

ECOSISTEMAS COMO FACTORES DE BIENESTAR Y DESARROLLO⁽¹⁾

Germán Márquez⁽¹⁾

RESUMEN

Los ecosistemas proveen más bienes y servicios a la sociedad de lo que generalmente se reconoce. Un ensayo de clasificación de esos bienes y servicios debe incluir: 1) Satisfacción de necesidades básicas, como agua, energía y abastecimiento de alimentos. 2) respaldar los procesos productivos, industriales o agropecuarios, con materias primas, agua y abastecimiento de energía. 3) Asimilación de desechos (sólidos, líquidos o gaseosos) de las actividades humanas, en ríos, inmundicias y atmósferas. 4) Prevención y control de riesgos (por ejemplo: control forestal de deslizamiento de tierras, erosión, inundación). 5) Respaldar las relaciones sociales, políticas (geopolíticas) y culturales (reservas indígenas, cuencas multinacionales, territorios tradicionales). 6) Conservación de procesos ecológicos (ciclos hidrográficos, clima y biodiversidad). 7) Provisión de recursos naturales (pescado, madera).

Algunos ecosistemas juegan un papel excepcional en el suministro de bienes y servicios de acuerdo con algunas leyes

empíricas (ley de Zipf, modificada) que establecen que en sistemas complejos unos pocos elementos, generalmente menos del 20%, explican más del 80% de los procesos. Esos ecosistemas deben ser considerados estratégicamente para la sociedad; identificación, protección y manejo de ecosistemas estratégicos debería ser un objetivo fundamental de políticas medioambientales. Consideraciones relacionadas con los bienes de los ecosistemas y la "huella ecológica" complementan esta ponencia.

ABSTRACT

ECOSYSTEMS AS WELFARE AND DEVELOPMENT FACTORS

Ecosystems provide more goods and services to society than usually recognized. An essay on classification of such goods and services must include: 1) satisfaction of basic needs, such as water, energy and food supply, 2) support of productive processes, either industrial or agropecuarian, with raw materials, water and energy supply, 3) assimilation of wastes (solid, liquid or gaseous) from human activities, in rivers, soils and atmosphere, 4) risk prevention and control (e. g.: forests control of landslides, erosion, flooding through vegetation), 5) support of social, political (geopolitical) and cultural relationships (indian reservations, multinational basins, traditional territories), 6) conservation of ecological processes (hydrological cycles, climate, biodiversity), 7) provision of natural resources (fish, wood).

Some ecosystems play an exceptional role in goods and services supply, in accordance with some empirical laws (modified Zipf law) that establish that in complex systems a few elements, usually less than 20%, account for more than 80% of processes. These ecosystems must be considered strategic for society; identification, protection and management of strategic ecosystems should be a main objective of environmental policies. Related considerations on ecosystems' goods and the "ecological footprint" complement this paper.

1. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas naturales y transformados cumplen funciones ambientales de prestación de bienes y servicios sin los cuales es inimaginable el bienestar y desarrollo de la sociedad. Estos bienes y servicios incluyen desde la provisión de agua, energía y alimentos hasta la prevención de riesgos y la asimilación de desechos. En la Tabla 1 se presenta una matriz que categoriza y ejemplifica estas funciones, agrupándolas en siete categorías, a saber:

1. Satisfacción de necesidades básicas: abastecimiento de agua, alimentos, energía.
2. Productividad económica: provisión oportuna de agua, energía, materias primas.
3. Prevención de riesgos: control de deslizamientos, inundaciones.
4. Relaciones políticas, sociales, culturales, históricas: cuencas internacionales, territorios tradicionales.
5. Mantenimiento de equilibrios ecológicos básicos: regulación clima e hidrología, conservación de biodiversidad.
6. Sumidero o vertedero de desechos: atmósfera planetaria, ríos que reciben aguas negras, botaderos de basura..
7. Proveedores de recursos naturales: principalmente pesca, maderas finas, extractos medicinales.

En este artículo se plantea, adicionalmente, que aunque las funciones ambientales son cumplidas por todos los ecosistemas, siempre existen, para cualquier unidad territorial que se seleccione, desde una microcuenca hasta la biosfera, unos pocos que ejecutan la mayor parte de aquellas. Así, en una cuenca, aunque toda el área aporte agua, puede predecirse razonablemente que una fracción menor de la misma, del orden del 20%, aportará el 80% aproximadamente del agua total. A nivel planetario puede afirmarse, por ejemplo, que una parte menor de los ecosistemas contiene la mayor parte de la biomasa (por ejemplo la selva húmeda tropical y las taigas rusas) o de la biodiversidad (la selva húmeda).

TABLA 1.

MATRIZ PARA LA IDENTIFICACION DE SERVICIOS AMBIENTALES Y ECOSISTEMAS ESTRATEGICOS

FUNCIO- NES INFLUEN- CIA	SATISFAC- CION NECESI- DADES	PRODUC- TIVIDAD	EQUILIBRIOS ECOLOGICOS (CLIMA, BIODIVERSIDAD)	VERTEDE- ROS	PREVENCION DE RIESGOS AMBIEN- TALES	RELACIO- NES POLITICAS
Global	Atmósfera		Amazonía	Atmósfe- ra mar	Capa de Ozono	Cuencas múltiples
Nacional	Zona cafetera a Chingaza	Embat- ses	Parques Nacionales	Río Magdale- na	Areas de riesgo Nevado del Ruiz	Cuencas Binaciona- les
Regional Local	Fuentes de agua	Suelos, fuentes de energía	Bosques Municipales	Río Bogotá Atmósfe- ra	Areas de riesgo canteras	
Sectorial		Fuentes de materias primas		suelos	Vertederos de tóxicos	

Estas afirmaciones se basan en la hipótesis de que la en distribución de las funciones ambientales se cumplen las leyes de potencia. Estas leyes empíricas pueden expresarse, para los efectos que aquí se proponen, diciendo que, en sistemas complejos, una parte menor de sus elementos estructurales cumplen la mayor parte de las funciones y viceversa, esto es la mayor parte cumple una función menor. La proporción aproximada es de un 20% de los elementos que cumple un 80% de las funciones contra un 80% de los elementos que cumple con el 20% restante. Matemáticamente hablando, ello es el resultado de distribuciones lognormales en sistemas complejos autoorganizados, diferentes de las distribuciones normales en sistemas mas aleatorios; no obstante, el por qué de estas distribuciones, tan comunes en sistemas naturales y sociales, aún se desconoce aunque se pueden presumir causas relacionadas con la eficiencia termodinámica de los sistemas así organizados.

A partir de estas leyes se plantea que en cualquier unidad ambiental, estructural y/o funcional, siempre es posible identificar los elementos que cumplen la mayor parte de las funciones. Estos elementos son fundamentales para el mantenimiento del ambiente, por ello se los considera estratégicos. En este artículo, y sobre esta base, se propone el concepto de Ecosistemas Estratégicos, para referirse a aquellos que cumplen funciones vitales para el bienestar y desarrollo de la sociedad. A diferentes escalas regionales pueden distinguirse ecosistemas que cumplen funciones estratégicas para su nivel. Aquí se plantean las bases conceptuales y la conveniencia de formular políticas específicas de gestión de tales ecosistemas; ; en un trabajo posterior se presentarán metodologías para su identificación.

Este trabajo se enmarca dentro de numerosos esfuerzos adelantados con el propósito de establecer criterios para priorizar la gestión y la inversión económica en cuestiones ambientales. Ejemplos notables de tales esfuerzos son los métodos y criterios para priorizar áreas de conservación de biodiversidad; conceptos tales como los "Sitos Clave o Hotspots" (Myers, 1988), los "Países de la Megadiversidad" (Mittermeier y Werner, 1990), las "Areas de interés crítico" (Sisk et al., 1994) o las "Areas geográficas de máxima prioridad" (Dinerstein et al., 1995). Se espera que los planteamientos que aquí se exponen puedan coadyuvar al proceso de priorización y a un mas eficiente manejo del ambiente, empezando por reconocer y asignar a los ecosistemas su importante papel como soporte de procesos sociales y económicos..

En Colombia el Estado adoptó un Programa de Ecosistemas Estratégicos, aún incipiente, como parte de su Política Ambiental y dentro del Plan Nacional de Desarrollo (Ley 188 de 1994; Márquez y Acosta, 1994).

2. LOS ECOSISTEMAS COMO PROVEEDORES DE BIENES Y SERVICIOS AMBIENTALES

A continuación se hace una reseña de bienes y servicios apor- tados por los ecosistemas a la sociedad (Márquez, 1996), como base para el planteamiento adicional en el sentido de que algunos

ecosistemas aportan una proporción mayor de los mismos y son, por lo tanto, estratégicos al respecto.

2.1. Ecosistemas que satisfacen necesidades básicas de la sociedad

La satisfacción de algunas necesidades básicas sociales, tales como el abastecimiento de agua, aire, alimentos y energía, depende en alto grado, cuando no completamente, del aporte de los sistemas naturales. Para ilustrar los servicios de satisfacción de necesidades básicas que prestan los ecosistemas basta analizar un caso, quizás el servicio social más evidente que prestan los ecosistemas: proveer agua con la calidad, oportunidad y en la cantidad debidas.

Respecto al agua, la humanidad es plenamente dependiente de procesos naturales de producción, apenas modificados mediante sistemas de almacenamiento. El hombre aún no ha tenido que inventar, aún, fábricas de agua, pues cuenta con las naturales. Una ciudad como Bogotá, con más de seis millones de habitantes, consume anualmente 500.000.000 de metros cúbicos de agua sin los cuales no sería posible su existencia y funcionamiento. Esta agua es provista por menos de 100.000 hectáreas de ecosistemas de bosques andinos y páramos en alto riesgo y para cuya protección se cuenta con recursos muy escasos, no obstante que por el agua se cobran más de U\$300 millones anuales y que sin agua el PIB de la ciudad sería nulo.

Pero así como no hay fábricas de agua, tampoco las hay de suelos, de aire, de clima, de paisajes; las "fábricas" de energía (centrales hidroeléctricas, termoeléctricas) sólo transforman y utilizan las fuentes naturales. Esta máquina productiva está siendo destruida en un acto terrorista (deforestación) que sería demencial en otros contextos, pero que aquí apenas nos conmueve porque no se tiene plena conciencia del valor social y económico de los aportes naturales al bienestar social.

2.2. Ecosistemas para la productividad

Los procesos productivos, industriales y agropecuarios, dependen así mismo en alto grado de insumos naturales como agua,

energía, suelos, materias primas y no sólo de capital financiero y humano. Esta contribución del aparato natural al aparato productivo de la economía no está adecuadamente incorporado, no digamos en los análisis de costo beneficio, pero ni siquiera en las mentes de muchos ambientalistas o economistas ambientales, si bien son cada vez más frecuentes las referencias al capital natural en los análisis económicos. Aquí se va más allá, al afirmar que los ecosistemas forman parte del aparato productivo mismo del país y de todas y cada una de sus unidades de producción, incluyendo no sólo las industrias grandes y pequeñas sino al agro y a los sectores de servicios, en la medida que todos son usuarios de agua, energía, materias primas, etc..

Se dice que el apagón de 1992, cuyas componentes ambientales no han sido suficientemente analizadas pero son sin duda significativas (Márquez, 1996), generó un descenso en el PIB nacional equivalente a por lo menos un punto o algo así como un billón (un millón de millones) de pesos. ¿Cuánto de ello se puede atribuir a la pérdida de regulación hidrática por deforestación de las cuencas? A su vez, cabe preguntarse cual será el efecto de "El Niño" por la misma causa. El país se prepara para hacer importante importaciones de alimentos para suplir los déficit previsibles, con grave efecto sobre la economía nacional y de innumerables productores.

Los sectores productivos deberían preocuparse por el mantenimiento de esta parte de su aparato productivo tanto como por la de sus instalaciones y maquinarias y tienen en ello una responsabilidad que debe ser asumida conscientemente. La conservación del medio ambiente entraría así a ser parte de la inversión necesaria en el mantenimiento de la infraestructura productiva del país y de las empresas y no el gasto suntuario que aún parece a muchas personas.

2.3. Ecosistemas para la prevención de riesgos

La naturaleza está sometida de por sí a cambios catastróficos: deslizamientos, inundaciones, terremotos. No obstante, desarro-

Iló a lo largo de milenios mecanismos reguladores de tales cambios, que tienden a evitarlos o a amortiguarlos. Así, los bosques, para citar un ejemplo, tienen la capacidad de amortiguar las crecientes e inundaciones, a través de su manejo del agua, pero así mismo disminuyen los riesgos de erosión o deslizamiento y pueden, por esta vía, moderar incluso los efectos de los terremotos y los huracanes. Puede decirse que existe un sistema natural de prevención de desastres. La intervención humana del medio altera este mecanismo y propicia "catástrofes ambientales" que no son otra cosa que los mismos fenómenos naturales, agravados por el hombre.

Por inundaciones se produjeron el año de 1996 mas de 300.000 damnificados directos en sólo la región caribe del país; las pérdidas económicas fueron incalculables. Para este año y el próximo se esperan numerosos damnificados y graves pérdidas en cosechas por un fenómeno opuesto de sequía, que está generando "El Niño", aún antes de alcanzar su plena expresión.

En los últimos años las catástrofes, sobre todo de origen climático, se han incrementado a niveles enormes, con costos económicos descomunales. No obstante, ni las políticas sobre desastres, ni las ambientales, reflejan un reconocimiento adecuado de esta función crucial de los ecosistemas. La inversión en el mantenimiento del sistema natural de prevención de desastres es, en consecuencia, irrisoria.

2.4. Ecosistemas en relaciones políticas y sociales.

El medio ambiente cobra creciente importancia en las relaciones internacionales, en la medida que se reconoce el carácter global de muchos procesos de perturbación, como el cambio climático o el deterioro de la capa de ozono. Al Gore, vicepresidente y precandidato presidencial de Estados Unidos, considera (Gore, 1992) que el cambio climático es el principal problema estratégico que amenaza la posición de su país en el contexto mundial. En Colombia, los indígenas U'wa amenazan con un suicidio colectivo si en sus territorios tradicionales se adelantan exploraciones pe-

troleras. Esto ilustra las múltiples facetas como los ecosistemas intervienen en las relaciones políticas y sociales, otra modalidad poco reconocida y valorada de su interacción con la sociedad.

En la medida que los ecosistemas cumplen funciones de importancia en el mantenimiento de condiciones adecuadas para el desarrollo, se convierten en objeto de interacciones sociales y puede suponerse que lleguen a tener implicaciones muy importantes. Además de los ejemplos citados, hay numerosas circunstancias en todo el mundo que demuestran está importante función ecosistémica. Así, conflictos alrededor de cuencas binacionales como tiene Colombia por contaminación de ríos que van a Venezuela, a consecuencia de atentados contra oleoductos. La presión del mundo desarrollado sobre los países tropicales por la conservación y el aprovechamiento biotecnológico de la biodiversidad. La demanda de pago de la "deuda ecológica" de estos a aquellos. El rechazo de partes interesadas a convenios internacionales, como el de cambio climático por los países productores de petróleo. La negación de Estados Unidos a negociar, en Rio, con el "nivel de vida de su población". A escalas más locales, los conflictos por la propiedad y el respeto de territorios tradicionales, por poblaciones indígenas y raizales, o por el espacio público y la calidad ambiental en las ciudades; la naturaleza en disputa de que hablan algunos autores (ECOFONDO, 1996)

2.5. Ecosistemas para el equilibrio ecológico

Se calcula que algo mas del 50% de los ecosistemas planetarios han sido transformados por acción humana; de lo que se conserva en estado natural, la mayoría son zonas áridas (desiertos, hielos) y sólo unas pocas selvas (Hannah et al., 1996). Colombia presenta una situación similar, levemente mas favorable pues conserva aún importantes extensiones selváticas en Amazonia y el Pacífico, aunque tiene niveles de transformación superiores al 70% en los Andes y el Caribe (IDEA - UN, 1996). La pregunta que cabe hacerse es hasta cuando la naturaleza tolerará modificaciones antes de entrar en una crisis definitiva y catastrófica para la humanidad.

Pueden señalarse tres grandes aspectos en los cuales es significativa la función ecosistémica como sostenedora de condiciones adecuadas para el bienestar y el desarrollo. La primera, y quizá principal, es su influencia sobre el clima, de cuya regularidad depende el éxito de adaptaciones seculares como la agricultura, base de la seguridad alimentaria en un planeta sobre poblado, donde el 30% de toda la producción biológica primaria es monopolizada por la humanidad.

La regulación hídrica es otra función primordial, ya mencionada. El tercer aspecto es la generación y mantenimiento de diversidad y riqueza biológica, un potencial enorme en Colombia. A lo largo de millones de años la evolución ha acumulado enormes cantidades de información ecológica y genética que se refleja en la enorme variedad de las biota, en su adaptación al medio y en la diversidad y funcionalidad de los ecosistemas. De esta fuente obtiene el hombre las condiciones básicas para la vida y también ha tomado las especies, relativamente muy pocas (otra vez las leyes de potencia), que ha domesticado y llama útiles. La pregunta es cuantas riquezas guarda aún la naturaleza, si una sola especie (piénsese por ejemplo en la papa, el trigo, el ganado o si se quiere la coca) puede generar tan grandes ganancias.

Colombia presta grandes servicios ambientales al planeta en cualquiera de los aspectos mencionados y de ello debería derivar recursos que le permitan seguir prestando tales servicios. Pero mientras los bienes y servicios de la naturaleza sigan considerándose gratuitos, no habrá forma de conservar los ecosistemas que los hacen posibles. Si nadie paga por la conservación, pero si hay muchas personas dispuestas a pagar por la destrucción o sus productos (maderas, pieles, fauna, cocaína, heroína, e incluso hamburguesas), el futuro es predecible.

2.6. Ecosistemas como receptores de desechos (vertederos).

La naturaleza es receptora y recicladora de los desechos de la humanidad, que sólo ahora inicia tímidos esfuerzos para complementar la acción de la máquina recicladora natural, otra enorme infraestructura gratuita al servicio de la sociedad.

A modo de ejemplo. Bogotá descarga diariamente al Río Bogotá, y por su medio al Magdalena y al mar, alrededor de dos mil toneladas de materias fecales, además de muchas toneladas mas de otras sustancias indeseables. El río las recibe, se las lleva y paulatinamente las dispersa y deshace, no sin grave daño para si mismo y para otros ecosistemas, pero prestando un servicio invaluable a la ciudad. Esto ilustra un servicio ambiental cuya importancia ha pasado desapercibida aún en tiempos recientes; en el famoso estudio del Club de Roma sobre los límites del crecimiento (Meadows et al., 1972), aún relativamente actual, se planteaba que tales límites podrían estar en la disponibilidad de aguas, alimentos y/o energía para sostener una población creciente. Veinte años después descubrimos que, si bien tales recursos escasean, lo más crítico es la atmósfera, sumidero de todas las combustiones orgánicas e industriales, que sobrecargada de gases de invernadero y de destructores de la capa de ozono, se erige como el eslabón mas débil en la cadena de bienestar del hombre (al respecto ver Goodland, 1994).

2.7. Ecosistemas como proveedores de recursos naturales

Bajo esta categoría se incluyen aquellos productos no cultivados que se obtienen de la naturaleza, siguiendo métodos fundamentalmente extractivos o con niveles apenas reconocibles de manejo. Se incluyen en esta categoría principalmente la pesca y la extracción de maderas, en especial maderas finas cuya fuente principal son los bosques y selvas naturales, en particular los tropicales. Caben también en ella infinidad de productos que se extraen directamente de la naturaleza sin que medie un proceso cultural humano: pieles, plumas, fauna y flora ornamental, productos químicos y farmacéuticos, entre otros.

Por la pesca el hombre obtiene mas de 80 millones de toneladas de alimento de la mas alta calidad al año. La demanda mundial de madera responde por parte importante de las mas de 4.000.000 de hectáreas de bosque húmedo tropical que se derriban cada año. Solo una parte de la demanda, principalmente la destinada a producción de papel, se satisface de maderas cultiva-

das. El agotamiento de las fuentes naturales de recursos continúa a pasos acelerados, siguiendo el destino trágico de los bienes comunes.

3. SOBRE EL CARACTER ESTRATÉGICO DE ALGUNOS ECOSISTEMAS

El carácter estratégico de algunos ecosistemas puede plantearse desde la simple intuición; es así como en el transcurso de las discusiones ambientales a nivel mundial se han planteado ideas sobre el carácter vital, esencial y/o prioritario de ciertas entidades ambientales (áreas, ecosistemas, ecorregiones) y la necesidad de jerarquizar acciones de gestión alrededor de un concepto de este tipo. Ejemplos notables de este esfuerzo son los trabajos para priorizar áreas de conservación de biodiversidad a través de conceptos tales como "Sítios Clave o Hotspots" (Myers, 1988), "Países de la Megadiversidad" (Mittermeier y Werner, 1990), "Areas de interés critico" (Sisk *et al.*, 1994) o "Areas geográficas de máxima prioridad" (Dinerstein *et al.*, 1995).

Lo que se propone es la posibilidad de identificar, a la luz de criterios científicos rigurosos aunque sencillos y de fácil aplicación, cuales son las prioridades, siguiendo un método mas general que los referenciados, no exclusivamente aplicable a la biodiversidad sino a cualquier atributo que se quiera analizar: biomasa, contaminación, endemismos, riesgos, producción de agua, aire o cualquiera de los aspectos reseñados en el capítulo anterior.

A las áreas prioritarias se las denomina aquí Areas y Ecosistemas Estratégicos, a partir de una definición de lo estratégico como aquello de lo cual depende la viabilidad de un proceso (Gore, 1992), en este caso el aporte ecosistémico de bienes y servicios ambientales fundamentales para posibilitar el bienestar y el desarrollo de la sociedad. El término Ecosistema se aplica en un sentido amplio para identificar una unidad ambiental funcional específica de la naturaleza (un bosque, un río, una cuenca determinadas) comparable con unidades equivalentes en un contexto dado; no

se refiere, en general, a tipos de ecosistemas que, para evitar confusiones, se denominarán Biomas (selva húmeda, desiertos, sabanas, ríos con planicie inundable, arrecifes de coral, por ejemplo).

El carácter estratégico o prioritario se puede asignar con base en diferentes criterios. En los estudios mencionados se acude, para evaluar la diversidad biológica como medida de otras funciones ecológicas, a la riqueza de especies y/o de endemismos (quizá el indicador más utilizado), a los niveles de riesgo por presión poblacional o por deforestación, a la distintividad biológica y al estado de conservación. Aquí se acepta en principio que muy diversos indicadores, y por supuesto los reseñados, pueden efectivamente utilizarse.

De hecho, para la identificación de ecosistemas estratégicos se propone la adopción de uno de los métodos señalados, con una modificación más conceptual que técnica, más otro método que es una variante gráfica del mismo; este método es el propuesto por Sisk *et al.* (1994) para identificación de áreas de interés crítico. Complementariamente se propone una manera de analizar cuantitativamente indicadores, aplicando las leyes de potencia, según se indicó en la Introducción.

En todos los casos subyace la idea de que siempre hay áreas y ecosistemas prioritarios para la gestión ambiental, lo cual no implica desconocer el importante papel que cumplen todos los ecosistemas. La noción empírica se sustenta con base en las leyes de potencia o de escala, un conjunto de leyes recientemente establecidas en matemáticas en relación con estudios de complejidad, caos y fractalidad; aplicadas a la cuestión ambiental, permiten afirmar que la distribución de funciones ambientales, como funciones de sistemas complejos, no es normal (en el sentido estadístico) sino concentrada en unos pocos tipos de elementos muy representados y muchos poco representados.

Esta afirmación no es susceptible, al menos hasta el presente, de una explicación científica, razón por la cual las leyes de potencia se clasifican como leyes empíricas o fenomenológicas, esto es leyes que se cumplen y pueden ser demostradas por la expe-

riencia, pero no tienen aún una explicación. Pero, de ser así, serían una herramienta de gran utilidad en la toma de decisiones de gestión, incluso más allá del campo de lo ambiental. La hipótesis derivada es que la identificación de estos pocos tipos de elementos muy "pesados" debe facilitar la toma de decisiones sobre donde actuar.

Estudios en los campos más diversos demuestran que las distribuciones de elementos y funciones en muy diferentes tipos de sistemas tienden a ser de esta naturaleza. Así: las especies e individuos en comunidades bióticas (muchos individuos de una pocas especies y muy pocos de muchas), los individuos en las profesiones, la riqueza entre individuos y entre países, la población en las ciudades de un país, el PIB por regiones, entre infinidad de ejemplos. Una expresión bastante conocida de estas leyes es la de Pareto en economía sobre distribución de la riqueza y de las funciones económicas en la sociedad.

Ello es el resultado de una distribución que sigue, aproximadamente, una secuencia según la cual, si el elemento más abundante está representado por 1 (1/1), el segundo es 1/2, el tercero 1/3, el cuarto 1/4 y así sucesivamente, según fuera planteado originalmente por Zipf, un lingüista que descubrió estas leyes al estudiar la distribución del uso de las palabras en diferentes idiomas. Mandelbrot ha propuesto una generalización de la ley de Zipf sumando una constante al denominador y elevando este a una potencia dada, lo cual permite adecuar las secuencias a las distribuciones reales. La secuencia quedaría así (Gell-Mann, 1994):

$$1/(1+K)^n, 1/(2+K)^n, 1/(3+K)^n, \text{ etc.}$$

La hipótesis básica sostenida en este artículo es que lo mismo se cumple en sistemas ambientales y que ello es aplicable a la identificación y gestión de elementos que juegan papeles cruciales (estratégicos) para el cumplimiento de ciertas funciones ambientales. La decisión subsiguiente a la identificación tendría que orientarse a establecer si la distribución encontrada es satisfactoria o si

debería modificarse; la aplicación de las leyes de potencia serviría, en tal caso, para revisar las decisiones de política ambiental (¿están considerados todos los ecosistemas importantes? ¿son objeto de una gestión adecuada?).

Aquí se presentan dos ejercicios muy simples de demostración de la aplicación de las leyes de potencia, a partir de la distribución de la población y de la generación de energía hidroeléctrica en Colombia. No obstante, se señala que lo mismo se cumple en muy diferentes casos; por ejemplo, a nivel de una cuenca puede esperarse que haya áreas y ecosistemas (microcuencas, bosques) que cumplan funciones estratégicas en producción de agua, de sedimentos, de contaminantes o que guarden la mayor parte de la biomasa o de la biodiversidad. La identificación de tales unidades permitiría una gestión más eficiente del ambiente al lograr mejores resultados respecto a las inversiones realizadas (por ejemplo para garantizar la oferta hídrica, controlar sedimentación o eutrofificación o conservar biodiversidad). Es decir se logra una relación costo - beneficio más favorable, que es lo que generalmente se busca al hacer priorizaciones.

3. IDENTIFICACIÓN DE ECOSISTEMAS ESTRATÉGICOS APLICANDO LAS LEYES DE POTENCIA (POR ACUMULACIÓN DE VALORES DE IMPORTANCIA)

Este método, cuyas bases teóricas en las leyes de potencia se expusieron antes, se basa en indicadores cuantitativos (valores de importancia) de la función por evaluar. Los elementos se ordenan desde el más importante (con mayor valor de importancia) hasta el menos; luego los valores se acumulan, sumando el segundo al primero, el tercero a los dos anteriores y así sucesivamente. En teoría debe dar una curva exponencial, cuya pendiente depende del grado de acumulación de valores de importancia en unos pocos elementos del sistema, que constituyen los elementos estratégicos.

A continuación se presentan dos aplicaciones del método. El primero para la identificación de cuencas estratégicas para abaste-

cimiento de agua a la población.. Con base en datos de población del censo de 1993, se ordenaron de mayor a menor las veinte ciudades mayores (Tabla 4. Principales veinte ciudades por población) y se sumó, acumulativamente, su población. Los mismos datos se graficaron (Gráfico 2. Acumulado poblacional de las principales veinte ciudades del país), para mostrar la tendencia de la curva de incremento a disminuir su pendiente siguiendo las leyes de potencia.

El segundo caso se concentró en el estudio de las cuencas estratégicas para la generación de hidroenergía. Para analizarlas se obtuvo información sobre embalses y centrales hidroenergéticas en el país (Tabla 5. Embalses y Centrales hidroeléctricas en Colombia) y se ordenaron según energía generada, procediendo a acumular estos valores (Gráfico 3. Aporte acumulativo de la hidroeléctrica) para establecer un orden de importancia, sin desconocer que todos los embalses son importantes en su contexto particular. Se incluyen las cuencas que los abastecen. Se cumplen de nuevo las leyes de potencia.

En la Tabla 4 se nombran las cuencas que abastecen a las principales ciudades del país y se incluye información relativa a su estado de conservación y gestión. Se establece que las 20 mayores ciudades del país (1.9% de sus municipios) concentran el 45% de su población, a saber 14'946.100 personas según el censo de 1993. Esta enorme concentración de población depende de 30 cuencas abastecedoras básicas (unas 200 subcuencas principales, menos del 1% de las cuencas del país) de los acueductos, muchas de ellas deterioradas o en riesgo de deterioro. Tal situación imprime una gran fragilidad al sistema de abastecimiento de agua del país, que puede verse críticamente afectado por una contingencia y, aún más gravemente, por el paulatino deterioro de estas cuencas estratégicas.

Las cuencas para la generación de energía son, de por sí, estratégicas, pues la pérdida de su capacidad de regulación expone al país a nuevos apagones, con fuertes impactos económicos y sociales; como elemento de referencia, cabe considerar que el apagón de 1992 le costó al país más de 1000 millones de pesos, que equivalió a un descenso del 1% del PIB.

El cuadro 4.3.2 presenta las cuencas de los embalses colombianos, con referencia a su estado de conservación y gestión. La figura 4.3.2 el acumulado. Se establece que cerca del 80% de la energía eléctrica para consumo humano y/o con fines productivos proviene de 27 embalses, de los cuales los del sistema del nororiente antioqueño, el agregado Tominé-Sisga-Neusa-Muña (Sistema Muña), Chivor, Guavio, Betania y Salvajina (30% de los embalses) son los más importantes y proveen el 89% de la energía hidroeléctrica, equivalente al 69% de toda la energía eléctrica del país. Las cuencas que abastecen a estos embalses son estratégicas

4. ECOSISTEMAS Y LA HUELLA ECOLOGICA

La dependencia de la humanidad respecto a los bienes y servicios ambientales de los ecosistemas no ha sido adecuadamente incorporada en los análisis ambientales ni económicos. Crecientemente se habla del problema ambiental y del agotamiento del capital natural pero las decisiones siguen siendo débiles, en parte por falta de una convicción profunda en la gravedad de la perdida del soporte natural que empieza en el desconocimiento mismo de esta función de soporte que cumplen los ecosistemas.

Dos trabajos recientes a escala internacional apuntan a reforzar los argumentos en este sentido. De una parte estudios de R. Constanza publicados recientemente en *Nature* y reseñados en la prensa, pero aún no disponibles para el autor, señalan que se hizo un cálculo del valor económico de los bienes y servicios naturales para la sociedad. El cálculo permitió estimar su monto en una cifra equivalente al PIB mundial, lo cual da una idea de su importancia y del significativo desfase en los análisis económicos que no tienen en cuenta las variables ambientales y ecosistémicas.

Otro análisis de gran interés se relaciona con el concepto de "huella ecológica", derivado del de capacidad de carga utilizado en ecología y otras disciplinas para calcular cuál es el área requerida

por un organismo para vivir o bien, a la inversa, cuántos organismos de una especie dada pueden vivir en un área determinada. Aplicado a la especie humana, el concepto de Huella ecológica se pregunta cuánto suelo productivo se requiere para sostener a un humano, calculando para ello el área que se requiere para producir los alimentos que consume, para la vivienda que ocupa, para asimilar los desechos que produce, etc. A partir de ello se puede estimar cuál es el área requerida para mantener a la población de un área dada o bien del planeta como una totalidad (Rees, 1997).

La respuesta varía según el nivel de vida en los diferentes países del mundo; así, por ejemplo, se calcula que en los países desarrollados puede ir desde alrededor de dos hectáreas por persona en países como Japón, que son relativamente módicos en sus patrones de consumo, hasta 5 hectáreas en sociedades de alto consumo como Estados Unidos, con un promedio entre 3 y 4 para la mayoría de países europeos. Sobre esta base es posible calcular cuál es el área requerida por diversos países para satisfacer la demanda de bienes y servicios ambientales (la huella ecológica) de su población, con resultados bastante dramáticos que muestran que la mayoría de estos países desarrollados presentan un déficit ambiental significativo (Tabla 3. Los déficit ecológicos de los países industrializados). A esta tabla se ha añadido un estimativo para Colombia, sobre la base de una huella ecológica de 1.5 hectáreas para los colombianos, que mostraría que Colombia aún posee un superávit ecológico

El análisis desde la perspectiva de la huella ecológica demuestra varios aspectos importantes:

* La aspiración de alcanzar niveles de consumo (bienestar? desarrollo?), para toda la población mundial, equivalentes a los de los países desarrollados, requeriría un planeta entre 3 y 5 veces el tamaño de la Tierra. Así, el sueño del desarrollo sería eso, un sueño.

* El desarrollo tecnológico, en vez de disminuir la demanda de bienes y servicios ambientales, la incrementa. Así, la esperanza de que la tecnología pueda solucionar los problemas ambientales no es realista si no va acompañada de un cambio en los patrones (culturales) de consumo.

* La sostenibilidad, aun con los niveles actuales de población y "desarrollo", parece una meta difícilmente alcanzable sin cambios profundos en la concepción del desarrollo y sin un reconocimiento de las claras limitantes y dependencias físico-naturales (ecosistémicas) de la sociedad.

* Aun en el caso de que los cálculos de huella ecológica estuvieran muy exagerados (por ejemplo duplicados) la situación para muchos países del mundo y para este en su conjunto sería crítica toda vez que los déficit son de muchas veces el territorio disponible (19 en el caso de Holanda, por ejemplo).

* Colombia está prestando bienes y servicios ambientales al planeta, pues no hace uso de todo su potencial ambiental; no obstante, no deriva beneficios de ello y por el contrario padece presiones por sus recursos, cada vez más escasos. Esta es una expresión más del desconocimiento de los aportes de los ecosistemas al bienestar y desarrollo de la humanidad.

5. CONCLUSIONES

5.1. Los ecosistemas prestan importantes bienes y servicios ambientales, fundamentales para el bienestar y desarrollo de la sociedad, aunque ésta no siempre los reconozca como tales ni los involucre en sus análisis sociales ni económicos. La sociedad tiene una relación de acentuada dependencia respecto a algunos de estos ecosistemas que adquieren para ella carácter estratégico, en la medida que sin ellos pierden viabilidad procesos vitales o productivos, se incrementan los riesgos o se tornan críticas las relaciones entre las comunidades.

5.2. A partir del reconocimiento de estas relaciones de dependencia debería generarse una revisión de las políticas sociales, económicas y ambientales tendiente a garantizar que los ecosistemas estratégicos sean objeto de la gestión debida. Un análisis exploratorio del caso colombiano permite establecer que

tal revisión es conveniente, en el sentido de complementar las políticas vigentes, que si bien involucran ecosistemas muy importantes, no conceden adecuada consideración a algunos de enorme importancia nacional, como las cuencas abastecedoras de agua.

5.3. Parece posible identificar, con base en indicadores y métodos científicos, cuáles ecosistemas cumplen funciones estratégicas. Se proponen tres métodos para hacerlo y se ilustra uno de ellos. El primero, denominado de áreas de interés crítico, es aplicable cuando se dispone de datos cuantitativos; se puede combinar con el método basado en las leyes de potencia para evaluar la intensidad de la acumulación de valores de importancia, como un criterio más objetivo que la adopción general de un 25% como medida de importancia. El método basado en leyes de potencia puede interpretarse como una generalización y sistematización del primero.

5.4. La incorporación de un análisis desde la perspectiva de ecosistemas estratégicos puede aumentar la eficiencia en la gestión ambiental y posibilitar la comprensión y el reconocimiento de la importancia del medio ambiente para la sociedad por parte de sectores no especializados, que con frecuencia tienden a restar importancia a lo ambiental en las políticas e inversiones estatales y privadas.

5.5. El análisis desde el concepto de huella ecológica revela una crítica situación mundial resultante del desbalance entre oferta natural de bienes y servicios ambientales y demanda humana de los mismos. El agotamiento del capital natural amenaza las posibilidades de bienestar y desarrollo futuros y vuelve un espejismo la sostenibilidad. Pero no nos damos cuenta de ello y seguimos enfrentando el futuro como si nada hubiera cambiado. La economía y los economistas, muy especialmente y a pesar de su enorme responsabilidad como rectores de muchas de las más importantes decisiones, siguen de espaldas a esta realidad acuciante.

BIBLIOGRAFÍA

- Dinnerstein, E; Olson, D.M.; Graham, D. J.; Webster, A.L.; Primm, S.A.; Bokbinder, M.P.; Lede, G., 1995. Una evaluación del estado de conservación de las ecorregiones terrestres de América Latina y el Caribe. Publicado en colaboración entre el Fondo Mundial para la Naturaleza y el Banco Mundial. Washington, D. C.
- ECOFONDO, 1996. La gallina de los Huevos de Oro: Contribuciones al Debate sobre el Desarrollo Sostenible. ECOS No. 6. Santafé de Bogotá.
- Goodland, R. 1994. El argumento según el cual el mundo ha llegado a sus límites. En: Goodland, R; Daly, H.; El Serafy, S.; Droste, B. von (Editores), 1994. Desarrollo Económico Sostenible. Tercer Mundo Editores - Ediciones Uniandes. Santafé de Bogotá.
- Gell-Mann, M. 1994. El Quark y el Jaguar. Tusquets Editores.
- Gore, A. 1992. La Tierra en Juego. EMECE. Buenos Aires.
- Hannah, L; Lohse, D.; Hutchinson, Ch.; Carr, J. & Lankerani, A. 1995. Intervención humana en los ecosistemas mundiales. GAIA 7: 60 - 63. Madrid.
- IDEA - UN. 1996. Ecosistemas estratégicos colombianos. Informe Final presentado a IDEAM - MinAmbiente. Marzo de 1996. Santafé de Bogotá.
- Márquez, G. 1996. Ecosistemas estratégicos y otros estudios de ecología ambiental. Fondo FEN Colombia. Santafé de Bogotá.
- Márquez, G. y Acosta, L. A. 1994. Programa de Protección de ecosistemas estratégicos. En: IDEA - Universidad Nacional, 1994. Política Ambiental del Plan Nacional de Desarrollo: Documentos de Base. IDEA - Universidad Nacional. Bogotá.
- Meadows, H.; Donella, et al., 1972. Los límites del crecimiento. Fondo de Cultura.
- Mittermeier, R. y Webster, T. 1990. Welt of plants and animals united "megadiversity" countries. Tropicus 4: 4 -5.
- Myers, N. 1988. Threatened biota: hot spots in tropical forest. Environmentalists 8: 1 - 20.
- Rees, W.E., 1996. Indicadores territoriales de sustentabilidad. Ecología Política 12: 27 - 41. Icaria Editorial. Barcelona.
- Sisk, T., Launer, A.E., Switky, K. R.; Ehrlich, P.R., 1994. Identifying extinction threats. BioScience 44 (9): 592-604.

TABLA 3. LOS DEFICITS ECOLOGICOS DE LOS PAISES INDUSTRIALIZADOS*
 (Modificado de Rees, 1996)

PAÍS	Suelo ecológicamente productivo (ha.)		Población 1995 (ha)	c= a/b	d=Huella- c(ha)	Deficit ecológico nacional per cápita
	a	b				
Países con huella de 2-3 ha						
Japón	30,340,000	125,000,000	0.24		Países con huella de 2ha.	
Corea	8,669,000	45,000,000	0.19		1.76	730
Países con huella de 3-4ha.					1.81	950
Austria	6,740,000	7,900,000	0.85		2.15	250
Bélgica	1,987,000	10,000,000	0.2		2.8	1400
Dinamarca	3,270,000	5,200,000	0.62		2.38	380
Francia	45,385,000	57,800,000	0.78		2.22	280
Alemania	27,734,000	81,300,000	0.34		2.66	780
Holanda	2,300,000	15,500,000	0.15		2.85	1900
Suiza	3,073,000	7,000,000	0.44		2.56	580
Países con huella de 4-5 ha					Países con huella de 4.3(CAN) y 5.1(EUA) ha	
Canadá	433,000,000	28,500,000	15.19		[10,89]	[250]
EUA	725,643,000	258,000,000	2.81		2.28	80
Colombia(1.5)	110,000,000	35,000,000	3.14		[1,64]	[52,2]

Fuente: Revisión de Wackernagel & Rees (1995)

*Huellas estimadas en estudios de Ingo Neuman de la U. de Trier, Alemania; Dieter Zücher, de la consultora Infras Suiza , y nuestros propios análisis usando datos de World Resources Institute(1992)

TABLA 4. 3. 1.
PRINCIPALES VEINTE CIUDADES POR POBLACION
según Censo 1993

No.	MUNICIPIO	Km ²	Población/Km ²	N. de Personas/Km ²	TASA NATURAL DE CRECIMIENTO 1993	INDICE DE PRESSION DE P.	ACUMULADO POBLACION 1993	1993	FUENTES DE AGUA (CUENCAS)
1	Santafé de Bogotá	1.587	3608,668557	0,045395479		163,8172386	5.726.957		Chuza-Bogotá, Guatiquia
2	Cali	528	3098,179924	0,0239541	74,2141114		7.362.796		Cauca y Cali
3	Medellín	382	4089,643979	0,007770212	31,77739977		8.925.040		—
4	Barranquilla	163	6296,638037	0,016451831	103,5912236		9.951.392		Magdalena
5	Cartagena	581	1007,948365	0,012137968	12,23444454		10.537.010		Canal del Dique
6	Cúcuta	1.160	417,3008621	0,030428854	12,69798713		11.021.079		Pamplonita

CONTINUACIÓN TABLA 4. 3. 1.

7	Bucaram.	155	2681,303226	0,020646399	55,35925496	11.436.681	Suratá - Toma -
8	Putca	609	635,8965517	0,037017735	23,53944975	11.823.942	Frio
9	Manizales	441	833,6394558	0,025683807	21,41103527	12.191.577	Otún
							Blanco -
							Chinchina
10	Ibagué	1.385	257,3415162	0,024506381	6,306509354	12.547.995	Combeima - Cay
11	Pasto	1.247	215,8219727	0,011895195	2,567244553	12.817.125	Pasto - Q. López
							Militayo
12	Bello	149	1787,939597	0,028046354	50,14518628	13.083.528	—
13	Villavicencio	1.323	184,8624339	0,039236169	7,253293738	13.328.101	Guatiquia
14	Santa Marta	2.323	105,2152389	0,014179077	1,491854926	13.572.516	Manzanares -
							Lodira - Pozos
15	Montería	3.040	80,04013158	0,010260448	0,821247592	13.815.838	Sinú - Q. Trotado
16	Soledad	66	3593,181818	0,044745612	160,7791183	14.052.988	Magdalena
17	Valledupar	4.930	47,86876268	0,023179689	1,109583053	14.288.981	Guatapuré
18	Neiva	1.353	174,1670362	0,023952391	4,171716925	14.524.629	Ceibas - Pozos
19	Palmira	999	220,3523524	0,003300907	0,727362688	14.744.761	
20	Buenavent.	6.498	30,98630348	0,00517393	0,160320972	14.946.110	

FIGURA 4.3.1.

Acumulado poblacional de las principales veinte ciudades del país

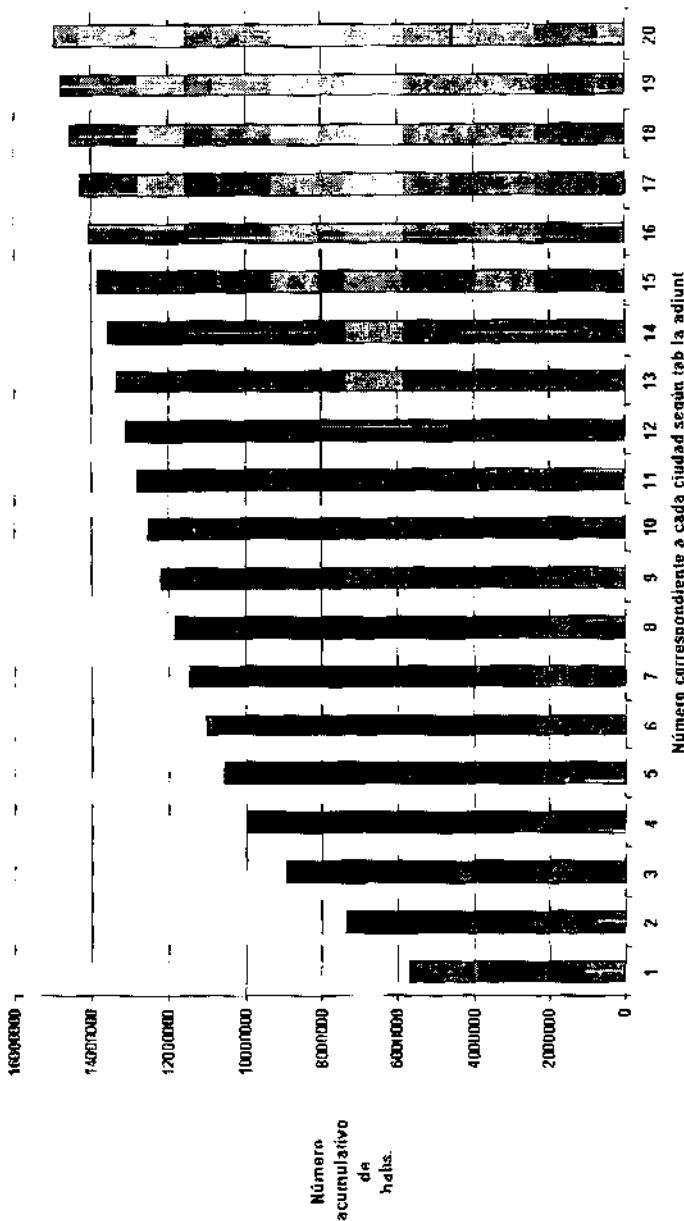


TABLA 4.3.2.

Nº	Nombre de la Hidroeléctrica	Capacidad instalada en MV	Caudal promedio en m ³ /s	Volumen total en m ³ .10 ⁶	Nombre de la Cuenca de captación	Capacidad instalada acumulada (C.I.A.)	Valor porcent. dela C.I.A.
1	San Carlos o Punchiná	1550	143	72	Río Guatape	2550	19,3%
2	Sistema Muña Total	1151,5	10 a 23	—	Río Bogotá	3701,5	33,62
2.1	Sistema Muña Proyecto Planta Vieja	4	20	41,4	Río Bogotá	2554	—
2.2	Sistema Muña Proyecto Salto I y II	125,5	10	41,4	Río Bogotá	2679,5	—
2.3	Sistema Muña Proyecto Laguneta	72	20	41,1	Río Bogotá	2751,5	—
2.4	Sistema Muña Proyecto El Colegio	300	20	41,4	Río Bogotá	3051,5	—
2.5	Sistema Muña Proyecto Canoas	50	20	41,4	Río Bogotá	3101,5	—
2.6	Sistema Muña Proyecto el Paraíso	276	23	41,4	Río Bogotá	3377,5	—
2.7	Sistema Muña Proyecto La Guaca	324	23	41,4	Río Bogotá	3701,5	—
2.8	Sistema Muña Embalse de Tomíné	—	—	690,6	Río Bogotá	3701,5	—
2.9	Sistema Muña Embalse del Neusa	—	—	102	Río Bogotá	3701,5	—
2.10	Sistema Muña Embalse de Sisga	—	—	96,3	Río Bogotá	3701,5	—
3	Chivor	1000	82	780	Río Bata	1000	46,06
4	Hidroeléctrica del Guavio	1000	71,7	17,8	Río Guavio	4701,5	58,41%
5	Sistema Guadalupe Total	608	—	—	Ríos Guadalupe, Nechí, Pajarito, Dolores y otros.	5309,5	66,08
5.1	Sistema Guadalupe I y II etapas	50	10	—		4751,5	—
5.2	Sistema Guadalupe III etapa	270	31,4	(utiliza el embalse de Troneras y, ocasionalmente, el de Miraflores).		5021,5	—

CONTINUACIÓN TABLA 4. 3. 2.

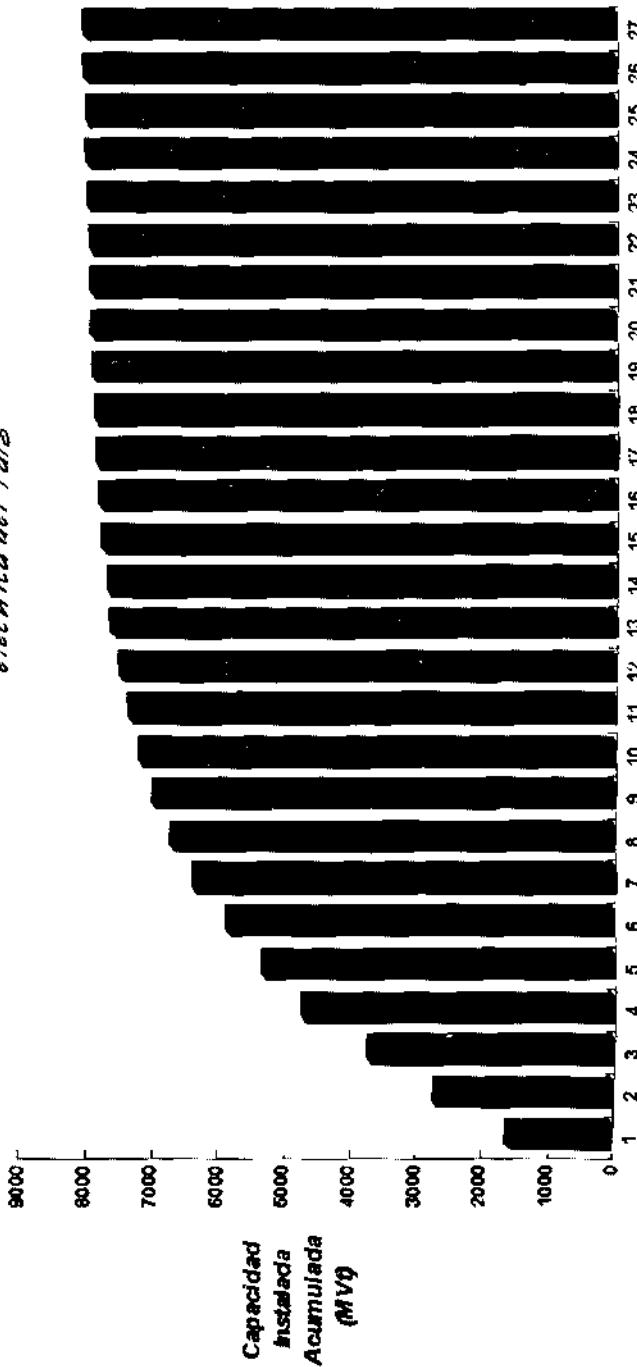
Nº	Nombre de la Hidroeléctrica	Capacidad instalada en MV	Caudal en promedio m ³ /s	Volumen total en m ³ .10 ⁶	Nombre de la Cuenca de captación	Capacidad instalada acumulada (C.I.A.)	Valor porcent. de la C.I.A.
5.3	Sistema Guadalupe IV etapa	288	88	—	Ríos Guadalupe, Nechí, Pajarito, Dolores y otros.	5309,5	—
6	Hidroeléctrica de Guataape	560	50	1236	Rio Nare	5869,5	73,05
7	Betania	510	473	1971	Rio Magdalena Curso alto	6379,5	97,18
8	Alto Anchicayá	340	59	45	Rio Anchicayá	6719,5	83,63
9	Salvajina	270	140	906	Rio Cauca curso alto	6989,5	86,99
10	Playas	200	113	85	Rio Guatapé	7189,5	89,48
11	Jaguas	170	40,9	208	Rio Nare	7359,5	91,6
12	San Francisco	135	23,57	9	Ríos Chinchiná, Campoalegre y San Fr.	7494,5	93,27
13	Calima I	120	14	2,8	Rio Calima	7614,5	94,77
14	Rio Grande	75,5	33	1,75	Rios Quebradona	7690	95,70
15	Bajo Anchicayá	64	83	5,75	Rio Grande	7754	96,5
16	Prado	54,5	90	1050	Rio Anchicayá	7808,5	97,18
17	Troneras	36	15,5	1,1	Rio Prado (Afluente del Magdalena)	7844,5	97,63
18	Esmeralda	30	20,1	—	Rios Guadalupe, Tenche Pajarito y Dolores Ríos Chinchiná, Campoalegre	7874,5	98,0
19	Florida II	28,8	27	0,248	y San Eugenio	7903,3	98,36
20	Rio Mayo	21	11	4,5	Rio Cauca, Qda Robles Qda Aguacolombiana	7924,3	98,62

CONTINUACIÓN TABLA 4. 3. 2.

Nº	Nombre de la Hidroeléctrica	Capacidad instalada en MW	Caudal en promedio m^3/s	Volumen total en $\text{m}^3 \cdot 10^6$	Nombre de la Cuenca de captación	Capacidad instalada acumulada [C.I.A.]	Valor porcent. dela C.I.A.
21	Proyecto múltiple Rio Grande Calderas	20 18,4	35 6,5	200 0,565	Rio Grande Rios Calderas y Tafetanes, y Qda. La Arenosa	7944,3	98,87
22	Palmas	18	17	0,067	Rio Lebrija	7962,7	99,1
23	Insula	18	16	1,6	Rios Chinchiná y Campoalegre, y Qda. Comeguadua	7980,7	99,32
24	Ayurá	16	8	14,4 (Usa el embalse de la Fé)	Rios Buey, Piedras y Pantanillo	7998,7	99,55
25	Río Negro	10	15	—	Rio Negro	8014,7	99,75
26	Piedras Blancas	10	1,5	—	Rios La Honda y otros	8024,7	99,87
27	(Ecosist. Estrat.)					8034,7	100%

GRÁFICO 2

Porcentaje anual/cumplido de las hidroeléctricas a la producción de energía
eléctrica del País



Número correspondiente a las Hidroeléctricas según la tabla adjunta