



Jaguar:  
riesgo de tener  
que instalarse  
en áreas poco  
ideales





# El futuro de la naturaleza y de la agricultura

Modelos matemáticos ayudan a prever los efectos del calentamiento global en Brasil

MARIA GUIMARÃES

Publicado en octubre 2009

**D**e aquí a un siglo, los cambios climáticos prometen causar alteraciones profundas en la naturaleza y en la agricultura brasileña. Es posible que el jaguar, el mayor felino de las Américas, no encuentre áreas ideales para vivir en Amazonia. El Cerrado, la sabana brasileña, por su parte, puede desaparecer completamente del oeste del estado de São Paulo. Y las pérdidas en el cultivo de soja en Brasil corren el riesgo de llegar al 40%, o sea, a un perjuicio anual de 4,3 mil millones de reales. Esas son algunas de las proyecciones hechas por investigadores preocupados con las transformaciones en el clima proyectadas por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, IPCC). Lo que permite a los ecólogos y agrónomos quitar los ojos del presente y apuntar al futuro son modelos matemáticos que buscan resumir en pocos parámetros las condiciones ambientales esenciales para cada especie y simular lo que puede suceder con el clima en diferentes escenarios de concentración de gases en la atmósfera.

“Las unidades de conservación actuales puede que no sirvan para preservar las especies”, advierte Paulo De Marco Júnior, de la Universidad Federal de Goiás (UFG), quien junto a José Alexandre Diniz-Filho, dirige el Laboratorio de Ecología Teórica y Síntesis, uno de los principales grupos

brasileños de investigación que utiliza modelos ecológicos. Para el ecólogo de la UFG, no sirve de nada seleccionar un área de selva a ser protegido si, en el futuro, tiene pocas oportunidades de albergar la diversidad biológica que se desea mantener. Es el caso del jaguar (*Panthera onca*), tema del doctorado de Natália Tôrres bajo la dirección de tesis de Diniz-Filho.

A partir de 1.053 registros de jaguares de la base de datos del Instituto Onça-pintada, Natália definió, con base en parámetros de precipitación y temperatura, las condiciones climáticas ideales para los jaguares. Aunque puedan vivir en ambientes muy variados, desde las selvas densas, húmedas y oscuras del corazón de la Amazonia hasta la aridez de la región de Caatinga brasileña, estudios con trampas fotográficas y monitoreo de esos grandes felinos revelan que prefieren selvas más cerradas y áreas próximas a cursos de agua, con temperaturas entre 20 y 25 grados Celsius (°C) y lluvia durante la mayor parte del año. El modelo pasó en la primera prueba: fue producido con base en la distribución actual de los jaguares y enseguida aplicado a las condiciones climáticas del pasado. La distribución encontrada en ese ejercicio de previsión del pasado coincide con los datos históricos, de cuando los jaguares circulaban prácticamente por todo Brasil, en un área dos veces mayor que la actual, y formaban parte del imaginario popular.

## De nada sirve proteger un área de selva si en el futuro tiene pocas oportunidades de albergar la diversidad biológica que se desea mantener

Los datos de Natália fueron publicados a finales de 2008 en la revista *Cat News* y prevén para los próximos 100 años una reducción grande en las áreas más adecuadas para los jaguares. En la Amazonia, por ejemplo, esas zonas ideales podrán estar restringidas al llamado arco de deforestación, que incluye el norte del estado de Mato Grosso y el sur del estado de Pará, donde hay mayor presión por el cultivo de soja y de caña de azúcar. El desafío ahora es encontrar por allí áreas capaces de sostener poblaciones de esos grandes predadores y que puedan ser conservadas.

“Es importante resaltar que el modelo indica el potencial éxito de la especie, no donde ella necesariamente estará”, recuerda Natália, que añadirá al modelo climático informaciones más detalladas, como el tamaño de las manchas de vegetación. Con eso, pretende indicar áreas prioritarias para la conservación del jaguar. En el sur de la Amazonia, un área prometedora se encuentra a lo largo del río Araguaia, que nace en el límite entre el estado de Mato Grosso y el estado de Goiás y se extiende para el norte hasta desembocar en el río Tocantins, en el punto de encuentro de los estados de Maranhão, Pará y Tocantins. “Allí aún existen áreas bien conservadas”, cuenta Natália, “y es un corredor importante para el jaguar porque conecta la Amazonia y el Cerrado” y coincide con parte del área que debe mantenerse ideal para el jaguar en el futuro, pronóstico que debe ser mejorado por análisis más detallados. El climatólogo Carlos Nobre, del Instituto Nacional de Investigaciones Espaciales (Inpe), se sorprende de que el modelo no destaque la permanencia de jaguares en el oeste de la Amazonia. “Todos los modelos preveem que allí habrá selvas densas y húmedas”, afirma.

La investigadora no olvida que el jaguar es capaz de vivir en ambientes muy diferentes y, por lo tanto, la reducción de áreas ideales no significa necesariamente el fin de esos felinos. “Los cambios climáticos no deben afectar

a la distribución general”, reflexiona, “pero, si la calidad del ambiente tuviera efecto sobre la abundancia de los animales, puede ser preocupante para la pervivencia de las poblaciones a largo plazo”. La investigadora busca ahora reunir informaciones para sugerir áreas de conservación, que deberán necesariamente tener en cuenta el tamaño de las áreas restantes, los grandes depredadores necesitan mucho espacio para obtener recursos suficientes.

Más sensibles a las condiciones ambientales y menos móviles, los anfibios son buenos indicadores de lo que sucede con las selvas. “Dependen de la temperatura y de la humedad del medio, por eso están restringidos a su ambiente”, dice João Giovanelli, de la Universidad Estadual Paulista (Unesp) de Rio Claro, que usó modelos ecológicos para investigar distribuciones futuras de anfibios del Bosque Atlántico, sapos restringidos a la parte alta de montañas y una rana con preferencias más flexibles.

Considerando un escenario para 2100 con el doble de gas carbónico (CO<sub>2</sub>) del que había en la era pre-industrial (una de las posibilidades previstas por otros investigadores), algunas especies de los pequeños sapos dorados del género *Brachycephalus*, del tamaño de la uña del pulgar de una persona, pueden desaparecer. Estos sapos sólo habitan áreas del Bosque Atlántico húmedo de altitud, donde el aumento de temperatura puede alterar el régimen de neblinas y eliminar gran parte de esas selvas, que pasarían a crecer decenas o centenares de metros montaña arriba, siempre que encuentren condiciones propicias. Aunque esto suceda, ese proceso de migración de la selva es dilatado y los minúsculos sapos, que parecen gotas de oro sobre las hojas que forman una alfombra en el suelo de la selva, puede que no tengan dónde esperar. Así, los *Brachycephalus* pueden perder más de la mitad de su distribución y diversas especies pueden extinguirse, según el capítulo del gru-

po de la Unesp, que incluye el zoólogo Célio Haddad, en el libro *A biología e as mudanças climáticas no Brasil*, editado por Marcos Buckridge, de la Universidad de São Paulo, y publicado el año pasado por la editora RiMa.

Giovanelli muestra también que no todas las especies saldrán perjudicadas. La rana *Hypsiboas bischoffi*, por ejemplo, puede aprovecharse de los periodos menos intensos de frío en algunas áreas del estado de Rio Grande do Sul y aumentar su distribución en un 57%.

**Ambientes móviles** - El modelado ecológico puede ayudar a prever el destino de ecosistemas completos. Es lo que hace el grupo de Carlos Nobre. “Definimos el bioma por un conjunto de parámetros climáticos, que incluyen la humedad del suelo, las temperaturas, la evapotranspiración de las plantas y la resistencia al fuego, entre otros”, explica el climatólogo. El grupo estima, por ejemplo, que a finales de este siglo Uruguay, hoy en día muy frío, podrá tener Bosque Atlántico. Los resultados, publicados en 2007 en la revista *Geophysical Research Letters*, indican también que en ciertas regiones de la Amazonia sólo resistirán plantas adaptadas a las condiciones de sabana. “Pero el modelo no permite hablar de migración de biomas, que es un proceso ecológico muy complejo y lento”, avisa.

La botánica Marinez Siqueira, del Jardín Botánico de Río de Janeiro, centró su trabajo de doctorado, dirigida por Giselda Durigan, del Instituto Forestal del Estado de São Paulo, en el efecto de los cambios climáticos sobre los árboles del Cerrado, la vegetación típica del centro de Brasil. Un resultado de ese trabajo fue el artículo publicado en 2003 en la revista *Biota Neotropica*, en el que Marinez modeló la distribución de 162 especies de árboles y previó, en 50 años, una reducción drástica del área ocupada por la mayoría de estos árboles. Las mejores condiciones para el Cerrado, deben desplazarse hacia el





RAFAEL OLIVEIRA

Sabana: clima cada vez menos propicio en la región central

sur de la región que hoy en día ocupa ese ecosistema, llegando cerca del límite entre los estados de São Paulo y Mato Grosso do Sul. Marinez detalla ahora lo que debe suceder en São Paulo, como presentó en un póster durante la Conferencia Internacional sobre Informática de la Biodiversidad que se celebró este año en Londres. En proyecciones realizadas para 2020 y 2080, muestra que las condiciones climáticas ideales para el Cerrado deberán desplazarse hacia el este del estado, cerca de Serra do Mar, hoy dominio del Bosque Atlántico. “Pero eso no quiere decir que el Cerrado vaya a invadir áreas de Bosque Atlántico.”

**E**l hecho es que la distribución de las especies, a nivel regional y local, no se define sólo por el clima. “Sólo temperatura y precipitación no definen el éxito de especies del Cerrado”, afirma la investigadora del Jardín Botánico carioca. Las especies que consiguen mantenerse en una determinada región son en parte determinadas por la capacidad de retención de agua del suelo, una ca-

tegoría de datos que no fue considerada en los modelos que ella usó. El próximo paso consistirá en cambiar eso.

Modelos más completos ayudarán a imaginar el destino de las aves del Cerrado. El ecólogo Miguel Ângelo Marini, de la Universidad de Brasilia (UnB), lideró un estudio que hizo proyecciones de dónde estarán 26 especies de aves en 2030, 2065 y 2099. De acuerdo con los resultados, publicados en junio en la página de internet de la revista *Conservation Biology*, la mayor parte de esas aves debe desplazarse, en promedio, 200 kilómetros hacia el sudeste, justamente la región más urbanizada del país. En el estado de São Paulo, por ejemplo, se estima que se conserva menos del 1% del Cerrado, original. “No sirve de nada que el clima sea bueno para las aves si la vegetación del Cerrado tarda mucho en llegar”, dice Marini, que estima una disminución de las áreas ocupadas por todas las especies estudiadas, lo que podrá hacer aún más raras las aves que ya tienen una distribución restringida. Analizando las áreas conservadas mostró, en un artículo aceptado en la revista *Biological*

*Conservation*, que las aves del Cerrado ya están poco protegidas hoy en día y en el futuro lo estarán aún menos. “Estamos identificando posibles localizaciones para nuevas unidades de conservación en regiones del estado de Minas Gerais donde existe superposición entre el clima actual y el de aquí a 50 años.”

Planificar la preservación con vistas al futuro parece ser esencial, tal vez las áreas definidas como prioritarias en el estado de São Paulo durante un *workshop* de especialistas en 2007, no tengan condiciones climáticas de albergar el Cerrado en 2080, de acuerdo con las proyecciones de Marinez. “Las áreas de Cerrado, que ya existen en el este del estado, pasan a tener una mayor importancia”, afirma. Es el caso de los enclaves de Cerrado de la zona de Vale do Paraíba, en el sector norte del estado de São Paulo, entre Serra do Mar y Serra da Mantiqueira, una región ya muy alterada por la actividad humana y donde restan pocos fragmentos de vegetación natural. Aun así, Marinez cree que merece la pena establecer áreas de conservación en esta región.



**Riesgo calculado** - Los mismos principios pueden ayudar a planificar el plantío de los principales cultivos brasileños. Es lo que la Empresa Brasileira de Investigación Agropecuaria (Embrapa) ha hecho, en colaboración con la Universidad Estadual de Campinas (Unicamp) y el Inpe, y con apoyo de la Embajada de Reino Unido. De acuerdo con una publicación coordinada por el ingeniero agrónomo Hilton Silveira Pinto, de la Unicamp, y por el ingeniero agrónomo Eduardo Assad, de Embrapa, presentada el año pasado, de no hacerse nada, el calentamiento global puede ser responsable ya en 2020 por pérdidas del orden de 7,4 mil millones de reales por año en las cosechas de granos. En 2070 ese valor puede llegar a 14 mil millones de reales por año. El informe analizó dónde se encontrarán las condiciones ideales para los nueve cultivos más representativos de Brasil, que juntos suponen el 86% del área plantada en el país: algodón, arroz, café, caña de azúcar, frijol, girasol, yuca, maíz y soja.

El grupo consideró dos escenarios. El pesimista estima un aumento de temperatura entre 2°C y 5,4°C hasta 2100, plausible si no se hace nada para reducir las emisiones. El escenario más optimista prevé un aumento de temperatura entre 1,4°C y 3,8°C hasta 2100, en el caso de que el crecimiento de la población humana se estabilice, los recursos naturales sean conservados y se reduzcan las emisiones de gases causantes del efecto invernadero. “Si Brasil permanece estable en la inacción”, provoca Hilton Pinto, “los perjuicios serán esos”. Las pérdidas en la producción de la soja, el cultivo que más debe sufrir, pueden superar los 7 mil millones de reales por año en 2070, con pérdidas de áreas cultivables sobre todo en la región sur y en el Cerrado del nordeste. A menos de 10°C las plantas casi no crecen, y a partir de 40°C no florecen normalmente y tienden a perder las vainas. Asimismo, durante la germinación y el periodo entre la floración y la producción de los granos, la soja necesita mucha agua.

Los cambios ya están sucediendo. “El café del oeste de São Paulo migró hacia el nordeste del estado, en la región de Mogi”, explica Hilton Pinto. En conversaciones con caficultores, averiguó



Girasol: área suficiente para escapar del clima inhóspito y de las plagas

EDUARDO CESAR

que desde 1995 la floración ha estado cada vez más comprometida por olas de calor en meses normalmente poco calientes, como septiembre, lo que causa aborto de flores. Pero los daños no serán generalizados. “A la caña de azúcar le gustan las temperaturas cálidas y concentraciones más altas de CO<sub>2</sub>”, recuerda. Según sus cálculos, aunque no se haga nada para adaptar ese cultivo a las nuevas condiciones, el área adecuada para su producción puede aumentar en cerca de 150% ya en 2020.

El grupo estima ahora cuánto necesitará invertir Brasil en la producción de plantas adaptadas a las nuevas condiciones. Según el ingeniero agrónomo de la Unicamp, cada nuevo cultivo cuesta un millón de reales por año. Los datos están en una nueva publicación, centrada en mitigación y adaptación, que debe ser publicada este mes. Como lleva por lo menos diez años para desarrollar una nueva variedad, la cuenta sube a 10 millones de reales para cada una de ellas.

Las proyecciones pueden tener aplicación directa en la práctica por medio del Zoneamiento de Riesgos Climáticos, que estima los riesgos de plantío de cada cultivo para cada municipio del país, una probabilidad de éxito de por lo menos 80% califica al agricultor para obtener financiación. “Es un sistema que vale 19 mil millones de reales en financiación de la agricultura familiar”, comenta el investigador.

A pesar de tener una producción pequeña en Brasil, el girasol es una de las plantas con mayor área potencial para plantío, cerca de 4,4 millones de kilómetros cuadrados, área que debe ser reducida hasta en 18% hasta 2070 principalmente en la zona Agreste y en el Cerrado del nordeste de Brasil. Más que los cambios climáticos, la amenaza para ese cultivo son las orugas de la mariposa *Chlosyne lacinia*, que comen sus hojas y causan una caída de la productividad de hasta 80%. Ese insecto conocido en Brasil como “plaga de girasol” fue el tema del trabajo de la bióloga Juliana Fuertes, de la Universidad Federal de Viçosa, en colaboración con De Marco. En el trabajo, una tesis de maestría dirigida por Evaldo Vilela, la investigadora tomó un escenario que prevé un aumento de 2,6°C en los próximos 100 años. Juliana verificó que producir el modelo teniendo en cuenta la especie como un todo puede llevar a errores en la distribución prevista, porque en el caso de esas mariposas cada subespecie tiene exigencias ambientales diferentes, y sólo *C. lacinia saundersii*, más común en Brasil, es conocida como “plaga de girasol”.

Si fueran reales, los cambios climáticos pueden ser una buena noticia para el girasol: debe disminuir la superposición entre la oruga y las áreas adecuadas para el plantío de las flores amarillas ricas en aceite. Pero la tesis, aprobada este año, también alerta: si la subespecie *C. lacinia lacinia*, típica



de América Central, fuese introducida en Brasil, podría aprovecharse de los cambios del clima y adaptarse a buena parte del centro y del nordeste del país. “Si eso sucede, en vez de una disminución del área en el futuro, la posible hibridación de la subespecie *lacinia* con la *saundersii* puede significar el aumento del área de la especie en Brasil”, imagina Juliana, temiendo mayores daños al girasol.

**Futuro en construcción** - El uso de modelos está cada vez más diseminado y puede ser una herramienta esencial para hacer frente a los cambios climáticos, pero aún están siendo mejorados a medida que el conocimiento crece. Hay decenas de modelos diferentes y cada uno da un peso distinto a las diferentes variables climáticas. Lo que muchos investigadores hacen es aplicar varios de esos modelos y usar los consensos entre ellos para producir los mapas de futura distribución. “Nuestro trabajo es suministrar proyecciones del futuro clima”, dice el climatólogo José Antonio Marengo, coordinador del grupo de cambios climáticos del Centro de Ciencia del Sistema Terrestre, del Inpe. Allí un equipo interdisciplinar mejora constantemente los modelos, insertando más datos y mejorando la representación matemática de los complejos procesos que suceden en la naturaleza. “Los modelos son herra-

mientas matemáticas, y todo modelo tiene incertidumbres.” Para él, es preciso tener esa incertidumbre en cuenta para saber donde son más seguras las proyecciones, incluso para buscar maneras de mejorar el modelo donde éste no funcione. Su equipo usa datos e informaciones, tanto nacionales como internacionales, para desarrollar modelos regionales que suministren más detalles sobre el clima de Brasil y de América del Sur, pero aún no ha sido posible llegar al nivel de detalle deseado para el país entero. “La confiabilidad de las proyecciones tiende a ser relativamente más pequeña en el centro-oeste y en el interior de la región sudeste, porque algunos procesos de zonas continentales aún no son bien representados en los modelos”, afirma. “Y el Pantanal representa dificultades aún mayores, porque los modelos no funcionan bien con las emisiones y la representación hidrológica de un pantano de aquellas dimensiones.”

Marengo afirma que el Inpe trabaja con modelos que conoce en detalle, pero es difícil obtener datos climatológicos de ciertas regiones en largas series de tiempo, de alta calidad y con registros diarios, necesarios para el estudio de extremos climáticos. “Si tuviéramos bases de datos más finas, podríamos hacer análisis más detallados, en la escala de una cuenca en el estado de São Paulo, por ejemplo”, dice De Marco. Además

Asimismo, es necesario conocer los diversos modelos a fondo. “No sirve de nada apretar el botón y ver la respuesta”, cuenta Giovanelli. “Es necesario conocer el funcionamiento del modelo y la base de datos disponible sobre la especie para saber si estos serán compatibles con la pregunta que hacemos.”

Otra dificultad enfrentada por los modelos es ecológica: los lugares donde una especie existe no son necesariamente los únicos donde ella podría existir. Así como Marinez Siqueira no puede estar segura de que el Cerrado invadirá áreas de Bosque Atlántico, los jaguares pueden conseguir vivir bien en áreas menos propicias y los sapos de las montañas tal vez no sufran tanto como se espera con los cambios climáticos, según Haddad, ya hay registros de anfibios típicos del Cerrado encontrados en pleno Bosque Atlántico. Para Paulo De Marco, eso no llega a ser un problema. “Hacemos proyecciones para el futuro usando especies para las cuales tenemos datos suficientes para representar su distribución y su ecología”, afirma. “Asimismo, los trabajos actuales muestran que el nicho ecológico actual de una especie da una buena previsión del nicho futuro”. Eso en situaciones normales. El ecólogo de Goiás explica que especies invasoras, que cambian súbitamente de hábitat, rápidamente se adaptan a las nuevas condiciones.

El conocimiento proveniente de esas proyecciones torna las herramientas más confiables para hacer frente a los cambios ambientales causadas por el hombre que incluyen también los efectos amplificados de la deforestación. ■

CHARLES DUCA / CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VILA VELHA



Tangará ñu: migración hacia el sudeste y menos hábitat adecuado

#### Artículos científicos

1. MARINI, M.A. *et al.* Predicted climate-driven distribution changes and forecasted conservation conflicts in a neotropical savanna. **Conservation Biology**. 2009.
2. SALAZAR, L.F. *et al.* Climate change consequences on the biome distribution in tropical South America. **Geophysical Research Letters**. v. 34. 2007.
3. SIQUEIRA, M.F. de; PETERSON, A.T. Consequences of global climate change sea geographic distributions of Cerrado tree species. **Biota Neotropica**. v. 3, n. 2. 2003.
4. TÔRRES, N.M. *et al.* Jaguar distribution in Brazil: past, present and future. **Cat News**. Autumn 2008.