

SOBRE LA NECESIDAD DE UN PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN PARA EL SISTEMA ANDES-AMAZONIA

Germán Poveda¹, Peter Bunyard², Carlos A. Nobre³

RESUMEN

El artículo plantea la necesidad de establecer un programa de investigación que aporte información sobre la interacción de los sistemas y los ecosistemas en la región Andes/Amazonia. Los autores plantean algunos temas sobre los cuales es posible fundamentar el programa y cierran en artículo con una propuesta para la financiación de esta alternativa.

PALABRAS CLAVE

Bosque tropical húmedo, desarrollo regional, investigación y desarrollo, Andes, Amazonia

RACIONALIDAD

El sistema integrado de la región Amazonia-Andes, Raman, comprende grandes áreas de Colombia, Ecuador, Bolivia, Perú, Brasil e incluso Venezuela. La región exhibe gran riqueza y diversidad cultural, socio-cultural, económica, geográfica, biológica e hidro-ecológica. Al mismo tiempo, múltiples problemáticas surgen a partir de las fuertes interacciones que se dan en la región entre los sistemas sociales y los sistemas naturales (eco-

sistemas). Los Andes tropicales exhiben rasgos únicos y de gran diversidad geo-bio-física, pero al mismo tiempo están peligrosamente amenazados, dado que son la región del planeta donde más rápidamente se está destruyendo la biodiversidad por efecto de la deforestación y el cambio en los usos del suelo (Myers et al., 2000); amenaza que también es urgente enfrentar en toda la alta Amazonia. El sistema alta Amazonia-Andes enfrenta múltiples retos que provienen de la presión antrópica, así como del calentamiento global y el cambio ambiental global; comenzando por las aceleradas tasas de retroceso y desaparición de los glaciares sobre los Andes tropicales (Pineda y Poveda, 2007 y Francou y Coudrain, 2005), un proceso irreversible que representa graves amenazas al suministro de agua potable, así como a la pérdida de biodiversidad y a la sostenibilidad de ecosistemas fundamentales como páramos, yungas, bosques de niebla, bosques de montaña y bosques húmedos tropicales. En los Andes tropicales se asientan grandes ciudades como Bogotá, Quito, La Paz, Medellín, Cali, Cajamarca, Cuzco, Arequipa, San Cristóbal, Riobamba, Ambato, Ayacucho, Huancayo, Oruro, Cochabamba y centenares de poblaciones de mediano y pequeño tamaño, las cuales demandan cada vez mayores cantidades de recursos y servicios naturales y socio-económicos. Un ambiente degradado se retroalimenta

¹ Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

² Editor Científico de la revista *The Ecologist*, Profesor Adjunto The International Honors Program, Universidad de Boston, Massachusetts, Linnean Society of London, Reino Unido.

³ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, Inpe, Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Cachoeira Paulista, São Paulo, Brasil.

con el bienestar de las comunidades humanas, dado que impide el acceso a recursos naturales como agua potable o suelos adecuados para la agricultura. Además, un medio ambiente deteriorado es menos apto para responder a las amenazas por el cambio climático, y los países de Raman son particularmente vulnerables en ese aspecto, dado que dependen mutuamente de las prácticas y políticas de conservación de cada uno de los demás países de la región.

La cuenca del Río Amazonas constituye la más grande cuenca hidrográfica del planeta (6,4 millones de km²), y su dinámica hidro-climática ejerce una influencia significativa a escala global y continental, dadas sus conexiones atmosféricas con los océanos Atlántico y Pacífico tropicales y con la cuenca del Río de La Plata (Refe). La dinámica hidro-climática de la cuenca amazónica es fundamental para la estabilidad climática de la región y del planeta (Nobre et al., 2004). Mediante los servicios ecosistémicos del bosque húmedo tropical (enfriamiento de la temperatura por evapotranspiración, protección contra inundaciones, albergue de biodiversidad, etc.) y, debido a la gran porción de la precipitación que se recicla como evapotranspiración local, grandes cantidades de agua son transportadas por los vientos alisios desde el Océano Atlántico tropical hacia la alta Amazonia, incluyendo los Andes, que alimenta los glaciares tropicales, lagos, humedales, punas, páramos y yungas, así como bosques de niebla, de montaña y tropicales lluviosos.

El programa de investigación del Proyecto de gran escala de la biosfera-atmósfera en la Amazonia⁴ ha hecho aportes extraordinarios a la ciencia amazónica. Sin embargo, LBA ha dedicado sus esfuerzos de investigación en la Amazonia brasileña, en temas relevantes como climatología y clima físico, hidrología, uso del suelo y cambios en el uso del suelo, ciclos biogeofísicos y biogeoquímicos, incluyendo el ciclo del carbono, química de la atmósfera y en menor medida en algunos temas relacionados con las dimensiones humanas. A pesar de los excelentes avances que ha realizado LBA en el conocimiento científico de la Amazonia, no se han realizado esfuerzos paralelos en los países de la alta Amazonia–Andes, y menos aún el

estudio de las interacciones entre los sistemas sociales y los ecosistemas de la región (Poveda, 2004).

El aumento de la pobreza en la región Andes–Amazonia, la desaparición de culturas nativas y ancestrales, el agotamiento del recurso suelo, la presión por los recursos naturales, los procesos de deforestación a gran escala, la erosión y degradación de suelos. Las avalanchas, deslaves y inundaciones, una mayor vulnerabilidad de las poblaciones y asentamientos humanos, la acelerada pérdida de biodiversidad, la contaminación de las aguas por actividades mineras, petroleras, agrícolas (incluyendo el cultivo de la coca), ganaderas, el turismo, etc., hacen mucho más urgente la necesidad de implementar un programa de investigación básica y aplicada para responder a los retos mencionados. Hay otros tópicos igualmente importantes: el aumento de las enfermedades transmitidas por el agua o por mosquitos vectores como malaria, dengue, leishmaniasis, asociadas con el cambio y la variabilidad climática y ambiental que imponen serios retos al desarrollo regional (Poveda et al., 2000 y 2001a).

Simultáneamente, la región Andes–Amazonia tiene oportunidades muy interesantes para el desarrollo, las cuales provienen de su extraordinaria biodiversidad natural, así como de la importancia y gran variedad de los servicios ambientales actuales y potenciales de sus ecosistemas, y a las considerables posibilidades de desarrollo sostenible en la región. Por tanto, se hace necesario un programa de investigación científica que propenda por el entendimiento del sistema integra-



⁴ <http://lba.inpa.gov.br/lba/>

do Amazonia–Andes, que incluya el funcionamiento de los ecosistemas naturales, y su interacción con los sistemas sociales. Además, la región es la mejor preservada de la Amazonia, con las menores tasas de deforestación de toda la cuenca amazónica, la cual mantiene aún un gran depósito de carbono en su biomasa y muchas condiciones de extraordinaria biodiversidad. Por tanto, es especialmente importante crear un nuevo paradigma para el desarrollo de Raman, de tal manera que contemple y se enfoque en aspectos de conservación y valoración de los servicios ecosistémicos en alianza con el manejo y aprovechamiento sostenible y la explotación racional de los valores económicos de la biodiversidad y que propenda al mejoramiento del bienestar y la calidad de vida de los habitantes de la región Andes–Amazonia. Ese nuevo esquema de desarrollo para la Amazonia–Andes debe estar basado en el conocimiento científico, así como en tecnologías apropiadas e innovadoras.

Algunos temas de interés para construir el programa de investigación propuesto se discuten a continuación.

IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LOS ECOSISTEMAS ANDINOS DE GLACIARES, PÁRAMOS, PUNAS Y BOSQUES DE NIEBLA Y SU IMPACTO SOBRE EL CICLO HIDROLÓGICO Y EL SUMINISTRO DE AGUA

Los glaciares andinos constituyen las mayores elevaciones de la cordillera. En las últimas tres décadas, se presenta un acelerado retroceso de los glaciares debido al calentamiento global y por la intensa deforestación de la Amazonia que reduce el transporte de humedad hacia los Andes⁵. Como consecuencia de este fenómeno, se presentan cambios en las tasas de aporte de agua de los glaciares a la escorrentía superficial que alimenta gran cantidad de ríos aguas abajo y, por tanto, la disponibilidad de agua para consumo humano, lo cual puede exacerbar la problemática generada por el crecimiento en la demanda de agua. Las aguas de deshielo de glaciares andinos son extremadamente importantes para el

suministro de agua de grandes ciudades andinas, como Bogotá y Quito, para mencionar sólo dos.

En los altos valles andinos son críticas las altas de retroceso de los glaciares, pero se desconocen aspectos fundamentales de sus volúmenes almacenados y, sobre todo, de su dinámica espacial y temporal. Esto se hace más crítico porque pone de presente la incertidumbre y vulnerabilidad e impactos sobre las corrientes aguas abajo, también desconocida hoy. Estos problemas son de escala regional y traspasan las fronteras nacionales. Los resultados de las investigaciones indican que la fusión de los glaciares es más acelerada durante situaciones secas y cálidas, generalmente asociadas con la ocurrencia de las dos fases del sistema El Niño–Oscilación del Sur, Enso, (Poveda et al., 2001b, 2006). Por tanto, las variaciones identificadas en los glaciares constituyen indicadores adecuados de los cambios climáticos actuales. El entendimiento de la dinámica de los glaciares es un tema urgente de investigación, dada la amenaza de la inminente desaparición de los glaciares colombianos durante la próxima década (Poveda y Pineda, 2008). Tales estudios tendrán que proporcionar elementos para propósitos de modelación de sus procesos de acumulación y ablación y para cuantificar la evolución de los recursos de agua disponibles de acuerdo con diversos escenarios de cambio climático y deforestación. Tales investigaciones también podrán contribuir a evaluar las condiciones climáticas regionales del pasado y del futuro.

Justo debajo de la línea de nieve, los ecosistemas de páramo albergan el cinturón más alto de vegetación en los Andes y los ecosistemas más diversos (no boscosos) del planeta. Los páramos constituyen un archipiélago ecológico a lo largo de los Andes del norte de Suramérica de altísima diversidad cultural, biológica y paisajística. Los páramos sirven como corredores para muchas especies animales y vegetales, al tiempo que desempeñan un papel fundamental en el suministro de agua de muchas regiones sobre los Andes. Sus suelos y vegetación son un importante depósito de carbono y materia orgánica, los cuales constituyen factores clave para la regulación del recurso agua y la fertilidad de cultivos de subsistencia. Muchos páramos están ocupados por numerosas poblaciones de indígenas y campesinos con grandes riquezas ancestrales, quienes también están amenazados por actividades económi-

⁵ Véanse las memorias de la Conferencia Concord, Mendoza, Argentina, 2006: <http://mri.scnatweb.chcontentview/84/73/>

cas como minería, petróleo, agricultura y ganadería, construcción de caminos y carreteras y deforestación, además del calentamiento global. La invasión humana de estos ecosistemas resulta de la necesidad de producir alimentos e ingresos para un número creciente de poblaciones marginadas, pero también debido a la carencia de políticas de desarrollo sostenible que valoren la biodiversidad o que premien su manutención.

Por debajo de los páramos se encuentran los bosques de niebla y de montaña, los cuales juegan un papel muy importante en el mantenimiento de la humedad del aire y en la producción de núcleos de condensación mediante emisiones químicas de diferentes especies vegetales, los cuales son necesarios para la existencia de las nubes de agua de lluvia. Todos los anteriores aspectos ponen de presente el papel de los páramos en términos de su contribución a los procesos que gobiernan la dinámica de la lluvia sobre los Andes. Dado que los glaciares tropicales reciben más del doble de radiación de onda corta proveniente del sol, en comparación con los glaciares de medias y altas latitudes, es obvio que para mantener su área y profundidad, la precipitación (sólida en forma de nieve) debe ser correspondientemente mayor. Por ello son muy preocupantes las grandes áreas de bosques de niebla y de montaña que han sido deforestados en los últimos años.

El agua que se genera en los ecosistemas alto andinos constituye un recurso fundamental para una población y necesidades crecientes en los valles interandinos, y de la alta Amazonia. La gestión integral del agua constituye un marco apropiado para el aprovechamiento sostenible de la biodiversidad y del desarrollo de las comunidades locales en la Raman. El agua lluvia captada domésticamente debe ser reconocida a nivel institucional en las políticas ambientales de los países de la región (Moreno et al., 2007), así como en el marco de la cooperación internacional, como una de las Metas de Desarrollo del Milenio. Estas regiones carecen de sistemas de monitoreo de alta resolución y pocos esfuerzos se han hecho para cuantificar y modelar de manera adecuada los procesos físicos que gobiernan la dinámica hidro-climática y ecológica, y los posibles y más probables efectos del cambio y la variabilidad climática y la deforestación y cambio de uso del suelo y su impacto sobre los temas sociales relevantes.

La región carece de las políticas necesarias para enfrentar estos retos, y los procesos de toma de decisiones se verán agravados por el cambio climático presente y futuro. Algunas preguntas clave al respecto son:

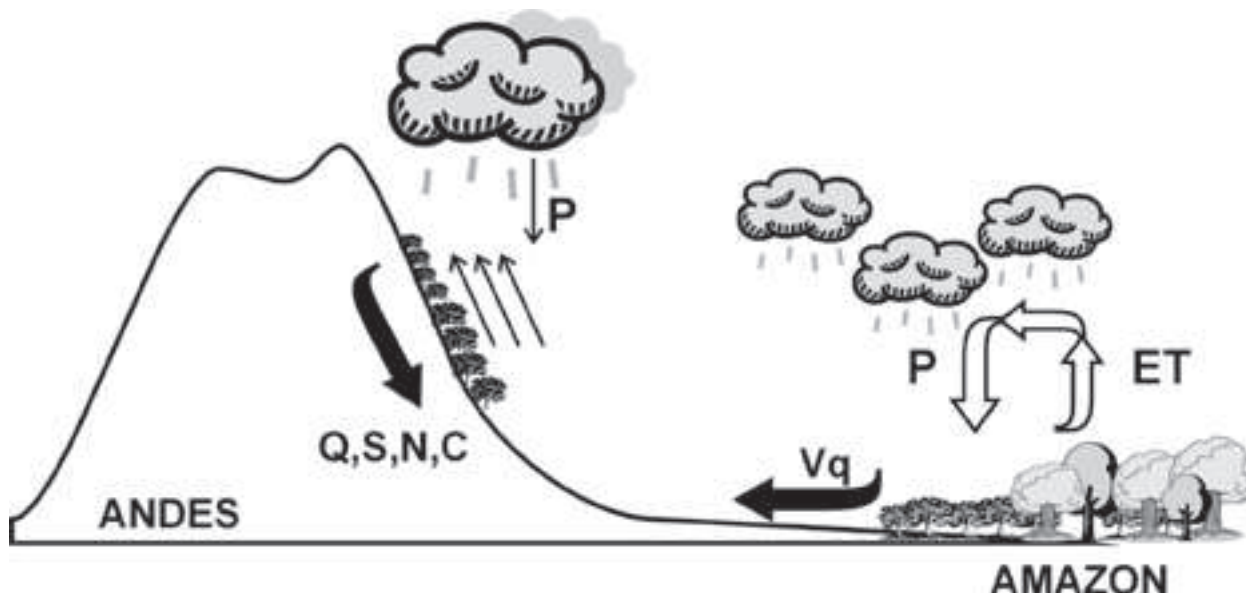
1. ¿Cómo alcanzar un nivel sostenible de estrategias de desarrollo local de los ecosistemas actuales y futuros, y cómo vincular la pregunta anterior con los efectos derivados del cambio climático y la deforestación en Raman?
2. ¿Cómo enfrentar en forma adecuada los vínculos entre el cambio climático global y local con las tendencias actuales y futuras de los índices de pobreza y de deterioro ambiental en la región?

RIESGO Y VULNERABILIDAD, DEGRADACIÓN AMBIENTAL Y POBREZA EN Y CAUSADA POR LAS CIUDADES ANDINAS

Varias grandes ciudades y muchas poblaciones intermedias y pequeñas están localizadas sobre los Andes. De tal ocupación del territorio se derivan importantes temas para la sostenibilidad ambiental, tales como asentamientos urbanos sobre terrenos de alta pendiente, altamente vulnerable a terremotos, tormentas intensas, avalanchas, deslaves y crecidas de ríos (Figura 1), procesos de erosión y degradación del suelo acelerados, sobre-explotación y contaminación del recurso agua, migración y ocupación incontrolada y no planificada del territorio, con la consecuente sobrepoblación de ciudades de infraestructura insuficiente, crecimiento desordenado y desorganizado que demanda cada vez mayores recursos naturales y servicios ambientales, contaminación del aire y enfermedades asociadas (Poveda, 2008), empobrecimiento de las comunidades rurales, etc.

En Colombia, este panorama es exacerbado de manera crítica por causa del conflicto interno, cuya dinámica y consecuencias se agudizan en los sectores y poblaciones rurales, reforzando el círculo vicioso de la ocupación incontrolada, o ilegalmente controlada del territorio, con el consecuente desplazamiento de mi-

FIGURA I. ESQUEMA DE LOS MECANISMOS FÍSICOS INVOLUCRADOS EN LOS PROCESOS DE RETROALIMENTACIÓN ENTRE LOS ANDES Y LA CUENCA AMAZÓNICA. LAS VARIABLES SON: P: PRECIPITACIÓN, Q: CAUDALES DE RÍOS, S: SEDIMENTOS, N: NUTRIENTES, C: CONTAMINANTES Y ESPECIES QUÍMICAS, VQ: TRANSPORTE DE HUMEDAD POR LOS VIENTOS ALISIOS Y ET: EVAPOTRANSPIRACIÓN. LA PRECIPITACIÓN ESTÁ COMPUESTA POR AQUELLA ORIGINADA EN EL RECICLAJE DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN LOCAL Y POR LA HUMEDAD TRANSPORTADA AL INTERIOR DE LA AMAZONIA DESDE EL OCEANO ATLÁNTICO TROPICAL.



Tomada de Poveda *et al.* (2006).

llones de campesinos hacia los centros urbanos, donde se asientan en tugurios y barrios ilegales localizados sobre terrenos inestables de alta pendiente, acelerando de paso la ocupación informal de territorios que deberían ser áreas protegidas sobre los Andes.

Las ciudades no dan abasto para atender tal proceso de urbanización caótico, no planificado e incompleto. La demanda por servicios públicos como agua potable, energía, educación, salud y saneamiento básico debe ser provista desde afuera de tales ecosistemas, lo cual acelera la deforestación y el deterioro de los ecosistemas. La excesiva demanda de infraestructura (camino, transporte, etc.) se convierte, por esto, en fuente de inconformidad social.

Algunas preguntas relevantes de este análisis incluyen:

1. ¿Cómo se retroalimentan los riesgos por desastres naturales y extremos ambientales (sismos, tormentas severas, deslizamientos, avalanchas, crecientes y enfermedades) con el crecimiento

no planificado de las ciudades, lo cual causa un aumento de la vulnerabilidad de las poblaciones más pobres de las ciudades andinas?

2. ¿Cómo están relacionados los procesos de crecimiento urbano en grandes ciudades andinas, con el deterioro ambiental de los ecosistemas naturales cercanos y distantes?
3. ¿Cómo detener y prevenir el continuo desplazamiento de poblaciones rurales hacia las ciudades andinas, proveyendo calidad y dignidad a la vida de los ambientes rurales?
4. ¿Cómo afecta la gobernabilidad de las ciudades andinas la presión social por servicios públicos e infraestructura?

Las respuestas a estas preguntas deberán ser usadas para el diseño e implementación de sistemas de alerta temprana, además de servir de insumo para que las autoridades políticas tomen decisiones en relación con tareas y estrategias de mitigación y adaptación



efectivas, proteger las vidas y disminuir las pérdidas sociales, ambientales y económicas.

BALANCES DE AGUA, ENERGÍA Y CARBONO EN EL SISTEMA ANDES-AMAZONIA, SUS RETROALIMENTACIONES EN VARIAS ESCALAS ESPACIO-TEMPORALES Y LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO GLOBAL, LA DEFORESTACIÓN Y LA VARIABILIDAD AMBIENTAL

Se requiere desarrollar investigación científica para entender los balances de agua, de energía y de carbono en las cuencas hidrográficas de la alta Amazonia-Andes. Por tanto, esa investigación requiere que el análisis espacial se realice desde las partes más altas de la Amazonia andina (cuencas de orden 1) hacia las cuencas aguas abajo localizadas en las llanuras de inundación de la gran Amazonia. Igualmente, es necesario el diagnóstico y la modelación de los diversos procesos que gobiernan la dinámica hidrológica, climática, ecológica, y biogeoquímica, que incluyan retroalimentaciones y no linealidades para entender las interacciones complejas que se presentan entre los Andes y la Amazonia en diversas escalas temporales.

Por ejemplo, los vientos alisios del Este, asociados con la migración latitudinal de la Zona de Convergencia Intertropical, ZCIT, transportan cantidades enormes de agua desde el Océano Atlántico tropical hacia la Amazonia y de ésta a los Andes. Esa humedad se condensa al ascender por el forzamiento orográfico que imponen los Andes, constituyendo el agua necesaria para la lluvia sobre los Andes orientales y para nutrir los caudales de los ríos que nacen en la alta Amazonia andina, los cuales se convierten en los mayores afluentes y en el mismo Río Amazonas. Pero a lo largo de los ríos no sólo fluye agua líquida, sino que además fluyen sedimentos (caudal sólido), nutrientes, contaminantes y especies biogeoquímicas (incluyendo CO_2), tal como se ilustra en la Figura 1.

El agua de la Amazonia soporta la extraordinaria biodiversidad de la cuenca. Por otra parte, ocurren fuer-

tes interacciones en el sistema suelo-atmósfera sobre la región Andes–Amazonia: entre el 35% y 50% de la precipitación que cae sobre la cuenca tiene su origen en la evapotranspiración del mismo bosque amazónico (Elthair y Bras, 1993; Makarieva y Gorshkov, 2007). La singular interacción que se da entre el transporte de humedad por los vientos de la Amazonia a los Andes, la evapotranspiración del bosque Amazónico y la proximidad de los Andes dan cuenta de los altas tasas de precipitación en vastas regiones de la Amazonia occidental, las cuales son cruciales para el mantenimiento de la gran biodiversidad del bosque húmedo tropical.

Mediante teleconexiones atmosféricas y los movimientos latitudinales de las masas de aire, la cuenca amazónica desempeña un papel esencial en el transporte de vapor de agua hacia el sur de Brasil y, más al sur, hasta la cuenca del Río de La Plata (Marengo et al., 2004). Las consecuencias de seguir perdiendo los bosques húmedos tropicales de la Amazonia están y cada vez tendrán mayor repercusión en la dinámica del clima del planeta Tierra (Werth y Avissar, 2002).

Con respecto a las diversas escalas temporales de interés, los temas de interés para la investigación abarcan desde el complejo y complicado ciclo diurno de la precipitación (Poveda et al., 2005) hasta las escalas intra-estacionales, anual, inter-anual (dominada por el Fenómeno El Niño–Oscilación del Sur) y, por supuesto, las interacciones de las dinámicas de los fenómenos hidro-climáticos que ocurren a tales escalas temporales con el calentamiento global. Las mayores escalas de tiempo son necesarias para entender y predecir los efectos del cambio climático y su conjunción con fenómenos de deforestación y de cambio acelerado en los usos del suelo.

Los países que forman parte del sistema Andes–Amazonia son altamente dependientes de los recursos naturales y los servicios ecosistémicos para su desarrollo, lo cual los hace más vulnerables a las amenazas del calentamiento climático y a los extremos climáticos asociados con ambas fases del fenómeno Enso: El Niño y La Niña. Si el planeta llega a alcanzar las más altas temperaturas que predicen aun los modelos climáticos más conservadores, a causa del calentamiento global, los patrones de la circulación oceánica global

se verán alterados de manera dramática, incluyendo al Océano Pacífico, donde una situación permanente de El Niño podría ser la regla y no la excepción. La gran sequía de 2005 sobre la región suroccidental de la cuenca amazónica puso de presente que el Océano Atlántico tropical también puede inducir anomalías climáticas en la Amazonia, y tal situación podría ser cada vez más frecuente a causa del calentamiento global. Si esto sucediera sobre ambos océanos, es muy probable que grandes regiones del bosque tropical lluvioso desaparecieran (“die-back”), en tanto que una disminución de la precipitación, exacerbada por altas temperaturas, crearía un efecto de retroalimentación positiva, lo que a su vez causaría un aumento en la pérdida de carbono (de biomasa y del suelo), que a su vez aumentarían las concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera. Es poco probable que los cambios catastróficos en muchos ecosistemas de la Amazonia ocurran de manera gradual, sino de manera súbita cuando se cruzan umbrales críticos, como es el caso en la dinámica de muchos ecosistemas.

La biodiversidad desempeñará un papel fundamental en la definición de tales umbrales y en la resiliencia de los ecosistemas. Además, los ecosistemas de la región Andes–Amazonia son altamente vulnerables a los efectos hidrológicos de la deforestación en diversas escalas. Una vez que los puntos críticos se han alcanzado (tamaño y conectividad de áreas deforestadas), los sistemas esenciales de reciclaje podrían colapsar, y de esa manera conducirían a la desaparición del bosque. El riesgo de muerte o de savanización del bosque es grande en áreas de bosque que experimentan un marcado ciclo anual de precipitación, incluyendo vastas zonas de la Amazonia. Todavía hay esperanzas de la existencia de áreas menos susceptible a estos riesgos como la Amazonia occidental, la cual se convierte en un argumento convincente de región que se debe proteger, como depósito clave de biodiversidad del bosque tropical.

La investigación científica que se requiere debe enfocarse a mejorar las predicciones, cuantificar y reducir las incertidumbres de los impactos del cambio climático antropogénico y de la variabilidad climática natural, y sus efectos combinados, sobre las variables del ciclo hidrológico, incluyendo la precipitación, la eva-

potranspiración, la humedad del suelo y la escorrentía superficial y subterránea. Se requiere investigación sobre la dinámica de los eventos hidrometeorológicos extremos: tormentas intensas, crecientes de los ríos, flujos en las llanuras de inundación, periodos de estiaje y sequías prolongadas asociadas con El Niño y con las temperaturas del Océano Atlántico tropical.

Se requiere un esfuerzo de mucha envergadura para crear las bases de datos y los inventarios (incluyendo sensoramiento remoto) para desarrollar tal agenda de investigación.

VULNERABILIDAD SOCIO-AMBIENTAL EN LA REGIÓN ANDES-AMAZONIA ANTE EL CAMBIO AMBIENTAL

La región está enfrentando un acelerado proceso de deforestación y de cambios en los usos del suelo por causa de la expansión de la frontera agrícola (legal e ilegal) y agropecuaria. Como resultado de este proceso, se aceleran las tasas de deforestación y de disminución de caudales medios, la amplificación de los caudales extremos (máximos y mínimos), la degradación del suelo, la contaminación del agua, la pérdida de biodiversidad, y el aumento de riesgos y vulnerabilidad humana y de la infraestructura.

El boque amazónico proporciona servicios ambientales irremplazables, de escala global, al mantener gigantescos depósitos de carbono (en tallos, ramas, hojas, raíces) que lo convierten en un sumidero de carbono y proveedor del servicio ambiental de la evapotranspiración, que es un proceso de enfriamiento de las temperaturas del aire y del clima. La evapotranspiración también se debe comenzar a trazar en términos económicos como Mecanismo de Desarrollo Limpio, MDL, en el Protocolo de Kyoto. Aun así, la deforestación amazónica hace que las emisiones anuales de carbono per cápita sean mucho mayores que las de otros países en desarrollo. Además, los resultados de investigaciones recientes indican que los intentos por convertir grandes extensiones de la cuenca amazónica en proyectos agrícolas o forestales muy probablemente pueden poner en riesgo las posibilidades de desa-

rollo sostenible de la mayor parte de Suramérica. Las plantaciones agrícolas no están en capacidad de proveer los servicios ambientales que presta el bosque tropical lluvioso de la cuenca amazónica, tanto por la baja fertilidad del suelo en la *terra firme* como por la incapacidad de evapotranspiración a las tasas necesarias para mantener los balances hídricos de un sistema que comprende una extensión de tierra que va del Océano Atlántico hasta casi el Pacífico.

Los actuales incentivos económicos a corto plazo para convertir grandes extensiones de los bosques tropicales lluviosos en proyectos agro-industriales, como los plantíos de soya para exportación a China y Europa, o para agro-combustibles, enfrentan a la región a riesgos enormes que deben ser evaluados críticamente. Los peligros ambientales y socio-económicos de los agro-combustibles deben ser sopesados en cada caso, dados sus impactos sobre la pérdida de biodiversidad, el aumento de tasas de erosión, la mayor producción de gases de efecto invernadero (Creutzen et al., 2008) y el incremento en los precios de los alimentos como maíz, caña, etc.

Los Andes tropicales constituyen el sitio más crítico de pérdida de biodiversidad del planeta (Myers et al., 2000) a causa de la deforestación y las malas prácticas agrícolas. Es imperativo entender el papel de la biodiversidad en procesos ecosistémicos fundamentales. También hay una urgente necesidad de emprender investigación para identificar prácticas agrícolas apropiadas sobre terrenos de altas pendientes como los de la Amazonia andina. Los acelerados procesos de deforestación y de cambio en los usos del suelo son gobernados por una irracionalidad económica de beneficio a corto plazo, la cual incentiva la expansión de la agricultura de cultivos legales e ilegales. En la Amazonia Brasileña, alrededor de ochenta por ciento de la deforestación ocurre en extensiones de terrenos de más de 20 ha, lo cual pone de manifiesto el carácter de escala comercial y no una dinámica doméstica. Además, la pobreza socio-económica del interior del bosque húmedo tropical emerge de su misma lejanía a los centros de desarrollo y a la falta de gobernabilidad y derechos. Un reciente reporte de investigación del Banco Mundial (Chomitz, 2006) sostiene que preservar los bosques húmedos tropicales que están desapareciendo rápidamente y mejorar el prospecto económico de



millones
de seres humanos pobres
requiere una mejor gobernabilidad de
los bosques nacionales.

El caso de Colombia es paradigmático; con sólo uno por ciento del territorio del planeta, Colombia exhibe entre diez y quince por ciento de la biodiversidad terrestre global. Colombia cuenta con más de 1.820 especies de pájaros, 623 especies de anfibios, 467 especies de mamíferos, 518 especies de reptiles, y 3.200 especies de peces. Hasta el 18 por ciento de esas especies son endémicas, es decir, sólo existen en Colombia. Además, Colombia cuenta con 51.220 especies conocidas de plantas vasculares, 30 por ciento de las cuales también son endémicas. Desafortunadamente, la mayor parte de tan extraordinaria biodiversidad está siendo destruida, sea por campesinos en busca de un sustento diario con menos de tres dólares al día, o por procesos intensivos de deforestación del bosque con fines agropecuarios.

Aunque las leyes de Colombia son explícitas en la protección de los bosques remanentes, su capacidad de aplicación es muy pobre, en parte debido a inadecuadas inversiones y a la casi ausencia de políticas públicas y de gobernabilidad de esas regiones estratégicas. Razones de “orden público” también hacen mucho más vulnerables los ecosistemas de Colombia. Entre 1995 y 2002, el gasto público en tareas de protección ambiental disminuyó en más de 80 por ciento (J. E.

Myers, 2005). En Colombia, la tasa anual de deforestación de bosques primarios es del orden de 56.000 ha, de acuerdo con cifras de las Naciones Unidas de 2003. Tal cifra se queda corta si se incluye la deforestación ilegal, cuya mayor parte se debe a plantaciones de palma de aceite y de coca para la producción de cocaína. El cultivo ilícito de coca y amapola en Colombia y otros países de la región constituye un serio problema ambiental.

La producción de coca tiene importantes impactos ecológicos, los cuales incluyen tener que deforestar cuatro hectáreas de bosque por una de coca. Los precursores químicos usados en el procesamiento de las hojas de coca (incluyendo kerosén, ácido sulfúrico, acetona, son altamente contaminantes y alcanzan las fuentes de agua) tienen un impacto negativo sobre la vida silvestre. Los programas de erradicación de cultivos de coca mediante aspersiones aéreas de un amplio espectro de productos químicos herbicidas, incluyendo el glifosato sobre vegetación sospechosa, destruye

la coca, pero también las cosechas de alimentos legales y de subsistencia de campesinos pobres y contamina las aguas de la alta Amazonia.

El tráfico de fauna y flora también constituye una nociva actividad ilícita en los países de la región, según signatarios de la Convención Internacional sobre el Comercio de Especies en Peligro de Extinción (Cites, por sus siglas en inglés). En un solo año, aporximadamente siete millones de animales, valorados en más de cuarenta millones de dólares, se exportan ilegalmente desde Colombia.

La vulnerabilidad de la salud humana ante los efectos del cambio climático y los cambios ambientales es determinada por varios factores, desde biológicos hasta socio-económicos y políticos. La mayoría de las enfermedades tropicales endémicas en la región, principalmente malaria, dengue, leishmaniasis, fiebre amarilla, chagas, etc., tienen fuertes vínculos ya mencionados con la variabilidad climática y ambiental (Poveda et al., 2000 y 2001) y, por tanto, son afectadas por procesos de cambio ambiental global y local. El calentamiento global y el sistema El Niño—Oscilación del Sur, Enso, están asociados al aumento en la incidencia de estas enfermedades, ya que el aumento en la temperatura del aire favorece la dinámica entomológica y biológica de los mosquitos transmisores de estas enfermedades (Rúa et al., 2005). Estos nuevos riesgos afectarán cada vez más a poblaciones no inmunes, causando brotes epidémicos en áreas anteriormente sanas. El cambio y la variabilidad del clima, los cambios en los usos de los suelos, los procesos demográficos y las severas limitaciones operacionales de los sistemas de salud pública en tareas de prevención, control y mitigación conforman una receta perfecta para agravar el perfil epidemiológico general de estas regiones. La vulnerabilidad socio-ambiental de estas poblaciones debe ser enfrentada mediante el uso de indicadores confiables y sostenibles con el paso del tiempo, con el fin de contribuir a la toma de decisiones y el establecimiento de políticas de salud pública enfocadas a la protección de la salud y del ambiente.

Tal tipo de estudios deberán usar un marco de referencia del tamaño de hogares para explorar los vínculos entre los servicios ecológicos y las poblaciones que dependen de ellos. Ese marco analítico proporcionará las herramientas para entender las estrategias de movilización

de recursos y deberá dar un abordaje transdisciplinario y multisectorial que se enfoque en las poblaciones más vulnerables. Los servicios ecológicos constituyen uno de varios aspectos que contribuyen a la lucha de las poblaciones por su sustento diario y por su búsqueda del bienestar. La reducción de la pobreza requiere entender el rango de factores que inciden sobre los procesos de toma de decisiones de la gente y de las restricciones y posibilidades de las opciones. El enfoque de hogares no sólo se concentra en el manejo de capital (natural), sino también en otros factores como salud, educación, nutrición, finanzas, y mercados y favorece el trabajo en múltiples escalas, desde la local hasta la nacional, y con los sectores público y privado. Las políticas nacionales y regionales son factores significativos para determinar la forma en que se manejan los recursos y cómo se distribuyen los beneficios entre la población. Los esfuerzos encaminados a reducir la pobreza (una de las Metas de Desarrollo del Milenio) deberán operar en el marco actual de política ambiental, el cual es dictado por muchos factores, incluyendo el aumento de PIB y el Indicador Genuino de Progreso (Halstead and Cobb, 1996), los mercados, la energía, la seguridad nacional, entre otros. Este análisis de la situación deberá llevar a cabo una revisión nacional de las políticas nacionales y regionales de manejo de recursos, como también de otras políticas sectoriales que impactan a la región Andes—Amazonia, con el propósito de lograr un mejor entendimiento de las oportunidades y restricciones existentes.

Por supuesto que un programa serio de investigación para la región Andes—Amazonia deberá involucrar las ciencias socio-económicas y socio-ecológicas. Sin embargo, soluciones duraderas que mejoren el bienestar de grandes sectores de los habitantes de la región, y que a su vez mantengan una sólida base ecológica como factores de transformación, todavía están por construir. Sin embargo, hay proyectos de pequeña escala (p. ej. Miramaúá en Brasil) que actualmente se están desarrollando, los cuales proporcionan casos de estudio empírico para ilustrar las decisiones desde un enfoque regional de mayor escala. Tales ejemplos exitosos de manejo de los recursos naturales ofrecen ideas para solucionar los problemas de gobernabilidad, autoridad, equidad, y autonomía, todos los cuales constituyen aspectos de promoción sostenible de los esfuerzos de disminución de la pobreza en la región.

MECANISMOS PARA PREVENIR EL INCREMENTO EN LA DEFORESTACION Y DEGRADACION AMBIENTAL DE LA REGIÓN MEDIANTE LA EXPLOTACIÓN RACIONAL Y SOSTENIBLE DE LOS RECURSOS NATURALES

Frente a las urgentes amenazas actuales de tipo socio-ambiental, resultantes del cambio climático y de la deforestación, es imperativo para la supervivencia de los países de la región que se promuevan y pongan en práctica modos de vida alternativos y sostenibles con el paso del tiempo, con y en los ecosistemas (desde los páramos, punas y yungas hasta los bosques tropicales lluviosos). Éstos deberán ser dinamizados por señales económicas adecuadas y por la regulación gubernamental, es decir, el verdadero valor económico de los ecosistemas (tal como lo definen las Metas de los Ecosistemas del Milenio) tiene que ser involucrado en los sistemas de contabilidad nacionales, regionales y locales. La economía debe ser honesta con el ambiente (Poveda, 2008). Existe la necesidad de involucrar el concepto de una escala óptima del tamaño de la economía relativo a los ecosistemas. Actualmente se supone que el agregado de la economía crecerá para siempre (Brown, 2001 y 2006). También es necesario cuantificar los impactos de los cambios de la biodiversidad sobre el bienestar humano y desarrollar métodos nuevos y adecuados para cuantificar los beneficios de la biodiversidad. Los bosques tropicales lluviosos son ecosistemas altamente productivos en su estado natural. Ellos proporcionan servicios que incluyen: regulación de las crecientes de los ríos, control de la erosión, protección contra el calentamiento global, albergue de biodiversidad, almacenamiento y reciclaje de nutrientes y recreación, valorados en 33 trillones de dólares en 1997 (Constanza et al., 1997). Los bosques también desempeñan un papel fundamental en el reciclado de la lluvia continental que hace que el interior de la región Andes–Amazonia sea productivo y habitable. El inmenso capital económico, ambiental y natural que representa la biodiversidad debe ser incorporado a la ecuación en las tareas de valoración de los ecosistemas. Es necesario desarrollar nuevos marcos de referencia para que los políticos y



encargados de la toma de decisiones puedan medir el alcance del impacto ambiental por la necesidad del uso de recursos. Los mercados de carbono que existen en la actualidad excluyen intencionalmente los beneficios potenciales del carbono almacenado en los bosques, aunque esta situación puede cambiar, de seguro en el futuro cercano, si se implementan los esfuerzos para crear un mecanismo económico honesto que compense a los países tropicales por reducir la deforestación, bajo la Convención marco sobre cambio climático de las Naciones Unidas.

El reporte del Banco Mundial, mencionado más atrás, sugiere que detener la conversión de bosques en pastos es un área en la que las intervenciones de políticas podrían ser más eficaces, en tanto que las regiones se beneficiarían mucho más por los pagos que se hagan por evitar la deforestación que por la deforestación basada en otra racionalidad económica de beneficio a corto plazo. Tales pagos podrían ser usados para apoyar una agricultura más intensiva, aunque ambientalmente más sostenible, y al mismo tiempo se prevendría la reducción de la frontera del bosque. El mismo reporte del Banco Mundial hace un llamado a la existencia de sistemas de valoración y financiación y mercadeo de los mercados globales de biodiversidad y carbono, como incentivos financieros para evitar la deforestación, que simultáneamente pueden proveer

a los países de la región Andes–Amazonia de fondos adicionales para mejorar la gobernabilidad en las regiones del bosque húmedo tropical, y para promover el manejo sostenible de la tierra e impulsar los ingresos de la población rural. El reporte Stern llegó a conclusiones similares, en cuanto identificó que, aun considerando el costo de tales pagos, “la reducción de la deforestación es una manera altamente costo–efectiva de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero”. En el trabajo de Moutinho y Schwartzman (2005) se presentan varios ejemplos interesantes de reducción de la deforestación, apoyados por el Brasil y otros países de la región Andes–Amazonas.

El manejo sostenible, el uso y explotación de la extraordinaria biodiversidad de la región Andes–Amazonia requiere la valoración de áreas de conservación y reserva como bancos de biodiversidad. Otras opciones de explotación sostenible incluyen los productos no maderables del bosque tropical de enorme potencial económico en productos farmacéuticos, cosméticos, resinas, pinturas, y toda la bio–industria. El manejo sostenible de la biodiversidad de la región Andes–Amazonia presenta muchos retos, y uno de los cuales casi nunca se discute es la necesidad de desarrollar un nuevo paradigma económico basado en el bosque tropical, para el cual se requieren bio–tecnologías innovadoras apropiadas que agreguen valor al corazón del bosque.



Será virtualmente imposible atender las necesidades básicas de los habitantes de la región Andes–Amazonia sin un esfuerzo masivo en investigación científica que conduzca a descubrimientos científicos en relación con los usos económicos de la biodiversidad, que propicie los desarrollos tecnológicos subsecuentes que transformen tales descubrimientos en productos innovadores para los mercados regionales y globales. Una estrategia de conservación per se, aunque es crucial, no puede en sí misma garantizar el mantenimiento sostenible de los ecosistemas de la región Andes–Amazonia y dejaría a la región al garete una vez que los países desarrollados resuelvan el problema tecnológico de su adicción a los combustibles fósiles.

ACTORES DE FINANCIACIÓN

El programa de investigación que se plantea en este trabajo deberá ser apoyado por las agencias públicas de ciencia y tecnología, así como por los Ministerios

de Ambiente de los países de la región. Asimismo, vemos indispensable que éste sea el marco científico del Tratado de Cooperación Amazónica, así como de la Comunidad Andina de Naciones. El Instituto Interamericano para la Investigación del Cambio Global, IAI, deberá desempeñar un papel importante en la financiación de estas necesarias investigaciones.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen valiosas discusiones y comentarios a las versiones preliminares de este trabajo a los siguientes colegas: Carlos Llerena, Remigio Galarraga, John Gash, Lelys Bravo, Eduardo Palenque, Ernesto Guhl, José A. Lozano, Margarita Pacheco–Montes, Carlos Rodríguez, Sara E. Bennett, Eduardo Mariño, Antonio Nobre, Luiz Martinelli, Ulisses Confalonieri, Tercio Ambrizzi, Bernard Francou, Michael McClain, Yadvinder Malhi, Donald R. Nelson, Andrew Mitchell, Dr. Katherine Secoy, Roni Avissar, Carla Restrepo, Peter Furey, Otto de Keizer y Walter Vergara.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BROWN, R. L. *Eco-Economy*. Nueva York: Norton. 2001. 333 p.
- BROWN, R. L. *Plan B 2.0: Rescuing a Planet Under Stress and a Civilization in Trouble*. Nueva York: Norton. 2006. 365 p.
- COSTANZA, R., R. D'ARGE, R. DE GROOT, S. FARBER, M. GRASSO, B. HANNON, K. LIMBURG, S. NAEEM, R. V. O'NEILL, J. PARUELO, R. G. RASKIN, P. SUTTON Y M. VAN DEN BELT. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, n.º 387, p.253 - 260.
- CHOMITZ, K.M. *At Loggerheads?: Agricultural Expansion, Poverty Reduction, and Environment in the Tropical Forests*. World Bank Publications. 2006.
- CRUTZEN, P. J., A. R. MOSIER, K. A. SMITH Y W. WINIWARTER. N₂O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels. *Atmos. Chem. Phys.*, n.º 8, p.389-395.
- ELTHAIR, E. A. Y R. BRAS. On the response of the tropical atmosphere to large-scale deforestation, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, n.º 119, p.779-793.
- FRANCOU, B. Y A. COUDRAIN. Glacier shrinkage and water resources in the Andes. *EOS*, n.º 86, p.415.
- HALSTEAD, T. Y C. COBB. The need for new measurements of progress. En: *The Case Against the Global Economy. And a turn toward the local*. J. Mander y E. Goldsmith (eds.), Sierra Club Books, 1996. p.197-206,
- MARENGO, J.A., W. R. SOARES, C. SAULO Y M. NICOLINI. Climatology of the low-level jet east of the Andes as derived from the NCEP Reanalyses, *J. Climate*, n.º 17, p.2261-2280.
- MAKARIEVA, M. Y V. G. GORSHKOV. Biotic pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, n.º 11, p.1013–1033.

- MYERS, N., MITTERMEIER, R. A., MITTERMEIER, C. G., DA FONSECA G. A. B. Y KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, n.º 403, p.853-858.
- MORENO, H. A., J. I. VÉLEZ, G. POVEDA, J. V. GUZMÁN, P. A. ROLDÁN Y J. E. ARANGO. Almacenamiento de agua lluvia para zonas rurales de Colombia, *Ingeniería Hidráulica en México*, p. 107-112, abril-junio 2007.
- MOUTINHO, P. Y S. SCHWARTZMAN. *Tropical deforestation and climate change*. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazonia and Environmental Defense. 2005.
- NOBRE, C. A., M.A.S. DIAS, A. D. CULF, J. POLCHER, J.H.C. GASH, J.A. MARENGO Y R. AVISSAR. The Amazonian Climate. En: *Vegetation, Water, Humans and the Climate: A New Perspective on an Interactive System*, 2004. p.79-92.
- POVEDA, G. Science priorities ignore Colombia's water needs. *Nature*, n.º 431, p. 125.
- POVEDA, G., Impactos del cambio global y la necesidad de una Eco-Economía. *Economía Colombiana*, n.º 323, p.9-17.
- POVEDA, G., O. J. MESA, P. A. ARIAS, L. F. SALAZAR, H. MORENO, S. C. VIEIRA, P.A. AGUDELO, V.G. TORO Y J. F. ÁLVAREZ. Diurnal cycle of precipitation in the tropical Andes of Colombia. *Monthly Weather Review*, vol. 1, n.º 133, p.228-240.
- POVEDA, G. Y K. PINEDA. Estimation of Current Retreat Rates in Colombia's Tropical Glaciers: Are They Bound to Disappear During the Next Decade?, 4th Alexander von Humboldt International Conference, Santiago de Chile, 2008.
- POVEDA, G., N. E. GRAHAM, P. R. EPSTEIN, W. ROJAS, M. L. QUIÑONEZ, I. D. VÉLEZ Y W. J. M. MARTENS. Climate and ENSO variability associated with vector-borne diseases in Colombia. En: DIAZ, H.F. AND V. MARKGRAF (Eds.), *El Niño and the Southern Oscillation, Multiscale Variability and Global and Regional Impacts*. Cambridge University Press, 2000. p.183-204.
- POVEDA, G., W. ROJAS, I. D. VÉLEZ, M. QUIÑONES, R. I. MANTILLA, D. RUIZ, J. ZULUAGA Y G. RUA, Coupling between Annual and ENSO timescales in the malaria-climate association in Colombia. *Environmental Health Perspectives*, n.º 109, p.489-493.
- POVEDA, G., A. JARAMILLO, M. M. GIL, N. QUICENO, Y R. MANTILLA. Seasonality in ENSO Related Precipitation, River Discharges, Soil Moisture, and Vegetation Index (NDVI) in Colombia. *Water Resources Research*, vol. 37, n.º 8, p.2169-2178.
- POVEDA, G., P. R. WAYLEN Y R. PULWARTY. Modern climate variability in northern South America and southern Mesoamerica. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, & Palaeoecology*, n.º 234, p.3-27.
- RÚA, G. L., M. L. QUIÑONES, I. D. VÉLEZ, J. S. ZULUAGA, W. ROJAS, G. POVEDA Y D. RUIZ. Laboratory Estimation of the Effects of Increasing Temperatures on the Duration of Gonotrophic Cycle of Anopheles Albimanus (Diptera: Culicidae). *Mem. Inst. Oswaldo Cruz*, vol. 5, n.º 100, p.515-520.
- WERTH, D. Y R. AVISSAR. The Local and Global Effects of Amazon Deforestation. *Journal of Geophysical Research*, n.º 107, p.8087.