varias acepciones, pero suele referirse a ecosistemas naturales o asociaciones vegetales que mantienen comunidades bióticas y procesos ecológicos similares.

Si el impacto afecta a una comunidad determinada, la compensación respectiva deberá al menos contemplar una comunidad similar, así como también el papel ecológico de sus especies al momento del impacto. Por ejemplo, si un proyecto impacta un rodal de árboles

de almendro maduros, su pérdida no podrá ser compensada por otro tanto de árboles jóvenes de almendro sembrados en otro sitio. Los árboles maduros proveen una serie de recursos (estructura, refugio, sombra, frutos, néctar, retención de suelo, mitigación de efecto de lluvia, etc.) que no son aportados por árboles jóvenes, a pesar de tratarse de la misma especie.

Por otro lado, la compensación no puede suponer que el ambiente compensado será exactamente igual al que recibe el impacto. Esto sería imposible en ambientes caracterizados por una gran heterogeneidad, como ocurre en los bosques tropicales, donde la diversidad de especies imposibilita que dos sitios contengan exactamente la misma compo-



El proyecto de explotación de energía geotérmica en el Parque Nacional Rincón de la Vieja, en Guanacaste, ha impactado una porción de esta área protegida. Foto: Laura Rodríguez Rodríguez.

sición. En esas circunstancias, lo que se espera es que el resarcimiento permita un ambiente comparable, mas no idéntico al que fue afectado.

Para realizar compensaciones por impacto ambiental no existe una metodología única que permita definir la equivalencia ecológica de manera universal. Por el contrario, se han empleado distintos procedimientos para encarar diferentes situaciones de impacto y las metodologías adoptadas en distintos países también varían. A pesar de ello, un punto en el que convergen muchos de esos procedimientos es que el resarcimiento se basa en una sustitución del área superficial; es decir, el área impactada es reemplazada por un área determinada con características equivalentes desde el punto de vista ambiental.

## Vacío legal y técnico

En Costa Rica, las referencias legales sobre el resarcimiento ambiental son muy generales y el marco establecido carece de especificidad sobre la compensación en este campo.

La compensación ambiental, normalmente, ha sido confundida con la mitigación y no se ha realizado un debate y análisis adecuados. Por tanto, las directrices en este tema no especifican con claridad cuándo y cómo debe realizarse la compensación, cuáles metodologías emplear ni cómo debe evaluarse.

Algunos reglamentos tocan de manera tangencial este asunto, como el *Procedimiento para la presentación de medidas compensatorias de la Setena* (ASA-377-2011) o el decreto ejecutivo número 31849-Minae-MAG-MEIC, el cual, en el artículo 52, define las medidas compensatorias como “acciones que retribuyen a la sociedad o la naturaleza, o a una parte de ellas, por impactos ambientales negativos, por impactos acumulativos de tipo negativo, ocasionados por la ejecución y operación de una actividad, obra o proyecto”.

Sin embargo, estas acciones parecen estar enmarcadas en un valor económico y no ecológico. Por ejemplo, según el acuerdo número 21-2011 de la comisión plenaria (CP-042-2011-Setena), los impactos de un proyecto podrían ser sufragados por acciones como planes de reforestación, creación de reservas

forestales, reproducción de especies de flora y fauna, programas de educación ambiental y programas de ayuda a la sociedad civil, entre otros, siempre que la inversión sea equivalente a lo dispuesto en la valoración económica compensatoria dispuesta por el Estado. Claramente, estas acciones no siempre corresponderían a un mejoramiento del ambiente impactado.

Como consecuencia, no se dispone de mayor experiencia en los procedimientos para establecer la compensación ambiental ante los impactos de los macroproyectos. Esta situación es particularmente problemática en caso de que el impacto afecte parajes naturales, en especial si estos se encuentran asociados a las áreas silvestres protegidas.

## Compensación y conservación

La Ley de Biodiversidad indica que las áreas silvestres protegidas (ASP) son espacios definidos, declarados de forma oficial y designados a alguna categoría de manejo en virtud de su importancia natural

o socioeconómica, pero que —como regla general— cumplen con objetivos de conservación.

Los parques nacionales, las reservas biológicas y los refugios de vida silvestre son las categorías de manejo más conocidas y restrictivas entre las ASP de nuestro país.

La mayoría de estas áreas, establecidas hace más de 30 años, han sido claves para el mantenimiento de la biodiversidad, como fuentes de recursos energéticos e hídricos y como atractivos turísticos con significativos aportes a la economía nacional.

A pesar de sus múltiples beneficios, las ASP no han estado exentas de amenazas, impactos y presiones que han ido en franco crecimiento durante estas décadas. Dado el aumento de la población humana y el modelo de desarrollo económico, es esperable que en el futuro esta presión se incremente.

Algunos ejemplos recientes son la explotación de energía geotérmica en el Parque Nacional Rincón de la Vieja, la propuesta de inundar más de

**Continúa en la página 8**



Las áreas silvestres protegidas y su biodiversidad pueden ser afectadas por el desarrollo de proyectos económicos. De ahí la necesidad de contar con herramientas para realizar los resarcimientos ambientales adecuados. Foto: Laura Rodríguez Rodríguez.

100 hectáreas en la Reserva Biológica Lomas de Barbudal de establecerse el proyecto Paacume y el establecimiento del Puesto Fronterizo Las Tablillas (Los Chiles, Alajuela) en un área previamente asignada como parte del Refugio de Vida Silvestre Corredor Frontera Norte.

En todos estos casos, el impacto de un proyecto declarado de interés nacional afecta una porción de una ASP que se supone fue previamente designada para mantener la biodiversidad de manera natural.

La razón última de por qué estas ASP pueden ser afectadas por estos proyectos de desarrollo se sustenta en razones legales, mediante el artículo 38 de la Ley Orgánica del Ambiente, que establece la posibilidad de modificar los límites de las áreas silvestres protegidas. Mientras ese portillo legal exista, la posibilidad de afectar estos sitios y alterar sus límites es real y de allí la urgencia de afrontar esta situación de una manera responsable y basada en evidencia.

Así las cosas, investigadores de la Universidad de Costa Rica (UCR) y de la Organización para Estudios Tropicales (OET) hemos realizado esfuerzos por implementar metodologías que permitan identificar y estimar áreas ambientalmente adecuadas para resarcir los potenciales impactos dentro de las ASP en los casos mencionados.

Este trabajo revela la urgente necesidad de establecer mecanismos idóneos, tanto para la valoración de impactos en las ASP, como para alcanzar compensaciones favorables por ellos. Sin embargo, somos conscientes de que los procedimientos seguidos para compensar por pérdidas inevitables han sido desarrollados para cada situación particular por los distintos actores involucrados en el manejo y protección de las áreas silvestres afectadas, sin que exista un consenso sobre cómo abordar la compensación en todo el país.

A la fecha, la Secretaría Técnica Nacional Ambiental (Setena), el Sistema Nacional de Áreas de Conservación (Sinac)

y las organizaciones no gubernamentales de corte ambientalista no cuentan con protocolos claros de cómo y cuándo abordar los impactos en zonas protegidas, ni cómo proceder para compensarlos. Esta situación supone un vacío no solo en cuanto al abordaje técnico, sino también respecto al sustento legal de las acciones de compensación.

Como instrumentos de evaluación y análisis sobre los cuales basar las decisiones de manejo, los estudios de compensación pueden ayudar a solventar estos vacíos. Requerimos estrategias metodológicas consensuadas, que integren variables e indicadores apropiados y que puedan completarse tomando en cuenta las restricciones de tiempo y presupuestos que suponen los estudios ambientales.

Por esta razón, promovemos un debate técnico sobre la compensación ambiental, que involucre a distintos actores del Gobierno, la sociedad civil y la academia. Esto permitiría identificar

estrategias e indicadores apropiados para realizar resarcimientos favorables desde el punto de vista ambiental y establecería los lineamientos que deberían ser contemplados ante las eventuales afectaciones de proyectos en las ASP.

Es imperativo establecer estos procedimientos ante el evidente incremento de la presión sobre nuestros recursos naturales y la biodiversidad, tanto en áreas protegidas como fuera de ellas. El recientemente creado Centro de Investigaciones en Biodiversidad y Ecología Tropical (Cibet) de la UCR podría ser un canal pertinente para liderar un proceso de esta naturaleza desde la academia.

En conclusión, hay un debate pendiente en el tema de compensación ambiental para el país. Como académicos, podríamos apoyar esta discusión junto con otros actores, para pronto contar con una herramienta robusta que permita realizar los resarcimientos ambientales de manera clara, oportuna y sostenible. ■