

GEOINDICADORES DE CAMBIOS GLOBALES RÁPIDOS EN LOS TRÓPICOS HÚMEDOS

Lylían Coltrinari (*)

RESUMEN - Los cambios globales son transformaciones en el ambiente terrestre y en la vida que lo habita, que son partes inseparables del sistema Tierra. La expresión "cambios globales" traduce una visión integrada de las modificaciones que ocurren en el planeta, según la cual esos cambios físicos, químicos y biológicos son consecuencia de interacciones entre la atmósfera, los océanos, los hielos continentales y la Tierra sólida con los sistemas biológicos.

Estos cambios abarcan todas las escalas, desde las superiores a los millones de años (procesos naturales) hasta las centenas/decenas de años (procesos antrópicos o antropogénicos). Los geoindicadores son medidas de procesos y fenómenos que ocurren en la superficie terrestre, o próximos a ella, que ofrecen informaciones significativas para una evaluación ambiental. La monitorización de esos geoindicadores permite acompañar los cambios rápidos – con períodos inferiores a 100 años –, que se manifiestan por medio de variaciones en la magnitud, la frecuencia y la velocidad de los procesos catastróficos o graduales, pero evidentes en plazos iguales a, o más cortos que una vida humana.

La ausencia de datos sobre los procesos geomorfológicos y el carácter aparentemente aleatorio de las intervenciones antropogénicas impiden la proposición de diagnósticos adecuados para el uso, la recuperación, la conservación y la preservación de los recursos naturales. Los cambios ambientales naturales de los paisajes son resultado de ajustes internos en los parámetros geológicos y climáticos que, a su vez, producen modificaciones en la vegetación y en los procesos y materiales superficiales.

Esas interacciones y sus variaciones temporales, espaciales y de magnitud son poco conocidas, hecho que contribuye para el conocimiento poco preciso sobre la dinámica de los sistemas 'naturales'. Además, las actividades antrópicas actúan como presiones externas que modifican los umbrales de estabilidad y perjudican la comprensión de las modificaciones de los geoindicadores como las que se observan, por ejemplo, en los canales fluviales a causa de las fluctuaciones del caudal y de la carga sólida asociados a la erosión acelerada en las vertientes después del corte selectivo de árboles en la selva y en los bosques tropicales.

Como el ambiente tropical húmedo es menos conocido que muchos otros, no existen series de datos y es bastante difícil distinguir los cambios naturales de los antropogénicos. La investigación de los geoindicadores y sus variaciones puede ser un medio adecuado para reunir informaciones sobre los cambios pasados y presentes, divulgar y utilizar métodos simples de evaluación y control de las modificaciones ambientales, y también ayudar a distinguir entre las variaciones naturales y las inducidas por el hombre.

Completan este estudio listas de los procesos y parámetros sujetos a variaciones en el período previsto para los geoindicadores en la zona tropical y de fuentes de datos.

INTRODUCCIÓN

Los geoindicadores fueron propuestos como instrumentos de medidas de alta resolución de las mudanças de corto plazo que ocurren en el ambiente geológico por la COGEOENVIRONMENT (Commission on Geological Sciences for Environmental Planning) de la IUGS (International Union for Geological Sciences) en la primera mitad de los años 90. La idea de establecer parámetros para la evaluación de cambios ambientales rápidos y con efectos espaciales limitados culminó con la creación de un grupo de trabajo sobre geoindicadores.

La iniciativa de crear ese grupo fue consecuencia de la constatación de que el conocimiento preciso del estado actual del ambiente, de la biodiversidad y de los cambios climáticos interesa a los investigadores, pero es también vital para los gobiernos y las agencias internacionales. Al mismo tiempo es fácil comprobar que, aunque muchas de esas cuestiones son estudiadas por las ciencias de la Tierra, las evidencias geológicas y geomorfológicas indicadoras de cambios globales desempeñan hoy un papel secundario en relación a los indicadores biológicos, ecológicos y socio-económicos. Hace mucho tiempo que las geociencias estudian los procesos que dan origen a los cambios terrestres y pueden ofrecer informaciones valiosas sobre los sistemas ambientales en diferentes intervalos temporales.

(*) Departamento de Geografía USP, São Paulo (Brasil)

En 1994, el grupo de trabajo presentó la siguiente definición de geoindicadores: son medidas de magnitudes, frecuencias, tasas y tendencias de procesos o fenómenos geológicos que ocurren en períodos de cien años o menos en, o en las proximidades de la superficie terrestre, y pueden presentar variaciones significativas para la comprensión de los cambios ambientales rápidos. Los geoindicadores miden tanto los procesos catastróficos cuanto los más lentos, pero perceptibles en el intervalo de una vida humana (BERGER, 1996).

Una de las mayores dificultades para la investigación de los geoindicadores reside en la dificultad de distinguir entre los cambios naturales, de escala decenal o secular, y los efectos derivados de la interferencia humana en el paisaje. Es un problema complejo ya que, en esas escalas, cambios naturales como una inundación o un huracán tienen consecuencias graves para los habitantes de la Tierra, y los efectos de las actividades humanas, como la emisión de gases tóxicos de las industrias, son más intensos.

CAMBIOS GLOBALES EN LOS TRÓPICOS

La expresión 'trópicos' se refiere colectivamente a la faja terrestre comprendida entre los anticiclones localizados aproximadamente a 30° de latitud al norte y al sur del ecuador, donde el exceso de radiación en la interfase tierra – aire y las variaciones anuales y estacionales de la precipitación son fenómenos característicos (REYNOLDS, 1985).

La consideración de los parámetros climáticos en estas áreas es de suma importancia para la evolución de las formas y los materiales en esta zona climática, pero es difícil establecer relaciones entre clima y procesos y, en particular, cuantificarlas. El punto de vista tradicional de la geomorfología climática, que simplifica las relaciones entre el clima y el relieve, pierde validez cuando se consideran las dimensiones espaciales y temporales y la magnitud y la frecuencia de los flujos hidrológicos, junto con la influencia de las formaciones vegetales, como factores fundamentales de los cambios que ocurren en la superficie sólida. Para poder comprender las diferencias entre, y dentro de las tierras bajas estables e intensamente meteorizadas y los cinturones orogénicos tectónicamente activos, también debemos ser considerados la historia geológica y geomorfológica de los paisajes (DOUGLAS, 1985).

La ausencia de datos sobre los procesos geomorfológicos y el carácter aparentemente aleatorio de las intervenciones antrópicas aumentan las dificultades existentes para administrar, recuperar, conservar y preservar los recursos naturales. Los cambios naturales de y en los paisajes son resultado de ajustes internos en los parámetros geológicos y climáticos, y dan origen, a su vez, a modificaciones en la vegetación y en los procesos y materiales superficiales; estas interacciones y sus variaciones temporales y espaciales son, también poco conocidas. Las actividades antrópicas actúan, a su vez, como presiones externas que modifican los límites de estabilidad y perjudican la comprensión de los cambios en los geoindicadores, como sucede, por ejemplo, en los canales fluviales a causa de las fluctuaciones del caudal y de la carga sólida asociadas a la erosión acelerada en las vertientes después del desmonte selectivo de selvas y bosques (COLTRINARI, 1996).

La degradación de la selva y del suelo

La vegetación arbórea ocupa 40% de la zona tropical, y aproximadamente la mitad está ocupada por la selva. En las áreas restantes se encuentran bosques húmedos estacionales (de tipo monzónico), sabanas con árboles – como el cerrado brasileño – y otros tipos de vegetación, entre ellas los manglares (VANCLAY, 1993).

Las selvas tropicales, como la que ocupa la Amazonia brasileña, tienen influencia fundamental en el clima global y en la composición química de la atmósfera, además de otras influencias en la regularización del clima. Con su destrucción aumenta la amplitud térmica, la humedad relativa y el albedo superficial se modifican y ocurren cambios en la distribución temporal y espacial de las precipitaciones. (MOLION, 1991).

Abajo de la vegetación densa y saludable, la humedad del suelo en la zona de las raíces es utilizada por las plantas para mantener el control de la temperatura, que está estrechamente relacionado con la respiración de las hojas y la fotosíntesis, que saturan el aire a una tasa conocida como evapotranspiración potencial. Cuando la humedad del suelo disminuye abajo de un límite crítico, o la vegetación es poco densa o está degradada, el índice de evaporación se reduce abajo de ese valor. Con el suelo descubierto, la evaporación puede caer aún más, y dependerá de la historia reciente de la precipitación, la ascensión capilar y la difusión muy lenta del vapor de agua en los poros del suelo. Como consecuencia puede ocurrir degradación y erosión del suelo y formación de grandes cárcavas; mudanzas en la descarga de agua y sedimentos, aumento del volumen de las inundaciones y cambios en la morfología de los canales son también frecuentes (NASA, 1988; GUPTA, 1993).

Hace mucho tiempo que las actividades humanas causan impactos en la vegetación; de acuerdo con VANCLAY (1993) cada año son destruidas en torno de 17 millones de ha de selvas tropicales. África presenta el mayor índice de destrucción (1,7 %/año), pero la mayor área destruida se localiza en América del Sur. El desmonte de la selva amazónica en Brasil aumentó, de aproximadamente 2,4% del área total en 1970 para 3,8% en 1978 y 10,5% en 1991. Se calcula que, entre 1978 y 1988, el índice anual de destrucción fue de 22.000 km² +/-10%. Actualmente la destrucción avanza a lo largo de los bordes sur y este de la selva y se prolonga siguiendo los caminos que atraviesan la región, amenazando áreas hasta ahora relativamente preservadas.

La actividad humana siempre causó impactos en la vegetación. La destrucción de bosques y selvas siempre fue causa y consecuencia de cambios ambientales globales en diferentes escalas espacio-temporales. Sin embargo, la evaluación de las modificaciones en la composición atmosférica, el clima, la biodiversidad y el ciclo hidrológico debidas a la degradación de las formaciones vegetales no puede ser realizada fácilmente, principalmente porque los datos sobre los cambios pasados y presentes en la vegetación son compilados a partir de fuentes variadas y raramente estandarizados. (TURNER & MEYER, 1992).

Urbanización

La población urbana en los países en desarrollo, localizados en su mayoría en la zona tropical y subtropical, aumentó de 286 a 1.515 millones entre 1950 y 1990, cifra que deberá llegar a 4.000 millones en 2025. Se espera también que algunas ciudades, entre ellas México, Bombay y San Pablo, tendrán crecimiento muy grande. Los mayores cambios que acompañan la urbanización pueden ser resumidos como cambios en la hidrología, la geomorfología, el clima y la vegetación, y también en la calidad del aire y del agua. (GUPTA, 2000).

Una de las primeras síntesis sobre los cambios provocados por la urbanización en el uso de la tierra y del agua en los trópicos fue presentada por DOUGLAS (1977) en su estudio sobre Kuala Lumpur. Los cambios causados por la destrucción de la vegetación, la construcción desordenada de habitaciones, apertura de pozos, la colecta de desperdicios, etc., en la transición entre el período pre-urbano y la fase inicial de la urbanización causaron, entre otros efectos, aumento en la transpiración y en el caudal del escurrimiento de tormenta, desarrollo de cárcavas, sedimentación en los valles, erosión del suelo y enriquecimiento orgánico de los ríos. Las etapas finales de la urbanización provocaron aumento mayor del escurrimiento y de los riesgos de grandes inundaciones, debido al aumento de la superficie impermeabilizada por la construcción de casas y la pavimentación de calles, obstrucción de tubos y cañerías de desagüe, contaminación de los ríos por detergentes y residuos industriales. Problemas semejantes fueron causados en las ciudades brasileñas por el crecimiento urbano a partir de los años 70.

Otro efecto del crecimiento vertical y horizontal de las ciudades y de la acumulación de calor es la 'isla de calor' causada por los cambios en los flujos naturales de materia y energía, y asociado a la disminución de la evaporación y a las características térmicas de los edificios y superficies pavimentadas. La dirección de los vientos puede ser modificada y durante tiempo calmo – y de acuerdo con la morfología del sitio, tipo de tiempo y distribución de los edificios – la ciudad puede atraer vientos de las áreas vecinas, aumentando la contaminación atmosférica.

El efecto de la 'isla de calor' puede también aumentar entre 5 e 10% la concentración de material contaminante, provocando modificaciones en la flora y la fauna, que pueden desaparecer (LOMBARDO, 1985). El aumento de las precipitaciones, a su vez, puede aumentar la frecuencia de los movimientos en masa en las vertientes y la excavación de cárcavas, así como el relleno de valles y llanuras de inundación. Este es el caso de San Pablo, en Brasil, donde la expansión del sitio urbano ocupó el borde de la cuenca sedimentar terciaria, avanzando sobre rochas cristalinas y metamórficas profundamente intemperizadas, con consecuencias desastrosas.

De acuerdo con GUPTA (2000) es posible sugerir indicadores para medir los impactos de la urbanización que, en los trópicos, parece tener sus efectos aumentados. No es tarea simple, ya que 1) los geoindicadores fueron creados especialmente para medir cambios geológicos, 2) la evaluación correcta y completa de los cambios debería considerar el ambiente de cada ciudad, y 3) los geoindicadores deben ser utilizados con la intención de llegar al desarrollo sustentable. Es posible que un cierto número de indicadores destinados a medir cambios asociados con la urbanización – cambios en canales naturales, en el uso de la tierra, o la colecta de agua servida – pueda ser utilizado por todas las ciudades. Sin embargo, sería necesaria una lista adicional de geoindicadores para ciudades localizadas en áreas críticas, tales como deltas o llanuras litorales, vertientes escarpadas, o en las proximidades de bordes de placa activos. (GUPTA, *op.cit.*)

GEOINDICADORES PARA LOS TRÓPICOS HÚMEDOS (COLTRINARI, 1996).

La síntesis incluye procesos y parámetros que pueden ser afectados por cambios de corto plazo en la zona tropical, junto con sus parámetros respectivos y una lista con fuentes de datos. Los indicadores adecuados deben ser controlados en escalas espacio – temporales que varían de acuerdo con el tamaño, extensión, amplitud, duración y periodicidad de los procesos y los parámetros estudiados. Algunos de ellos deben ser especialmente considerados, tales como la distribución estacional de las precipitaciones, los ciclos vegetales y el ciclo anual de las 'queimadas' (rozado con quema), que pueden causar cambios importantes en los geoindicadores en la zona tropical húmeda.

Procesos y parámetros ambientales sujetos a cambios

Los procesos y parámetros enumerados fueron seleccionados considerando que ocurrirán cambios mensurables y que los cambios en los diferentes sistemas pueden ofrecer información confiable y significativa para los investigadores y el público en general

1. erosión del suelo por escurrimiento superficial y movimientos en masa, relacionados o no con actividades humanas
2. cantidad de materia orgánica y sus efectos en las características del suelo
3. volumen y área de los depósitos tecnogénicos
4. morfología de los canales fluviales relacionada con modificaciones del caudal y/o carga sólida
5. sedimentación fluvial causada por procesos de vertientes y fluviales, o actividades en las llanuras de inundación
6. los deltas, como archivos de registros de cambios, tanto en la historia de la cuenca como en el nivel del mar
7. erosión y sedimentación costeras causadas por procesos naturales o perturbaciones humanas, incluyendo la degradación de los manglares por sedimentación y contaminación química
8. degradación de la vegetación, en particular selvas y bosques
9. contaminación y/o acidificación del aire, a agua y la tierra, dentro y alrededor de áreas de mineración y distritos industriales.

Geoindicadores a ser controlados

1. aumento de las áreas con suelo descubierto
2. cambio de escurrimiento no concentrado para concentrado
3. erosión regresiva en las cabeceras
4. coluvionamiento y aluvionamiento
5. cambios en la morfometría y la morfología de las vertientes
6. velocidad de los movimientos en masa y señales de movimientos futuros
7. cambios en los canales
8. caudal y carga sólida de los ríos
9. cambios cualitativos y cuantitativos en la vegetación
10. índices de destrucción de selvas y bosques

Fuentes de datos sobre geoindicadores

3.3.1. Investigación de campo

1. calicatas y vertientes de cárcavas
2. instalación de parcelas para estudio de procesos geomorfológicos y registros meteorológicos
3. descripción y muestreo de suelos y materiales superficiales
4. mapas y perfiles de vertientes
5. monitorización meteorológica en el nivel inferior de la vegetación y en las áreas abiertas para comparación con series anteriores de datos
6. levantamiento de campo de la vegetación

Para completar los datos de campo y/o evaluar cambios en escala regional/continental a lo largo de años/décadas, otras fuentes pueden ser adecuadas:

1. imágenes digitales de satélites para análisis manual o por computadora
2. fotografías aéreas y terrestres
3. interpretación y comparación entre *surveys* actuales y pasados
4. comparación entre mapas topográficos, de vegetación, geológicos, geomorfológicos y de suelos, y entre levantamientos actuales y pasados
5. datos meteorológicos e hidrológicos
6. análisis físicas y químicas, estudios micromorfológicos de suelos y depósitos superficiales

Evaluación de cambios pasados (Cuaternario Superior)

1. análisis e interpretación de productos de percepción remota y bases de datos
2. informes científicos, técnicos, políticos, socio-económicos, que incluyan diagnósticos sobre cuestiones ambientales
3. disertaciones de cursos de posgrado en geografía, geología, meteorología, ingeniería, geoquímica, edafología, hidrología, arqueología, arquitectura del paisaje, y otros
4. datos geológicos, arqueológicos, paleontológicos y correlacionados, métodos de datación aplicados a depósitos geológicos
5. documentos, mapas, fotografías, pinturas de paisajes – en archivos, colecciones, museos y bibliotecas oficiales y particulares.

CONSIDERACIONES FINALES

Los ejemplos que presentamos fueron retirados de trabajos realizados en especial en Brasil, para mostrar las relaciones entre procesos 'naturales' y antrópicos/antropogénicos que pueden desencadenar cambios en el ambiente. Los casos mencionados muestran que la degradación y varios de sus indicadores no son esencialmente diferentes de aquellos que ocurren en otros ambientes, y pueden ser estudiados, controlados y evaluados utilizando métodos e instrumentos similares.

Las diferencias aparecen cuando se comparan las características de los procesos y sus efectos en los indicadores – ritmo, intensidad, duración, permanencia. En muchos casos, esas diferencias están claramente relacionadas con variaciones en la vegetación, cuyo estudio específico sería preciso para completar la investigación de los geoindicadores. Para eso, sería necesario y conveniente rever el concepto de geoindicador.

BIBLIOGRAFIA

- BERGER, A. (1996) The geoindicator concept and its application: An introduction. In: BERGER, A. ; IAMS, W.J. eds. *Geoindicators: Assessing rapid environmental changes in Earth systems*. Rotterdam, A. A. Balkema, p.1-14.
- COLTRINARI, L. (1996) Natural and anthropogenic changes in the Brazilian tropics. In: In: BERGER, A. ; IAMS, W.J. eds. *Geoindicators: Assessing rapid environmental changes in Earth systems*. Rotterdam, A. A. Balkema, p. 295 - 310.
- DOUGLAS, I. (1985) Global mega-geomorphology. In: HAYDEN, R.S. ed. *Global mega – geomorphology*. USA, NASA, CP 2312. p.10 – 17.
- GUPTA, A. (2000) Geoindicators for tropical urbanisation. Conferencia realizada en el Simposio 'Geoindicators: Applications to the Humid Tropics', 31st International Geological Congress. Rio de Janeiro, Agosto 6 – 17, 2000. [manuscrito] 13p.
- GUPTA, A. (1993) The changing geomorphology of the humid tropics. In: VITEK, J.D.; GIARDINO, J.R. eds. *Geomorphology: The research frontier and beyond*. Amsterdam, Elsevier. p. 165 – 186.
- LOMBARDO, M.A. (1985) *Ilha de calor nas metrópoles: O exemplo de São Paulo*. São Paulo, Hucitec.
- NASA (1988) *Earth System Science – A closer view*. Washington, D.C., National Aeronautics and Space Administration Advisory Council, Earth System Science Committee.
- REYNOLDS, R. (1985) Tropical meteorology. *Progress in Physical Geography*, v.9, p. 157-186.
- MOLION, L.C.B. (1991) The Amazonia and the global climate. *Boletim IG-USP, Pub.Espec.* n.8, p. 15 –23.
- TURNER II, B.L.; MEYER, W. (1988) Land, Water, and Society. *Earthquest*, Summer 1992, Science Capsule
- VANCLAY, J.K.(1993) Saving the tropical forests: needs and prognosis. *Ambio*, v.22, n.4, p. 225-231.