

CARRETERA A LA RUINA: LA EXPANSIÓN DE LAS REDES DE TRANSPORTE PONE EN PELIGRO LA BIODIVERSIDAD GLOBAL

WILLIAM F. LAURANCE

Es investigador permanente del Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales en Panamá, y próximamente ocupará una cátedra de investigación en la Universidad James Cook de Cairns, Australia. Su labor investigadora se centra en los efectos de la sobreexplotación agrícola, la fragmentación de los hábitats y la deforestación en los ecosistemas tropicales, así como en los fenómenos de cambio global y las políticas de conservación del medioambiente. Laurance se doctoró en la Universidad de California, Berkeley en 1989, y trabajó como investigador en la Australia tropical antes de unirse al Smithsonian Institute en 1996. Sus trabajos se centran en la Amazonia, el África central y Australasia. Ha publicado cinco libros y más de 300 artículos científicos y de divulgación. Defensor público de la conservación, está convencido de que los científicos deben defender su causa ante los legisladores, el público general y el resto de la comunidad científica. Ha recibido numerosos premios, y es miembro de la American Association for the Advancement of Science. También ha sido presidente de la Association for Tropical Biology and Conservation, la organización científica dedicada al estudio y la preservación de los ecosistemas tropicales más grande del mundo.

«Lo mejor que podría hacerse por la Amazonia es bombardear todas las carreteras»

Dr. ENEAS SALATI,
director técnico del Instituto Brasileño
de Desarrollo Sostenible, Río de Janeiro

«Las autopistas son la semilla de la destrucción del bosque tropical»

Dr. THOMAS E. LOVEJOY,
director de biodiversidad del Heinz Center for Science,
Economics, and the Environment, Washington, D.C.

«Las carreteras están matando al elefante africano de bosque»

Dr. STEPHEN BLAKE,
ex director del programa MIKE (Vigilancia de las
Matanzas Ilegales de Elefantes) en el África central

DENOSTANDO LAS CARRETERAS

Como ilustran las citas incluidas arriba, los científicos especializados en medio ambiente no tienen en general una opinión muy positiva sobre la presencia de carreteras y autopistas en las proximidades de ecosistemas naturales. Se trata de una perspectiva radicalmente distinta de la que sostienen muchos economistas y responsables regionales de obras, que por lo general ven con muy buenos ojos la accesibilidad a regiones fronterizas gracias a las nuevas carreteras (Simuyemba 2001; Duval 2008). ¿Por qué se da esa diferencia tan drástica de percepciones?

Voy a evaluar aquí el impacto de las carreteras desde un punto de vista medioambiental amplio. Para empezar, voy a describir cómo y por qué la globalización económica fomenta una rápida expansión de las carreteras en muchas áreas donde antes no las había. Después detallaré los múltiples impactos de las carreteras en los ecosistemas y la vida salvaje. Por último, consideraré algunas estrategias que reducirían el impacto y la extensión de las carreteras. Como quedará patente muy pronto, mi opinión sobre las carreteras es fuertemente ambivalente, ya que, si por un lado son necesarias en nuestra vida contemporánea, por otro pueden resultar ecológicamente devastadoras.

Antes de seguir quisiera hacer unas aclaraciones. Primero, en sentido funcional puede haber una gran diferencia entre una *autopista* (una importante vía asfaltada que da acceso a una región durante todo el año) y una *carretera* (que suele ser más pequeña, y no necesariamente asfaltada). No obstante, para simplificar usaré el término *carretera* en los dos casos. Ambas son ejemplos de infraestructuras lineales, lo que también incluye el tendido eléctrico, los gaseoductos, las vías de ferrocarril y los canales. Todas esas infraestructuras son en la actualidad huecos omnipresentes de la actividad humana.

En segundo lugar, me centraré exclusivamente en países tropicales, ya que son las áreas que mejor

conozco, después de haber vivido y trabajado en ellas durante casi tres décadas. Y, lo que es más importante, los países tropicales albergan la mayor parte de la biodiversidad del mundo, con al menos la mitad de las especies del planeta en tan sólo un 7% de su superficie (Primack 2006), y son los países en los que la red de carreteras se expande con más rapidez.

CARRETERAS Y BIODIVERSIDAD DEL BOSQUE TROPICAL

El impacto medioambiental de las carreteras y otras infraestructuras lineales sobre los hábitats naturales de todo el mundo es enorme (Forman y Alexander 1998; Trombulak y Frissel 2000), pero la selva tropical parece especialmente vulnerable (Laurance *et al.*, en prensa).

En primer lugar porque, desde una perspectiva biológica, las selvas tropicales tienen una arquitectura compleja y un microclima estable con características únicas de humedad y oscuridad. Dan sustento a muchas especies animales especializadas en vivir en el interior del bosque y bajo la cobertura arbórea (véase la figura 1), algunas de las cuales evitan, junto con las zonas de claros, los abruptos bordes del bosque, y raramente cruzan ni siquiera las zonas abiertas más pequeñas. Otras especies tropicales se ven amenazadas por la caza, son atropelladas por vehículos en las carreteras o sufren una elevada depredación e invasiones de otras especies cerca de las carreteras. La consecuencia es que, en virtud de sus características únicas, así como de la abundante especialización biológica, los bosques tropicales son excepcionalmente vulnerables a las carreteras y otras talas lineales.

En segundo lugar, desde una perspectiva socioeconómica, los bosques tropicales se concentran sobre todo en países en desarrollo, muchos de los



FIGURA 1

Hay un gran número de especies que, como esta comadreja lemuroide blanca (*Hemibelideus lemuroides*) del norte de Queensland, Australia, están especialmente adaptadas a la oscuridad y la humedad de los bosques tropicales (foto © Michael Trenerry).

**EL IMPACTO
MEDIOAMBIENTAL
DE LAS CARRETERAS
Y OTRAS
INFRAESTRUCTURAS
LINEALES SOBRE
LOS HÁBITATS
NATURALES DE TODO
EL MUNDO ES ENORME,
PERO LA SELVA
TROPICAL PARECE
ESPECIALMENTE
VULNERABLE.**

NOMBRE Y SITUACIÓN*	SINOPSIS DEL IMPACTO
CARRETERAS EXISTENTES	
AUTOPISTA BELÉM-BRASILIA, BRASIL	Asfaltada en la década de los sesenta, esta autopista de 1.500 km atraviesa la Amazonia oriental con una franja de 400 km de ancho
AUTOPISTA CUIABÁ-PORTO VELHO, BRASIL	Esta autopista de 1.500 km, financiada por el Banco Mundial, se encuentra en el origen de la creciente pérdida de masa forestal en el sudoeste de la Amazonia
AUTOPISTA CUIABÁ-SANTARÉM, BRASIL	Visible como una línea de fuego por la noche, esta autopista recientemente asfaltada penetra 1.200 km en el corazón de la Amazonia
CARRETERAS PETROLERAS EN ECUADOR	Las carreteras asociadas a los dos oleoductos de 400 km han abierto amplias zonas de la Amazonia ecuatoriana a la colonización destructiva, afectando en gran medida a los grupos indígenas
CARRETERA DE SAMLING, SARAWAK, MALASIA	Esta carretera de 300 km, construida recientemente por la empresa maderera Samling Timber Company, pone el norte de Sarawak, en Borneo, en manos de la industria maderera
CARRETERA TRONCAL DE ANDAMÁN, ISLAS ANDAMÁN, LA INDIA	Con sus 420 km atravesando las cuatro islas vecinas, esta autopista generó una masiva deforestación, así como una fuerte respuesta social entre las comunidades indígenas de las islas
CARRETERA DUALA-BANGUI, CAMERÚN-REPÚBLICA CENTROAFRICANA	Terminada en 2003, esta autopista atraviesa 1.400 km del noroeste de la cuenca del Congo, y ha traído consigo talas masivas, caza furtiva y deforestación
CARRETERAS EN CONSTRUCCIÓN O PREVISTAS	
AUTOPISTA MANAOS-PORTO VELHO, BRASIL	Esta autopista asfaltada de 900 km unirá la Amazonia central, aún casi virgen, con importantes concentraciones humanas del Sur
AUTOPISTA TRANSOCEÁNICA, PERÚ-BOLIVIA-BRASIL	Esta triple autopista asfaltada, que atravesará una zona ya gravemente deforestada, y de fronteras sin ley, unirá Brasil con el océano Pacífico y los lucrativos mercados de China
CARRETERA TRANS-CONGO, REPÚBLICA DEMOCRÁTICA DEL CONGO	Financiada por China, esta carretera de 1.600 km atravesará la cuenca del Congo del sudeste al noroeste, dando acceso a ricos recursos minerales y forestales
PASILLO ECONÓMICO NORTE-SUR, INDOCHINA	Esta autopista de 1.500 km proporcionará a los agresivos importadores de maderas de China una conexión directa con Laos, Camboya, Tailandia y Birmania, cuyos bosques desaparecen rápidamente
PLAN DE CARRETERAS DE LEUSER, SUMATRA, INDONESIA	Esta red de 450 km de carreteras nacionales y 1.200 km de carreteras secundarias podría dejar los últimos bosques del norte de Sumatra a merced de las talas ilegales, la caza furtiva y la deforestación
CARRETERAS DE LA CUENCA DEL RÍO MAMBERAMO, PAPÚA, INDONESIA	Esta red de carreteras de financiación china atraviesa de lado a lado 1.400 km de selva virgen en el noroeste de Nueva Guinea

CUADRO 1

Carretera a la ruina. Una muestra de las carreteras tropicales existentes más destructivas ambientalmente, las que se están construyendo y las que se prevén a corto plazo.

*

Recopilado a partir de publicaciones avaladas por el examen de expertos, informes técnicos y consultas con investigadores, organizaciones ecologistas y páginas conservacionistas como <http://www.mongabay.com>.

cuales están experimentando un fuerte crecimiento demográfico, un rápido desarrollo económico y una explotación intensiva de los recursos naturales. En consecuencia, la construcción de carreteras se ha desbocado. Brasil, por ejemplo, acaba de desgarrar el corazón de la Amazonia con una autopista de 1.200 km de longitud (la BR-163), y ha puesto en marcha la construcción de otra autopista de 900 km (la BR-319), que atravesará zonas de bosque casi virgen. Otra red de nuevas autopistas se está trazando a través de los Andes para unir la Amazonia con el Pacífico. En Sumatra, nuevas redes de carreteras les dan acceso a madereros y cazadores sin escrúpulos a los últimos restos de bosque de la isla. Un estudio reciente descubrió 52.000 nuevos kilómetros de pistas forestales en la cuenca del Congo (LaPorte *et al.* 2007). Y éstos no son más que unos pocos ejemplos de las numerosas carreteras y autopistas nuevas que van traspasando las últimas fronteras tropicales del mundo (véase el cuadro 1).

GLOBALIZACIÓN Y CARRETERAS

La globalización económica juega un papel cada vez más importante en la expansión de las carreteras y la deforestación tropical. El bosque tropical desaparece a un ritmo medio de 10 a 13 millones de hectáreas al año (FAO 2005), el equivalente aproximado a 50 campos de fútbol por minuto. Mientras que este ritmo se había mantenido relativamente constante durante las últimas décadas, las causas subyacentes a la deforestación han variado de forma ostensible. Desde aquella deforestación a muy pequeña escala, por lo general de supervivencia, que se observaba en la década de 1980 hasta la más reciente deforestación de carácter industrial (Geist y Lambin 2002; Rudel 2005).

Más o menos desde el final de la Segunda Guerra Mundial hasta finales de la década de los ochenta, la deforestación tropical era principalmente consecuencia de dos factores. El primero era el crecimiento explosivo de la población humana en los países en desarrollo (Myers 1993). Desde 1950 hasta 1990, por ejemplo, las poblaciones de los tres países tropicales de mayor tamaño —Brasil, Indonesia y la República Democrática del Congo— creció en conjunto más del 250%, pasando de 146 a 368 millones de habitantes (ONU 2004). El segundo factor que favorecía la deforestación residía en políticas gubernamentales de desarrollo rural como préstamos a la agricultura, incentivos fiscales, programas de colonización de bosques y construcción de carreteras rurales (Rudel 2005). Estas iniciativas, evidentes sobre todo en países como Brasil e Indonesia (Fearnside 1997), arrastraron grandes

riadas de colonos y agricultores no permanentes (véase la figura 2) más allá de los límites del bosque, y provocaron una alarmante destrucción.

Sin embargo, ese impacto de las poblaciones rurales sobre el bosque tropical parece estar estabilizándose últimamente. Aunque muchos países tropicales siguen experimentando un considerable crecimiento demográfico, la fuerte tendencia a la urbanización (excepto en el África subsahariana) hace que el crecimiento de la población rural sea más lento (véase el gráfico 1), e incluso esté retrocediendo en algunas zonas (ONU 2004). También ha caído en picado la popularidad de los programas de colonización fronteriza a gran escala (Fearnside 1997; Rudel 2005). Si estas tendencias continúan, eso podría ser un indicio de que se está aliviando parte de la presión a la que se ven sometidos los bosques por parte de las pequeñas granjas, la caza y la explotación de madera y combustibles (Wright y Muller-Landau 2006).

Al mismo tiempo, la globalización de los mercados financieros y el auge internacional de las materias primas están creando un entorno muy atractivo para el sector privado. Bajo estas condiciones, la explotación a gran escala —mediante la agricultura, la ganadería y la plantación de árboles— por parte de sociedades y ricos propietarios se está revelando cada vez más como la principal causa directa de la deforestación tropical (Rudel 2005; Nepstad *et al.* 2006a). En la Amazonia brasileña, por ejemplo, a partir de 1990 se ha disparado la ganadería extensiva, cuadruplicando la cabaña desde unos veinte hasta los actuales 80 millones de cabezas de ganado (Smeraldi y May 2008). Los cultivos industriales de soja también han proliferado notablemente en la Amazonia (Fearnside 2001). En el sudeste asiático la expansión de los cultivos industriales de caucho y palma se ha convertido en el principal factor de deforestación (Koh y Wilcove 2008). La creciente demanda de grano y aceites de consumo humano —asociados a niveles de vida más altos en los países en desarrollo—, junto con la sed global de biocombustibles, contribuye también a reforzar esa tendencia (Von Braun 2007; Scharlemann y Laurance 2008).

A menudo van de la mano la expansión de las carreteras y la demanda de nuevas tierras de cultivo. En Brasil, por ejemplo, el poderoso grupo de presión de la soja ha sido uno de los principales impulsores de la construcción de nuevas autopistas asfaltadas en el interior aún virgen de la Amazonia. Dicho grupo de presión quiere esas autopistas para poder transportar cómodamente millones de toneladas de soja hasta las orillas del Amazonas, desde donde pueden exportarse a otros países (Fearnside

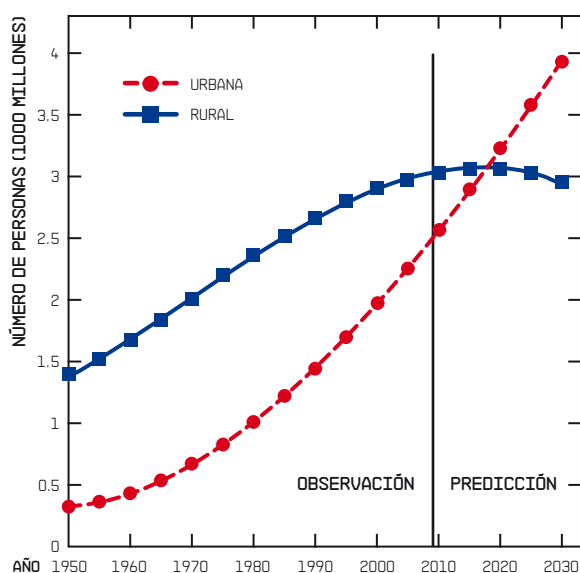


GRÁFICO 1

Cambios pasados y previstos de la población rural y urbana en países en desarrollo, establecidos a partir de los datos de la División de Población de la ONU. Los cambios están calculados para un crecimiento medio de la población (adaptado de Engelman 1998).

2001). Otras actividades industriales —sobre todo las madereras, la minería y los sectores del petróleo y el gas (véase la figura 2)— también aportan su impulso económico a la construcción de carreteras en las fronteras tropicales (Laurance 2001; Laurance *et al.* 2001; Asner *et al.* 2005; Finer *et al.* 2008).

Hay otra importante influencia de la globalización en la deforestación tropical. Históricamente, era en las naciones con mayores densidades de población donde se perdía más bosque (Wright y Muller-Landau 2006) y había más especies amenazadas (Sodhi *et al.* 2009). Sin embargo, esta relación ha ido perdiendo fuerza debido al comercio internacional (Laurance 2007a; Butler y Laurance 2008). Por ejemplo, hasta un país como Gabón, con una densidad de población media inferior a cinco personas por kilómetro cuadrado, podría estar perdiendo grandes extensiones de bosque debido a la agresiva política china de comprar enormes cantidades de madera, minerales y combustibles fósiles (Laurance *et al.* 2006a). Así pues, la globalización iría desvinculando cada vez más la densidad de población de la degradación medioambiental, en la medida en que países escasamente poblados pueden ser explotados y deforestados con rapidez.

CARRETERAS Y BOSQUE TROPICAL

Los efectos de las carreteras sobre los ecosistemas naturales pueden ser de gran alcance. Unos son consecuencias directas de su construcción, su mantenimiento y el tráfico de vehículos, mientras que otros (a menudo los más devastadores) son consecuencias directas de un mayor acceso físico al bosque (Laurance *et al.*, en prensa). Paso a resumir brevemente algunos de los principales efectos de las carreteras sobre el bosque tropical.



FIGURA 2

Los cambiantes factores de la deforestación tropical. Unos pequeños agricultores y un gran proyecto de carretera en Gabón, África central (fotos de William Laurance).



FIGURA 3
Efectos de la construcción de carreteras: (A) inundaciones y (B) grave erosión junto a las carreteras en la cuenca del Congo (fotos de William Laurance).

TRASTORNOS FÍSICOS Y CONTAMINACIÓN

En los trópicos, como en cualquier otro lugar, las carreteras pueden afectar gravemente al suelo, a los cursos de agua y a su calidad (Trombulak y Frissel 2000). Normalmente, en la construcción de carreteras se utiliza el método de corte y relleno para nivelar la topografía local. Si no se instalan desagües cada cierta distancia, las zonas de relleno impedirán el drenaje, sobre todo en regiones con una intensa estación lluviosa. Eso puede provocar inundaciones aguas arriba que destruyen la vegetación tropical (véase la figura 3a). Aguas abajo suelen producirse interrupciones del caudal, hasta el punto de que el curso llega a desaparecer.

Los cortes para la realización de las carreteras y la explotación de graveras y areneras locales son importantes causas de erosión (véase la figura 3b), ya que por cada hectárea se depositan de 35 a 500 t de sedimentos anuales en las cuencas fluviales (Bruijnzeel 2004). Esos sedimentos degradan la calidad del agua y obstruyen los cauces, matando a muchos peces, insectos acuáticos y otros ejemplares de vida ribereña.

EFFECTO BORDE Y EFFECTO BARRERA

Una carretera que corta un bosque tropical es un entorno sumamente artificial. Los bosques que flanquean la carretera suelen ser más secos, cálidos y sometidos a los vientos que los del interior. Esos cambios pueden matar árboles debido al choque térmico y el impacto del viento, al tiempo que la

mayor luminosidad a lo largo de las carreteras fomenta la proliferación de hierbas y plantas trepadoras adaptadas a condiciones difíciles (Murcia 1995; Laurance *et al.* 2002b; S. G. Laurance 2004).

Al estar ecológicamente especializados para vivir en condiciones de oscuridad y humedad, muchos de los animales del bosque tropical evitan las molestias que les provoca la presencia extraña de las carreteras y sus abruptos bordes en el bosque. Entre ellos se encuentran especies estrictamente arborícolas (como ciertos monos, perezosos y marsupiales), murciélagos del sotobosque especialmente dotados para el vuelo en entornos densos y abigarrados, aves del sotobosque (véase figura 4) con un fuerte rechazo psicológico a los claros y grandes mamíferos que rehúyen a los humanos o el ruido del tráfico (Gosem 2001, 2007; Develey y Stouffer 2001; S. G. Laurance *et al.* 2004).

Para los seres especializados del bosque tropical las carreteras pueden ser un grave impedimento a sus movimientos naturales de dispersión y flujos genéticos, condenándolos al aislamiento y la fragmentación (Laurance *et al.*, en prensa). Es de temer que esos efectos perniciosos se agraven a causa de la mayor cantidad de carreteras, que dominarán los paisajes, convirtiéndolos en territorios hostiles para los especialistas del bosque tropical. Esos factores, unidos a otros como la caza o los atropellos, pueden convertir las carreteras en un serio inconveniente para la supervivencia de ciertas especies.

FIGURA 4
Muchas aves del sotobosque, como este hormiguero cabecinegro (*Percnostola rufifrons*) de la Amazonia central, se mantienen alejadas de los claros y los bordes del bosque (foto de Susan Laurance).



ATROPELLOS Y CAZA

Muchos animales mueren al ser atropellados por vehículos en las carreteras (véase la figura 5) (Goosem 1997, 2007), al recibir disparos o al caer en trampas emplazadas junto a las carreteras. En términos de supervivencia, la elevación crónica de la mortalidad es más grave en especies raras, que se desplazan a través de grandes extensiones o que tienen índices bajos de reproducción, como los depredadores, los grandes mamíferos y las aves (Bennett y Robinson 2000).

Los atropellos están restringidos a las carreteras. Por el contrario, la caza humana puede crear zonas de elevada mortalidad de las que huyen los animales, alejándose de las carreteras hasta 10 km, y posiblemente mucho más lejos, si son especies que se desplazan en grandes áreas (Lahm *et al.* 1998; Laurance *et al.* 2006b, en prensa; Blake *et al.* 2007). Las poblaciones de elefantes africanos de bosque, por ejemplo, parecen haberse retirado hasta a 50 km de las carreteras (Blake *et al.* 2008). Cabe observar que los rasgos que predisponen a una especie a ser atropellada —como los movimientos lentos, la escasa visión y la tendencia a desplazarse en las márgenes del bosque— son muy distintos de los que convierten a estos grandes animales —fácilmente localizables por sus sistemas sociales gregarios, llamadas audibles o presencia bien visible, así como por el uso de sendas permanentes— en objetivos de los cazadores humanos y sus trampas (Laurance *et al.*, en prensa). Como puede verse, las carreteras afectan a un amplio espectro de especies con muy diversas características.

INVASIONES DE ESPECIES EXÓTICAS

Muchas especies exóticas se ven atraídas por las carreteras, que les abren amplias vías para invadir los bosques. Entre esos invasores podemos citar pequeñas hormigas de fuego (*Wasmannia auropunctata*), lombrices exóticas, vertebrados foráneos, hongos (especie *Phytophthora*) y numerosas especies de maleza (Dawson y Weste 1985; Walsh *et al.* 2004; Brown *et al.* 2007). Algunos de esos invasores están afectando considerablemente a los ecosistemas tropicales. Las pequeñas hormigas de fuego, por ejemplo, están proliferando en los bosques tropicales de África unas 60 veces más deprisa a lo largo de las pistas forestales que en el bosque intacto, y matan o dejan ciegas a especies nativas como monos, primates, leopardos e insectos (Walsh *et al.* 2004). Esas invasiones pueden darse a una velocidad sorprendente. Por ejemplo, ranas de otras zonas, hormigas cortadoras de hojas, lianas y hierbas exóticas ya están penetrando, y en grandes cantidades, en áreas remotas de la Amazonia, usando



FIGURA 5

Muchos animales del bosque tropical, como este tapir malayo (*Tapirus indicus*), mueren atropellados por vehículos (foto © Lan Ching Fong, World Wide Fund for Nature-Malaysia).

como pasillos de entrada los arcenes de las carreteras recientemente construidas (Gascon *et al.* 1999).

Las invasiones que traen las carreteras también afectan a las personas. En Ecuador, por ejemplo, los patógenos entéricos humanos son de dos a ocho veces más frecuentes en aldeas situadas junto a las carreteras que en áreas remotas (Eisenberg *et al.* 2006). Se ha observado una incidencia más alta del dengue (Dutta *et al.* 1998), la malaria (Hayes y Ferraroni 1981) y el VIH (Carswell 1987) entre las personas que habitan junto a las carreteras en la India, Brasil y Uganda, respectivamente. Al acelerar la invasión de nuevos patógenos potencialmente letales, las carreteras que penetran hasta límites remotos también amenazan a los grupos indígenas que tratan de vivir con el mínimo o ningún contacto exterior. Por ejemplo, las carreteras y las nuevas enfermedades infecciosas que acarrear han llevado a los amerindios suruí de la Amazonia brasileña al borde de la extinción (Butler 2009).

INVASIONES HUMANAS

En los trópicos las carreteras facilitan enormemente las invasiones de cazadores, mineros, colonos y especuladores, un fenómeno conocido como *efecto caja de Pandora* (Laurance 1998). En la Amazonia brasileña, por ejemplo, casi un 95% de la deforestación y los incendios se produce a menos de 50 km de las autopistas y carreteras (véase, por ejemplo, la figura 6) (Laurance *et al.* 2001). En Surinam

FIGURA 6

Las carreteras aceleran la destrucción del bosque.

A) Íntima relación entre carreteras fronterizas y deforestación en la Amazonia brasileña (imagen de la NASA).

B) Acumulación de incendios forestales (en rojo) y deforestación (en amarillo) junto a las carreteras del norte de Bolivia en 1997 (imagen de Marc Steininger, Conservation International).

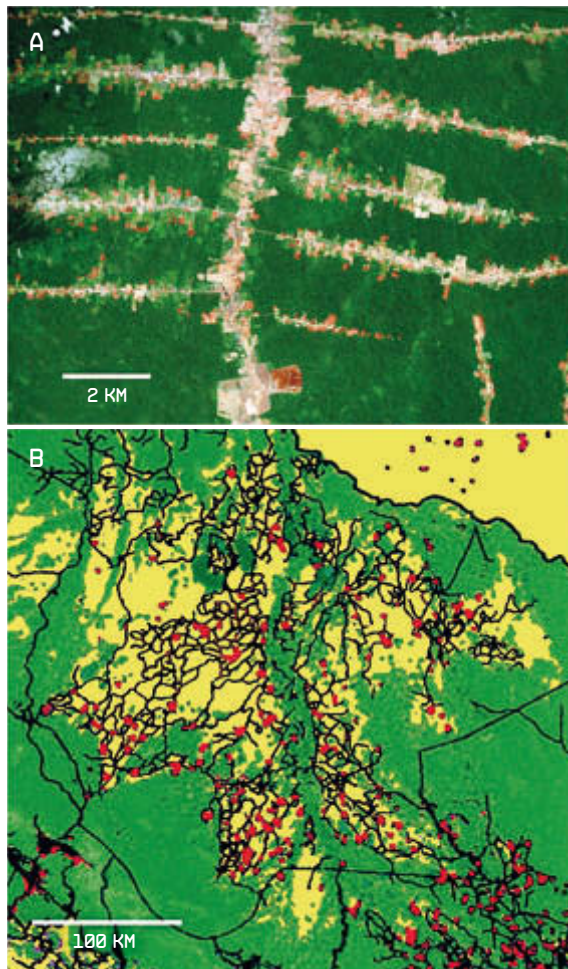
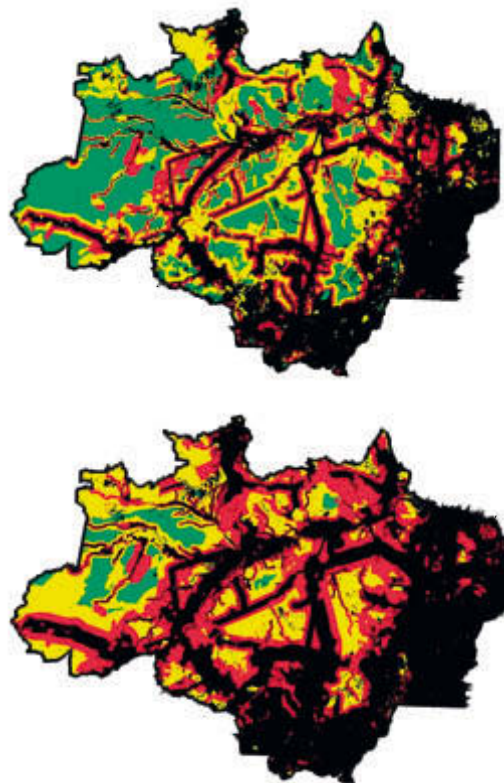


FIGURA 7

Como ilustran estos dos escenarios posibles, uno *optimista* (arriba) y otro *pesimista* (abajo), los bosques de la Amazonia brasileña se verán profundamente afectados por las carreteras existentes y las previstas, estén o no estén asfaltadas. Ambas predicciones nos muestran la cobertura arbórea prevista para 2020. Las áreas en negro indican zonas de deforestación o grave degradación, mientras que las que están en rojo, amarillo y verde pueden ser moderadamente degradadas, levemente degradadas y vírgenes, respectivamente, según el modelo informático aplicado (tomado de Laurance *et al.* 2001).



la mayoría de las extracciones ilegales de oro se da junto a las carreteras (Laurance 2008), mientras que en el África tropical la caza se intensifica de tal manera junto a las carreteras que está afectando gravemente a los movimientos de las poblaciones de elefantes de bosque, búfalos, antílopes, primates y otras especies (Lahm *et al.* 1998; Laurance *et al.* 2006b; Blake *et al.* 2007, 2008). Las carreteras pueden incrementar de forma significativa el comercio de carne y otros productos procedentes de la fauna salvaje. Por ejemplo, se transporta una media de ocho mamíferos muertos por hora en una sola autopista de Célebes, Indonesia (Lee *et al.* 2005).

Muchas regiones tropicales antes remotas, como la Amazonia (Laurance *et al.* 2001), la cuenca del Congo (LaPorte *et al.* 2007), Nueva Guinea (Shearman *et al.* 2009) y Borneo (Curran *et al.* 2004), están ahora cercadas por redes de carreteras en expansión, destinadas sobre todo a explotaciones madereras y actividades de extracción de petróleo, gas y minerales. Al facilitar el acceso a los bosques durante todo el año, las autopistas asfaltadas afectan mucho más a la naturaleza y a la vida salvaje que las que no están asfaltadas (Laurance *et al.* 2002a; Fearnside 2007; Soares-Filho *et al.* 2006), ya que éstas resultan impracticables durante la estación lluviosa.

Al abrir nuevas tierras a la colonización, la proliferación de carreteras fronterizas también puede hacer caer el precio de la tierra en toda la región (a pesar de que el precio de las tierras situadas junto a las carreteras normalmente sería más alto, por su mejor acceso a los mercados). Con las tierras más baratas, sus propietarios no se sienten incentivados a invertir en usos más sostenibles (Laurance *et al.* 2001). En la Amazonia, por ejemplo, predominan los métodos que hacen uso del fuego, como la tala y la quema para el cultivo, o la quema de bosques para la ganadería extensiva y la producción de carbón. Estos métodos a base de incendios destruyen los nutrientes del suelo en tal medida que con frecuencia las tierras de cultivo acaban siendo abandonadas a los pocos años, lo que a su vez puede ser causa de incendios durante las sequías periódicas de El Niño (Cochrane 2003). Si la tierra no fuera tan barata y fácil de obtener, los propietarios se verían más incentivados a invertir en métodos más sostenibles y rentables, como aplicaciones agroforestales o plantaciones de árboles y cultivos de frutas, en los que no interviene el fuego (Laurance *et al.* 2001).

REDUCIR EL IMPACTO DE LAS CARRETERAS

Las medidas que reducirían el impacto ambiental de las carreteras se dividen en dos categorías: estrategias locales que reduzcan el impacto directo e



FIGURA 8

Fila de camiones madereros en una autopista de la zona malaya de Borneo (foto de Jeffrey Vincent).

iniciativas regionales que restrinjan la expansión de las carreteras hacia zonas ecológicamente sensibles.

RESTRINGIR LA EXPANSIÓN DE LAS CARRETERAS

Simplificando, las carreteras pueden considerarse enemigas del bosque tropical. Aunque a menudo son un factor intrínseco al desarrollo económico, si no se planifican cuidadosamente, pueden conducir a importantes destrozos en el bosque. Hay que evitar especialmente, donde y cuando sea posible, las carreteras que penetran en regiones remotas (véase el cuadro 1). Particularmente perniciosas son las autopistas asfaltadas, ya que acaban generando redes de carreteras secundarias que incrementan considerablemente la escala espacial de su impacto (Perz *et al.* 2008). Por ejemplo, la autopista Belém-Brasilia, concluida a principios de la década de los setenta, ha ido evolucionando hasta convertirse en una franja de 400 km de ancho de bosque destruido y carreteras secundarias que atraviesan la Amazonia brasileña oriental (Laurance 1998). En las previsiones de futuro para el ecosistema amazónico (véase la figura 7), el trazado de las carreteras, es con diferencia, el factor que más influye en los modelos espaciales esperados de deforestación, fragmentación y degradación (Laurance *et al.* 2001; Soares-Filho *et al.* 2006).

Despiertan gran preocupación los ambiciosos proyectos que están en marcha para ampliar las redes regionales de autopistas en Sudamérica, el sur y el sureste de Asia y el África subsahariana. Probablemente, el acontecimiento más notable observado en épocas recientes en todas estas regiones es la creciente inversión de China en carreteras fronterizas que incrementarán claramente el acceso a los recursos minerales, petrolíferos y madereros.

Una de las máximas prioridades de las autoridades regionales competentes debe ser la conservación de áreas de bosque intacto, libres de carreteras.

GESTIONAR LA EXPLOTACIÓN MADERERA

La industria forestal explota ya casi un 28% de los bosques tropicales del mundo (Asner *et al.*, en prensa), y es probable que sea el principal factor de expansión de las carreteras en las márgenes del bosque. En los trópicos casi toda la actividad maderera es selectiva, extrayendo mediante el uso de buldóceros y otra maquinaria pesada un número limitado de árboles del bosque (normalmente de uno a diez por hectárea). Sin embargo, dependiendo de la intensidad de la tala, puede acabar destruido entre un 20 y un 80% de la cubierta forestal, debido a la proliferación de pistas y carreteras a través del bosque, lo que causa importantes daños en el suelo, así como la erosión y fragmentación de la vegetación de sotobosque (Fimbel *et al.* 2001).

Muchos bosques de la región Asia-Pacífico ya se han visto seriamente mermados por los madereros (véase la figura 8). Los bosques supervivientes de la Amazonia, Nueva Guinea y la cuenca del Congo experimentan ahora una vertiginosa expansión maderera. Tan sólo en el Congo se acaban de construir al menos 52.000 km de carreteras forestales (LaPorte *et al.* 2007). En la Amazonia los bosques atravesados por las carreteras de las explotaciones forestales tienen casi un 400% más de probabilidades de acabar deforestados que aquellos en los que no se da esa actividad (Asner *et al.* 2006).

La mayoría de las zonas de explotación forestal de los trópicos padecen unas carreteras excesivas y deficientemente planificadas (Putz *et al.* 2000). Los esfuerzos por reducir el impacto de las empresas

UNA ESTRATEGIA PARA REDUCIR LAS INVASIONES HUMANAS ES CONSTRUIR VÍAS FÉRREAS EN LUGAR DE CARRETERAS EN LAS ÁREAS FRONTERIZAS. DE ESTE MODO SE CONTROLARÍAN, LAS INCURSIONES EN LOS BOSQUES, YA QUE EL TREN SÓLO PARA EN LOS LUGARES DESIGNADOS.

madereras se concentran sobre todo en las carreteras, con medidas tales como limitar el número de obras mediante una cuidadosa planificación previa de las talas, restringir las carreteras a pendientes y crestas menos pronunciadas donde sea posible, limitar la anchura de las carreteras forestales, evitar en lo posible atravesar cursos de agua para no dañar la vegetación ribereña y prohibir las actividades durante la estación lluviosa para reducir la erosión de los suelos y la acumulación de sedimentos en los ríos (Fimbel *et al.* 2001). Además, hay que prestar especial atención al cierre de las carreteras forestales una vez concluida la tala (destruyendo los puentes importantes, o bien dejándolos impracticables) para prevenir futuras invasiones de colonos ilegales, cazadores y mineros.

Algunos modelos de expansión maderera son especialmente alarmantes desde una perspectiva medioambiental. En la Amazonia brasileña, por ejemplo, hay en marcha planes para talar docenas de parques nacionales ampliamente dispersos (muchos de ellos situados en áreas remotas y en gran medida vírgenes) que podrían acabar afectando a más de 50 millones de hectáreas (Verissimo *et al.* 2002). La vasta red de nuevas carreteras que exigiría dicha empresa dispararía de forma preocupante la invasión del bosque, la caza y la especulación con la tierra en las zonas fronterizas. Al mismo tiempo, existen proyectos para abrir a la industria maderera algunos de los últimos bosques que quedan en el norte de Sumatra (véase el cuadro 1).

REDUCIR LAS INVASIONES HUMANAS

Cuando no se pueden evitar las carreteras fronterizas, al menos sí que se pueden reducir las deforestaciones no planificadas y las invasiones de colonos ilegales mediante la creación de áreas protegidas a lo largo

de los trazados de dichas carreteras antes de su expansión (Fearnside 2006; Nepstad *et al.* 2006b). En la Amazonia brasileña se ha producido una mayor destrucción forestal a lo largo de la autopista Cuiabá-Santarém, donde no se habían previsto suficientes áreas protegidas antes de su construcción, que en la Manaus-Porto Velho, donde se establecieron 13 de esas áreas antes o durante la construcción —aunque aún no está completamente asfaltada, y la situación podría empeorar en el futuro (Butler 2008a)—. En términos generales, los incendios forestales junto a las carreteras amazónicas son mucho menos frecuentes en las áreas protegidas y las tierras indígenas que donde no hay bosques protegidos (véase el gráfico 2) (Adeney *et al.* 2009).

Otra estrategia para reducir las invasiones humanas es construir vías férreas en lugar de carreteras en las áreas fronterizas. De este modo se controlarían, al menos parcialmente, las incursiones en los bosques, ya que el tren sólo para en los lugares designados, y éstos pueden situarse estratégicamente para limitar las invasiones de áreas sensibles desde el punto de vista ambiental. En Brasil, por ejemplo, se ha propuesto un tren como alternativa a la autopista Manaus-Porto Velho, que podría intensificar la colonización de los bosques en la Amazonia central (Butler 2008b).

EVALUAR CORRECTAMENTE EL IMPACTO DE LAS CARRETERAS

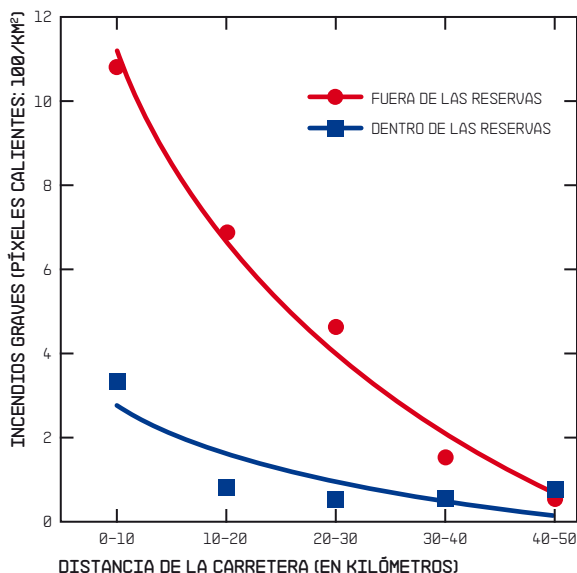
Uno de los obstáculos más serios para limitar y mitigar con eficacia el impacto de las carreteras es que en muchas naciones en desarrollo las evaluaciones de impacto ambiental (EIA) de los proyectos de carreteras se concentran exclusivamente en la carretera, ignorando su influencia en la invasión de los bosques, la caza y la expansión de las carreteras secundarias (Laurance 2007b). En Brasil, las EIA de las principales nuevas autopistas de la Amazonia solían limitarse a una estrecha franja a lo largo del trazado, recomendando a veces medidas tan irrisorias como *ayudar* a los animales a desplazarse del trazado previsto antes de construir la carretera (Fearnside 2006). En otros casos, como en ciertas minas, presas hidroeléctricas y otras obras de envergadura, las EIA se limitan al proyecto, e ignoran el impacto de las carreteras, que son su consecuencia inevitable (Reid y Souza 2005), y seguirán siendo el principal factor de destrucción forestal mientras las EIA no corrijan sus deficiencias de base.

ESTRATEGIAS PARA EL DISEÑO DE CARRETERAS

Se pueden tomar diversas medidas para minimizar el impacto de las carreteras en las reservas naturales

GRÁFICO 2

Incidencia de los incendios provocados por humanos a distintas distancias de las carreteras, comparando áreas protegidas y no protegidas de la Amazonia brasileña (adaptado de Adeney *et al.* 2009).



y otras áreas de gran importancia ecológica. El principio más importante es restringir la densidad viaria, ampliando las zonas sin carreteras, reduciendo así al mínimo los riesgos para las especies salvajes más sensibles y expuestas a la caza y disminuyendo las invasiones exóticas (Peres y Lake 2003; Blake *et al.* 2008). Se pueden impedir en gran medida las inundaciones instalando grandes desagües bajo las carreteras a intervalos periódicos. Los efectos borde y barrera también pueden limitarse reduciendo la anchura de las carreteras para mantener una cierta continuidad en la cubierta forestal y permitiendo la proliferación de brotes secundarios en las márgenes del bosque, lo que supondría una protección parcial contra el perjudicial efecto borde (S. G. Laurance 2006). Especialmente útiles para permitir el movimiento de los animales son los puentes sobre cursos de agua que contienen un pasillo de vegetación no inundada y un lecho natural, aunque los desagües también crean senderos por donde se desplazan animales más pequeños (Goosem 2007).

CONCLUSIÓN

La expansión viaria en los trópicos es tal vez el ejemplo más llamativo de cómo la globalización y su integración de las economías regionales de países en desarrollo pueden ser directamente incompatibles con la conservación de la naturaleza. Los economistas y los responsables de infraestructuras suelen ver

la expansión de las carreteras a las fronteras bajo una luz positiva, mientras que para los que asisten alarmados a la vertiginosa deforestación sucede todo lo contrario, a la vista de los problemas logísticos, el gasto y la práctica pasividad de las autoridades regionales una vez que el proyecto está en marcha.

Pero aún hay lugar para la esperanza. Como las carreteras de frontera juegan un importante papel en el fomento de la deforestación tropical y en las emisiones globales de carbono (véase el ensayo de Lovejoy en este mismo volumen), las iniciativas de comercio de emisiones podrían dirigirse cada vez más a limitar y mitigar el impacto de estas carreteras. Por ejemplo, esos fondos podrían utilizarse para fijarles un límite máximo a las obras viarias regionales, establecer áreas protegidas antes de trazar la carretera, regular los accesos, dar prioridad al tren frente a las carreteras cuando sea posible y cerrar aquellas más destructivas en términos ambientales (Laurance *et al.*, en prensa).

La globalización y el rápido desarrollo económico nos están llevando a una masiva proliferación de carreteras que destruyen los últimos restos de las fronteras tropicales. Puedo asegurar que limitar esas carreteras de frontera es con diferencia el modo más realista y barato de defender la conservación de la naturaleza tropical y su función crucial en el ecosistema. Como Pandora supo enseguida, habría sido más sencillo no abrir la caja que tener que volver a meter en ella todos los males del mundo.

AGRADECIMIENTOS

Doy las gracias a Thomas Lovejoy, Reuben Clements, Rhett Butler y Susan Laurance por sus comentarios a mi manuscrito, y a la Fundación BBVA, el Smithsonian Institute y la James Cook University por su generosa ayuda. Y también a Marilyn Adeney, Lan Ching Fong, Susan Laurance, Marc Steininger, Michael Trenerry y Jeffrey Vincent, que me permitieron amablemente reproducir sus imágenes.

- Adeney, J. M., N. L. Christensen y S. L. Pimm. «Reserves Protect against Deforestation Fires in the Amazon». *PLoS ONE* 4 (2009): e5014. <http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0005014>.
- Asner, G. P., D. E. Knapp, E. N. Broadbent, P. J. C. Oliveira, M. Keller y J. N. M. Silva. «Selective Logging in the Brazilian Amazon». *Science* 310 (2005): 480-482.
- Asner, G. P., E. Broadbent, P. Oliveira, M. Keller, D. Knapp y J. Silva. «Logging and Deforestation Trends in the Brazilian Amazon». *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 103 (2006): 765-783.
- Asner, G. P., T. K. Rudel, T. M. Aide, R. DeFries y R. Emerson. «An Assessment of Contemporary Change in Global Humid Tropical Forests». *Conservation Biology* (en prensa).
- Bennett, E. L. y J. G. Robinson. *Hunting of Wildlife in Tropical Forests: Implications for Biodiversity and Forest Peoples*. Nueva York: Banco Mundial, 2000.
- Blake, S., S. Strindberg, P. Boudjan, C. Makombo, I. Bila-Isia, O. Ilambu, F. Grossmann et al. «Forest Elephant Crisis in the Congo Basin». *PLoS Biology* 5 (2007): e111. <http://www.plosbiology.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pbio.0050111>.
- Blake, S., S. Deem, S. Strindberg, F. Maisels, L. Momont, I.-B. Isia, I. Douglas-Hamilton, W. Karesh y M. Kock. «Roadless Wilderness Area Determines Forest Elephant Movements in the Congo Basin». *PLoS ONE* 3 (2008): e3546. <http://www.plosone.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pone.0003546>.
- Brown, G., B. Phillips, J. Webb y R. Shine. «Toad on the Road: Use of Roads as Dispersal Corridors by Cane Toads (*Bufo marinus*) at an Invasion Front in Tropical Australia». *Biological Conservation* 133 (2007): 88-94.
- Bruijnzeel, L. A. «Hydrological Functions of Tropical Forests: not Seeing the Soil for the Trees?». *Agriculture, Ecosystems and Environment* 104 (2004): 185-228.
- Butler, R. A. «Brazil Suspends Amazon Road Project until Protected Areas Established». *Mongabay.com*, 26 de septiembre, 2008a. <http://news.mongabay.com/2008/0926-amazon.html>.
- . «Railroad could Reduce Amazon Deforestation Relative to Proposed Highway». *Mongabay.com*, 24 de marzo, 2008b. <http://news.mongabay.com/2008/0324-amazon.html>.
- . «Big REDD». *Washington Monthly*, julio-agosto de 2009. <http://www.washington-monthly.com/features/2009/0907.butler.html>.
- Butler, R. A., y W. F. Laurance. «New Strategies for Conserving Tropical Forests». *Trends in Ecology and Evolution* 23 (2008): 469-472.
- Carswell, J. W. «HIV Infection in Healthy Persons in Uganda». *AIDS* 1 (1987): 223-227.
- Cochrane, M. A. «Fire Science for Rainforests». *Nature* 421 (2003): 913-919.
- Curran, L. M., S. Trigg, A. McDonald, D. Astiani, Y. Hardiono, P. Siregar, I. Caniango y E. Kasischke. «Lowland Forest Loss in Protected Areas of Indonesian Borneo». *Science* 303 (2004): 1000-1003.
- Dawson, P., y G. Weste. «Changes in the Distribution of *Phytophthora cinnamomi* in the Brisbane Ranges National Park between 1970 and 1980-1981». *Australian Journal of Botany* 33 (1985): 309-315.
- Develey, P. F., y P. C. Stouffer. «Effects of Roads on Movements by Understory Birds in Mixed-species Flocks in Central Amazonian Brazil». *Conservation Biology* 15 (2001): 1416-1422.
- Dutta, P., S. Khan, C. Sharma, P. Doloi, N. Hazarika y J. Mahanta. «Distribution of Potential Dengue Vectors in Major Townships along the National Highways and Trunk Roads of Northeast India». *Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health* 29 (1998): 173-176.
- Duval, Y. *Economic Cooperation and Regional Integration in the Greater Mekong Subregion*. Bangkok: ONU. Comisión Económica y Social para Asia y el Pacífico, 2008.
- Eisenberg, J. N. S., W. Cevallos, K. Ponce, K. Levy, S. Bates, A. Hubbard, N. Vieira et al. «Environmental Change in the Form of New Roads Affects the Transmission of Diarrheal Pathogens in Rural Ecuador». *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 103 (2006): 19460-19465.
- Engelman, R. «Human Population Prospects: Implications for Environmental Security». En N. Polunin, ed. *Population and Global Security*. Cambridge: Cambridge University Press, 1998, 47-54.
- FAO. *Global Forest Resources Assessment*. Roma: FAO, 2005.
- Fearnside, P. M. «Transmigration in Indonesia: Lessons From its Environmental and Social Impacts». *Environmental Management* 21 (1997): 553-570.
- . «Soybean Cultivation as a Threat to the Environment in Brazil». *Environmental Conservation* 28 (2001): 23-38.
- . «Containing Destruction from Brazil's Amazon Highways: Now is the Time to Give Weight to the Environment in Decision-making». *Environmental Conservation* 33 (2006): 181-183.
- . «Brazil's Cuiabá-Santarém (BR-163) Highway: the Environmental Cost of Paving a Soybean Corridor Through the Amazon». *Environmental Management* 39 (2007): 601-614.
- Fimbel, R. A., A. Grajal y J. G. Robinson, eds. *The Cutting Edge: Conserving Wildlife in Logged Tropical Forests*. Nueva York: Columbia University Press, 2001.
- Finer, M., C. N. Jenkins, S. L. Pimm, B. Keane y C. Ross. «Oil and Gas Projects in the Western Amazon: Threats to Wilderness, Biodiversity, and Indigenous Peoples». *PLoS ONE* 3 (2008): e2932. <http://www.plosone.org/article/info:doi/10.1371/journal.pone.0002932>.
- Forman, R. T. T., y L. E. Alexander. «Roads and their Major Ecological Effects». *Annual Review of Ecology and Systematics* 29 (1998): 207-231.
- Gascon, C., T. E. Lovejoy, R. O. Bierregaard, J. R. Malcolm, P. C. Stouffer, H. Vasconcelos, W. F. Laurance, B. Zimmerman, M. Tocher y S. Borges. «Matrix Habitat and Species Persistence in Tropical Forest Remnants». *Biological Conservation* 91 (1999): 223-229.
- Geist, H. J., y E. Lambin. «Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation». *BioScience* 52 (2002): 143-150.
- Goosem, M. «Internal Fragmentation: the Effects of Roads, Highways, and Powerline Clearings on Movements and Mortality of Rainforest Vertebrates». En W. F. Laurance y R. O. Bierregaard, eds. *Tropical Forest Remnants: Ecology, Management, and Conservation of Fragmented Communities*. Chicago: University of Chicago Press, 1997, 241-255.
- . «Effects of Tropical Rainforest Roads on Small Mammals: Inhibition of Crossing Movements». *Wildlife Research* 28 (2001): 351-364.
- . «Fragmentation Impacts Caused by Roads Through Rainforests». *Current Science* 93 (2007): 1587-1595.
- Hayes, J., y J. J. Ferraroni. «Malaria along Pioneer Highways in the Brazilian Amazon». *Ciência e Cultura* 33 (1981): 924-928.
- Koh, L. P., y D. S. Wilcove. «Is Oil Palm Really Destroying Tropical Biodiversity?». *Conservation Letters* 1 (2008): 60-64.
- Lahm, S. A., R. F. Barnes, K. Beardsley y P. Cervinka. «A Method for Censusing the Greater White-nosed Monkey in Northeastern Gabon Using the Population Density Gradient in Relation to Roads». *Journal of Tropical Ecology* 14 (1998): 629-643.
- LaPorte, N. T., J. A. Stabach, R. Grosch, T. Lin y S. Goetz. «Expansion of Industrial Logging in Central Africa». *Science* 316 (2007): 451.
- Laurance, S. G. «Responses of Understory Rain Forest Birds to Road Edges in Central Amazonia». *Ecological Applications* 14 (2004): 1344-1357.
- . «Rainforest Roads and the Future of Forest-dependent Wildlife». En W. F. Laurance y C. A. Peres, eds. *Emerging Threats to Tropical Forests*. Chicago: University of Chicago Press, 2006, 253-267.
- Laurance, S. G., P. C. Stouffer y W. F. Laurance. «Effects of Road Clearings on Movement Patterns of Understory Rainforest Birds in Central Amazonia». *Conservation Biology* 18 (2004): 1099-1109.

- Laurance, W. F. «A Crisis in the Making: Responses of Amazonian Forests to Land Use and Climate Change». *Trends in Ecology and Evolution* 13 (1998): 411-415.
- . «Tropical Logging and Human Invasions». *Conservation Biology* 15 (2001): 4-5.
- . «Have We Overstated the Tropical Biodiversity Crisis?». *Trends in Ecology and Evolution* 22 (2007a): 65-70.
- . «Road to Ruin». *New Scientist*, 6 de junio, 2007b, 25.
- . «The Real Cost of Minerals». *New Scientist*, 16 de agosto, 2008, 16.
- Laurance, W. F., A. K. M. Albernaz, G. Schroth, P. M. Fearnside, E. Venticinque y C. Da Costa. «Predictors of Deforestation in the Brazilian Amazon». *Journal of Biogeography* 29 (2002a): 737-748.
- Laurance, W. F., A. Alonso, M. Lee y P. Campbell. «Challenges for Forest Conservation in Gabon, Central Africa». *Futures* 38 (2006a): 454-470.
- Laurance, W. F., M. A. Cochrane, S. Bergen, P. M. Fearnside, P. Delamonica, C. Barber, S. D'Angelo y T. Fernandes. «The Future of the Brazilian Amazon». *Science* 291 (2001): 438-439.
- Laurance, W. F., B. M. Croes, L. Tchignoumba, S. A. Lahm, A. Alonso, M. Lee, P. Campbell y C. Ondzeano. «Impacts of Roads and Hunting on Central-African Rainforest Mammals». *Conservation Biology* 20 (2006b): 1251-1261.
- Laurance, W. F., M. Goosem y S. G. Laurance. «Impacts of Roads and Linear Clearings on Tropical Forests». *Trends in Ecology and Evolution* (en prensa).
- Laurance, W. F., T. E. Lovejoy, H. L. Vasconcelos, E. M. Bruna, R. K. Didham, P. C. Stouffer, C. Gascon, R. O. Bierregaard, S. G. Laurance y E. Sampaio. «Ecosystem Decay of Amazonian Forest Fragments: a 22-year Investigation». *Conservation Biology* 16 (2002b): 605-618.
- Lee, R. J., A. Gorog, A. Dwiyahreni, S. Siwu, J. Riley, H. Alexander, G. Paoli y W. Ramono. «Wildlife Trade and Implications for Law Enforcement in Indonesia: a Case Study from North Sulawesi». *Biological Conservation* 123 (2005): 477-488.
- Lovejoy, T. E. «Globalization, Global Warming, and the Future of Biodiversity». En J. Pardo, ed. *The different faces of globalization*. Madrid: Turner (en prensa).
- Murcia, C. «Edge Effects in Fragmented Forests: Implications for Conservation». *Trends in Ecology and Evolution* 10 (1995): 58-62.
- Myers, N. «Tropical Forests: the Main Deforestation Fronts». *Environmental Conservation* 20 (1993): 9-16.
- Nepstad, D., C. Stickler y O. Almeida. «Globalization of the Amazon Soy and Beef Industries: Opportunities for Conservation». *Conservation Biology* 20 (2006a): 1595-1604.
- Nepstad, D., S. Schwartzman, B. Bamberger, M. Santilli, D. Ray, P. Schlesinger, P. Lefebvre et al. «Inhibition of Amazon Deforestation and Fire by Parks and Indigenous Lands». *Conservation Biology* 20 (2006b): 65-73.
- ONU. *World Urbanization Prospects: the 2003 Revision*. Nueva York: División Demográfica de la Organización de las Naciones Unidas, 2004.
- Peres, C. A., e I. R. Lake. «Extent of Nontimber Resource Extraction in Tropical Forests: Accessibility to Game Vertebrates by Hunters in the Amazon Basin». *Conservation Biology* 17 (2003): 521-535.
- Perz, S., S. Brilhante, F. Brown, M. Caldas, S. Ikeda, E. Mendoza, C. Overdevest et al. «Road Building, Land Use and Climate Change: Prospects for Environmental Governance in the Amazon». *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B* 363 (2008): 1889-1895.
- Pratt, C., y B. G. Lottermoser. «Trace Metal Uptake by the Grass *Melinis repens* from Roadside Soils and Sediments, Tropical Australia». *Environmental Geology* 52 (2007a): 1651-1662.
- . «Mobilisation of Traffic-derived Trace Metals from Road Corridors into Coastal Stream and Estuarine Sediments, Cairns, Northern Australia». *Environmental Geology* 52 (2007b): 437-448.
- Primack, R. B. *Essentials of Conservation Biology, Fourth Edition*. Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, 2006.
- Putz, F. E., D. P. Dykstra y R. Heinrich. «Why Poor Logging Practices Persist in the Tropics». *Conservation Biology* 14 (2000): 951-956.
- Reid, J., y W. D. de Souza. «Infrastructure and Conservation Policy in Brazil». *Conservation Biology* 19 (2005): 740-746.
- Rudel, T. K. «Changing Agents of Deforestation: from State-initiated to Enterprise-driven Processes, 1970-2000». *Land Use Policy* 24 (2005): 35-41.
- Scharlemann, J., y W. F. Laurance. «How Green are Biofuels?». *Science* 319 (2008): 52-53.
- Shearman, P. L., J. Ash, B. Mackey, J. E. Bryan y B. Lokes. «Forest Conversion and Degradation in Papua New Guinea 1972-2002». *Biotropica* 41 (2009): 379-390.
- Simuyemba, S. *Linking Africa through Regional Infrastructure*. Nairobi: African Development Bank, 2000.
- Smeraldi, R., y P. H. May. *The Cattle Realm: a New Phase in the Livestock Colonization of Brazilian Amazonia*. São Paulo: Amigos da Terra - Amazônia Brasileira, 2008.
- Soares-Filho, B., D. Nepstad, L. Curran, G. Cerqueira, R. Garcia, C. Ramos, E. Voll, A. McDonald, P. Lefebvre y P. Schlesinger. «Modeling Amazon Conservation». *Nature* 440 (2006): 520-523.
- Sodhi, N. S., M. Posa, T. M. Lee, D. Bickford, L. P. Koh y B. W. Brook. «The State and Conservation of Southeast Asian Biodiversity». *Biodiversity and Conservation* (2009): DOI 10.1007/s10531-009-9607-5.
- Trombulak, S. C., y C. A. Frissel. «Review of Ecological Effects of Roads on Terrestrial and Aquatic Communities». *Conservation Biology* 14 (2000): 1-14.
- Verissimo, A., M. A. Cochrane y C. Souza. «National Forests in the Amazon». *Science* 297 (2002): 1478.
- Von Braun, J. *The World Food Situation: New Driving Forces and Required Actions*. Washington, D. C.: International Food Policy Research Institute, 2007.
- Walsh, P. D., P. Henschel, K. Abernethy, C. Tutin, P. Telfer y S. Lahm. «Logging Speeds Little Red Fire Ant Invasion of Africa». *Biotropica* 36 (2004): 637-641.
- Wright, S. J., y H. C. Muller-Landau. «The Future of Tropical Forest Species». *Biotropica* 38 (2006): 287-301.