

ORDENAMIENTO Y BALANCE ENERGETICO

Mario Segnini B., Ph. D.

Escuela de Química
Universidad de Costa Rica

Introducción:

Aunque la palabra ordenamiento se usa cada vez con más frecuencia, conviene especificar más detalladamente el sentido con el cual será usada a lo largo de este artículo; para nuestro propósito, *ordenamiento del medio ambiente* significará la explotación racional de los recursos naturales; dicho de otra manera, ordenar consistirá en modificar en nuestro provecho, el ambiente natural, pero sin destruirlo irreversiblemente. De lo dicho anteriormente, se desprende que el vocablo ordenamiento implica la intervención del hombre en la naturaleza, lo que hace que la acción de ordenar tenga que ser clasificada dentro de las acciones potencialmente más peligrosas para el hombre.

En este trabajo trataremos de aclarar los procesos energéticos de los sistemas ambientales para el ordenamiento de esos sistemas, basados en los flujos energéticos.

Balances energéticos como base de la clasificación del Medio Ambiente

Los fenómenos naturales presentan un aspecto dinámico en forma de flujo energético, que en algunos casos es obvio, como sucede en los ríos, el golpear de las olas sobre las costas acantiladas, etc., pero que en otros, no salta tan obviamente a la vista y más bien dan la impresión de ser estáticas. Tal es el caso de una montaña, un bosque, etc. Un análisis más a fondo, muestra sin embargo, que estos fenómenos también participan del dinamismo, incitante de la naturaleza, a través de proce-

sos de erosión, movimientos tectónicos, fotosíntesis, etc.

Aceptada la idea de que en todo sistema natural siempre existen una o más entradas de energía y de la misma manera una o varias salidas, es decir, un flujo de energía, pasamos a describir cómo es que este balance energético permite clasificar los diferentes medios ambientales.

De acuerdo con las leyes de la termodinámica, un cuerpo no puede ni absorber, ni liberar energía, sin cambiar su estado termodinámico, es decir, su temperatura, presión, forma, etc. (Primera Ley de la Termodinámica).⁽¹⁾

Así, por ejemplo, una planta adulta que esté absorbiendo energía solar, debe, de alguna forma, liberarse de ella, so pena de incrementar su temperatura hasta el punto de combustión y quemarse espontáneamente. El hecho de que esto no ocurra, nos lleva a la conclusión de que las plantas tienen una "habilidad" innata de disipar o de degradar ^(*) la energía absorbida. Una planta adulta es, pues, desde el punto de vista termodinámico, un sistema estable.

Consideremos ahora una roca que está siendo golpeada por las olas del mar; en este tipo de fenómeno, nos encontramos con frecuencia que la roca, incapaz de usar o transmitir la energía suministrada por las embestidas del oleaje, sufre fisuras microscópicas que al cabo de los años, ocasionan su quebrantamiento total. En términos termodinámicos, el quebrantamiento representa un cambio de estado a través de una trayectoria irreversible y el sistema (la roca), se dice ser inestable. (Segunda Ley de la Termodinámica) ⁽²⁾.

Generalizando los conceptos anteriores, los diferentes ambientes se pueden clasificar en: a) estables, b) moderadamente inestables y c) inestables; dependiendo de su habilidad para disipar el influjo de energía sin autodestruirse durante el proceso.

Sistemas estables:

Los sistemas ambientales estables se caracterizan por tener un balance energético adecuado, y comprenden desde aquellos que reciben grandes cantidades de energía pero que poseen una gran capacidad de disipación hasta aquellos otros que teniendo una relativamente baja capacidad de degradación energética, también tienen un influjo energético relativamente bajo.⁽²⁾

Algunos bosques costarricenses son magníficos ejemplos de sistemas estables con altos niveles tanto de afluencia como de efluencia energética, por lo que dedicaremos el resto de este apartado a comentar su dinámica más exhaustivamente.

Las principales entradas de energía de esos sistemas son la radiación solar y la lluvia⁽³⁾. La primera es absorbida por las hojas durante el proceso de la fotosíntesis, que también requiere del agua y del dióxido de carbono, los que la planta extrae del suelo y de la atmósfera respectivamente.

En el proceso se sintetizan los carbohidratos y la radiación solar es pues "acumulada" en compuestos de contenido energético más alto pero que no elevan la temperatura de la planta.

En la realización de las funciones vitales, los carbohidratos se oxidan para volver a dar agua y dióxido de carbono liberándose así la energía que se había acumulado durante la fotosíntesis. Esta energía es ahora utilizada por el árbol para mantener su temperatura, crecer, transpirar, etc.

Todas éstas son formas propias de un bosque (árbol) de disipar energía, pero si concentramos nuestra atención en la última de ellas, nos daremos cuenta de su enorme importancia. En primer lugar, notamos que en cuanto al agua se refiere el efecto neto del proceso de transpiración consiste

en extraer agua del suelo por medio de las raíces, transportarla a las hojas donde se descarga en forma de vapor a la atmósfera. Este proceso es esencialmente una evaporación y como toda evaporación es un proceso endotérmico, es decir, consumidor de energía; en efecto, se necesitan aproximadamente 540 calorías para evaporar un gramo de agua⁽⁴⁾. Tomando en cuenta que un árbol puede, bajo ciertas condiciones, transpirar aproximadamente 100 litros de agua diarios, es fácil darse cuenta de la gran cantidad de energía que se disipa en el proceso. (100 litros = 10^5 gramos, luego un árbol disipa alrededor de 5.4×10^7 calorías diarias). ^(2*)

El bosque juega otro papel importante en la degradación del influjo energético asociado con la lluvia, como veremos a continuación.

El agua evapotranspirada por un bosque, pasa a enriquecer la humedad de la atmósfera y por lo tanto favorece las posibilidades de lluvia.

Eventualmente, el agua se condensa exotérmicamente, (con liberación del calor), con lo cual la atmósfera se calienta y se establecen convecciones que junto con otros fenómenos, dan origen a vientos los cuales también disipan energía. El agua finalmente cae por la acción de la gravedad y su energía cinética es dispersada por las hojas de los árboles. Un cálculo elemental pone en relieve la importancia de esta disipación, consideremos por ejemplo, una gota de 1 mm. de radio⁽⁵⁾ que caiga con una velocidad límite⁽⁶⁾ estimada de 1.5×10^2 cm/sec; esta gota comunicará al cuerpo con el cual chocase, ya sea el suelo o las hojas de los árboles, aproximadamente 6 erg. En cambio, si una gota del mismo tamaño una vez detenida por las hojas, se volviera a formar y cayera directamente al suelo, desde una altura de 5 metros, comunicaría a éste una energía de tan sólo 2 erg. Vemos así que el bosque amortigua en un factor de 3 la compactación del suelo y con ello facilita la infiltración, y consecuentemente ayuda a mantener la carga de agua subterránea y el caudal de los ríos.

En general, los ambientes naturales estables con grandes entradas de energía tanto lluviosa como solar, y con topografías

de gradientes fuertes tales como la cordillera de Talamanca (peniplanicie rejuvenecida)⁽⁶⁾ son las más difíciles de ordenar por medio de la intervención directa, tales como explotación maderera, construcción de carreteras, minas abiertas, etc.

Efectivamente, estas zonas están cubiertas principalmente por vegetación arbórea y cualquier tipo de extracción de maderas implica la eliminación del efecto protector de las hojas; y como ya vimos, esto por una parte reduce la infiltración, favorece el escurrimiento superficial y por lo tanto aumenta el lavado del suelo y la pérdida de la fertilidad; y por otra parte ayuda a la disminución de las aguas del subsuelo, acrecienta el peligro de movimientos en masa durante la época lluviosa y de sequías en el período seco. Por estas razones el tipo de ordenamiento directo que se recomienda para estas zonas, debe ser aquel en el cual no se extraigan sino los árboles viejos y siempre teniendo cuidado de no eliminar más de un 20% de la cobertura vegetal.⁽²⁾ El uso de maquinaria pesada como tractores, camiones, etc, no debe ser permitido, primero porque su uso implica la apertura de caminos que pueden dar origen a un proceso de erosión incontrolable; y segundo porque compacta el suelo con las funestas consecuencias ya apuntadas.

Los ambientes naturales estables con las características mencionadas, se prestan en cambio para el ordenamiento indirecto. La cordillera de Talamanca por ejemplo, con precipitaciones anuales elevadas (de 4 a 8 m.) topografía abrupta y cobertura vegetal adecuada, presentan numerosos ríos con buenos caudales y pendientes.⁽⁷⁾ Todas estas características contribuyen a facilitar la transformación de la energía cinética de los ríos en energía eléctrica por medio de construcción de plantas hidroeléctricas⁽⁸⁾ y este tipo de intervención es el más aconsejable bajo las actuales circunstancias, especialmente si se tiene en cuenta que la energía hidroeléctrica es no contaminante.

La zona del Atlántico también tiene las características de un sistema estable, pero el hecho de ser estas tierras planas facilita la construcción de carreteras y del uso de la tierra para propósitos agropecuarios; no obstante lo anterior, el autor desea aclarar que debe emprenderse un estudio de la zona atlántica antes de tomar la frase ante-

rior como una recomendación de explotación, ya que existe el peligro de favorecer el establecimiento de pantanos mediante la tala del bosque.

Sistemas moderadamente inestables:

La característica principal de estos sistemas es la de no poder disipar toda la energía entrante, sin alterarse o destruirse paulatinamente. Estos sistemas naturales generalmente ocurren en lugares de topografía suave, con laderas redondeadas por la erosión y con precipitaciones anuales medianas, de ríos poco caudalosos y vertientes rellenadas con material de deposición. La vegetación arbórea de estas zonas tiende a concentrarse en las partes más bajas en las que ha ocurrido la deposición o bien en las zonas menos lavadas; la vegetación gramínea por su parte, en las pendientes pronunciadas o lugares más elevados. Típicos ejemplos de estos sistemas son las sabanas suramericanas.⁽⁹⁾⁻⁽¹²⁾

La zona del Guanacaste adyacente al río Tempisque que otrora fuese estable,⁽¹¹⁾ es hoy día un buen ejemplo de un sistema moderadamente inestable. La inestabilidad a que nos referimos en este caso consiste en el incremento del arrastre lento pero continuo de materiales finos que el río actualmente está depositando en el golfo de Nicoya.⁽⁹⁾

El ordenamiento de este tipo de ambiente es un poco más flexible, porque no siendo el relieve muy abrupto la construcción de carreteras no presenta tanto peligro de erosión; las zonas con gramíneas pueden ser usadas para la ganadería o el cultivo y las zonas con árboles pueden ser explotadas hasta en un 50%, teniendo el cuidado de sembrar otros productos para no de sestabilizar las pendientes o incrementar el lavado de los suelos.

Sistemas inestables

Como se dijo anteriormente, los medios inestables se caracterizan por acumular energía hasta punto tal que, eventualmente, causa su propia desintegración. En estos

ambientes los elementos meteorológicos y/o marinos tienen un efecto rotundo.

Aquí se incluyen desde zonas donde el mar está carcomiendo la roca hasta zonas formadas por rocas extremadamente fraccionadas y que por consiguiente pueden ser fácilmente modeladas por el viento o el agua.

Como ejemplo de este tipo de ambiente, supongamos una montaña semi-desnuda en la cual llueve bastante. Bajo estas condiciones es de esperar que la erosión sea bastante acentuada, que la roca haya sido mecánicamente degradada, que casi no haya suelo y que los movimientos en masa ocurran con alguna frecuencia.

En estas circunstancias un tipo de ordenamiento mediante siembra de árboles puede incluso llegar a ser contraproducente, ya que en primer lugar para que los árboles "peguen" se necesitará gran atención con los obvios perjuicios económicos y en segundo lugar porque aún cuando los árboles crecieran sobre esos suelos relativamente no consolidados, el simple aumento de biomasa podría dar origen a deslizamientos de grandes proporciones. En casos como éste es, en general, mucho más económico y conveniente ayudar a la naturaleza en su acción erosionadora, que tratar de oponerse a ella. Es posible sin embargo, a costos no muy altos, lograr que las partículas de la erosión sean depositadas en zonas más bajas y evitar que se pierdan irremediablemente al ser expulsadas al mar.

Los sistemas naturales descritos anteriormente son muy restringidos en nuestro medio y no serán discutidos más.

Consideraciones finales:

Como hemos descrito, las diferentes capacidades de disipación de la energía de los ambientes naturales, permiten su clasificación en estables, moderadamente estable e inestables. Contrariamente a lo que se podría pensar, el hecho de que un sistema dado pertenezca a la clase de los estables, no significa que es difícil cambiar su estado; por el contrario los sistemas estables presentan el equilibrio más delicado y es fácil hacerles caer en la categoría de los inestables en cuestión de años. Para basar nues-

tros argumentos sobre bases más sólidas probaremos que el simple reemplazo de la vegetación arbórea por gramínea o por plantas pequeñas como algodón, maíz, etc., pueden romper el equilibrio de los sistemas estables. Supongamos que en una zona como Talamanca, se extrajera toda la madera pero que por cada árbol extraído se sembraran 10 matas de maíz. Como dijimos, anteriormente, cada árbol en promedio evapora 100 litros de agua diarios; una planta de maíz en cambio podría evaporar aproximadamente 1.5 litros diarios⁽¹⁰⁾. Es fácil entonces comprender por qué un árbol puede disipar de unas 6 a 7 veces más energía que 10 plantas de maíz. Así, cuando sólo hay plantas pequeñas, el suelo y la atmósfera tienden a calentarse mucho más que cuando hay árboles, (es posible calcular haciendo uso de algunas constantes y otras aproximaciones^(6*) que un suelo totalmente desnudo se puede calentar hasta 10°C más que un suelo cubierto por vegetación) de manera que cuando llueve los cambios de temperatura experimentados por las partículas del suelo son mucho más bruscos y en consecuencia las probabilidades de quebrantamiento aumentan.

El quebramiento de las partículas produce partículas aún más finas, (que en general se "acomodan" mejor) y esto puede ser causa de la impermeabilidad del terreno por pérdida de porosidad. Nos encontramos de este modo, con aumentos de escurrimiento superficial y todos los otros males comentados anteriormente.

A éstas, sin embargo, hay que agregar otras consecuencias, acordémonos que las plantas de maíz van a evaporar 6 veces menos agua que los árboles, esto en sí representa una disminución de la humedad de la atmósfera, pero combinado con el hecho de que ahora la temperatura del aire es más alta, significa una disminución considerable de la humedad relativa y, por ende, cambios apreciables en el microclima del área. Estos cambios, lógicamente serán más pronunciados mientras más grande sea el área que se haya intervenido.

Otras consideraciones podrían hacerse en relación con este tema, pero creemos que los hechos muestran que, efectivamente, el traspaso de un sistema de la clasificación estable a la condición de inestable, no es un proceso difícil.

También conviene añadir que, en cambio, el proceso contrario es imposible. Esto no es sorprendente si se mira desde el punto de vista de la termodinámica; más aún, de acuerdo con la Segunda Ley de esta disciplina, la realidad es que la irreversibilidad de los procesos de los sistemas inestables es una característica propia. Así, por ejemplo, volviendo a considerar la roca que ha sido partida en dos por la energía cedida por las olas del mar, nos damos cuenta que la roca (bajo las mismas condiciones de temperatura, presión, etc.), jamás podrá volver a unirse y, en el proceso, devolver la energía al mar. Esta transformación reversa está, por así decirlo, "prohibida" por la naturaleza.⁽¹⁾ En efecto, así como el calor fluye espontáneamente del cuerpo más caliente al más frío, y nunca al revés, así como la sal se disuelve espontáneamente en agua; pero jamás se ha observado que teniendo sal disuelta en agua, de repente los componentes se separen; así también el proceso del quebramiento de la roca es irreversible. Esto no previene, sin embargo, que las partículas que se desprenden de una roca, después de sufrir erosión, sedimentación, lixiviación y ba-

jo otras condiciones de presión y temperatura se puedan volver a constituir en otra roca. Lo que la Segunda Ley de la Termodinámica previene es el hecho de que, una vez separadas las partículas de la roca, vuelven a constituirse en la misma roca, sin que para ello hayan variado las condiciones de presión, temperatura, etc.

Con las anteriores consideraciones, resulta obvio por qué iniciamos este artículo indicando que "ordenar" es un acto potencialmente peligroso; y debemos terminar apuntando que por esta razón una política de clasificación y subsecuente ordenamiento de los sistemas ambientales nacionales es absolutamente imperativa.

AGRADECIMIENTO:

Este trabajo fue motivado durante el "Curso sobre el ordenamiento integrado del ambiente natural" que se realizó en el Instituto Pedagógico de Caracas. El autor desea expresar su agradecimiento a los profesores del curso y a los miembros de la Sección de Ciencias de la Tierra. Se agradece además, la colaboración desinteresada del Ing. Enrique Malavassi V.

NOTAS

- 1*) El término degradar se usa aquí como sinónimo de disipar.
- 2*) Esta cantidad de energía es suficiente para alzar 2.5×10^8 ton. a una altura de 10 metros.
- 3*) Debido a la evaporación, para que una gota de 1 mm. llegue a la superficie de la Tierra, es necesario que haya sido mucho más grande cuando se formó.
- 4*) No toda la energía potencial de la gota se convierte en energía cinética; esto se debe a la fricción del aire.
- 5*) Intensidad solar ($2 \text{ cal/cm}^2/\text{min.}$); capacidad calórica aproximada de la tierra, ($6 \text{ cal/g/}^\circ\text{C}$); densidad aproximada de la tierra, (1g/cm^3); 6 horas de radiación solar; solamente los primeros 5 cm de la superficie terrestre experimentan cambio de temperatura debido a la radiación.

BIBLIOGRAFIA

- 1). Denbigh, K. *The principles of Chemical Equilibrium*. Cambridge Univ. Press, Cap. I, (1971).
- 2). Tricart, J.: Comunicación Personal (1974).
- 3). Jensen, M. E. *Irrigation Water Requirements* Colorado State Univ. (1972).
- 4). *International Critical Tables*. Mc-Graw Hill, pág. 138, vol. 5 (1930).
- 5). Hewlett, J. D. Nutted, W. L. *Forest Hydrology*. Univ. Georgia Press, (1969). Estos autores presentan valores de velocidad medidos en función de radio de las gotas.
- 6). Malavassi, E: Comunicación Personal (1974).
- 7). AID, *Análisis Regional de Recursos Físicos*, Costa Rica, Mapas (1965).
- 8). Quesada, Carlos: Comunicación Personal. (1974).
- 9). Vila, P.: *Geografía de Venezuela*. Ministerio de Educación. (1960).
- 10). Viessman, Jr. W., Harbaugh, T. E. Knapp, J. W. *Introduction to Hydrology*, pág. 41. IEP, New York, (1972).
- 11). Holdridge, R. L. Grenke, W. C. Hatheway, W. B., Liang, T., Tosi, J. A., *Forest Environments in Tropical Life Zones, a Pilot Study*. Pergamon Press, N. Y. Capítulo V, (1974).
- 12). Sarmiento, G.; Monasterio, M.; Silva, J.; *Acta Cient. Venezolana*. Vol. 22, págs. 52, 61, 163, 170 (1971).

2 A T O K