

TEMA 12. La hidrosfera. El ciclo del agua. La contaminación del agua. Métodos de análisis y depuración. El problema de la escasez de agua.

0. INTRODUCCIÓN.

El contenido del presente tema versa sobre el agua. Comenzaremos estudiando algunos aspectos relevantes de la hidrosfera. En el segundo epígrafe, analizaremos el ciclo del agua. En el tercero, veremos de qué modo el agua se altera por efecto de la contaminación. Continuaremos analizando algunas técnicas que nos permiten analizar y depurar las aguas residuales. Por último, en el quinto epígrafe, haremos referencia al problema de la escasez de agua.

Hecha esta breve introducción, comenzamos con el desarrollo del primer epígrafe, titulado...

1. LA HIDROSFERA.

Clásicamente se designa como *hidrosfera* a la envoltura líquida superficial del planeta. Actualmente se supone que el agua de nuestro planeta no procede de la condensación de una atmósfera gaseosa primitiva, que seguramente se perdió en las primeras fases de la historia de la Tierra, sino que se diferenció a partir de la primitiva corteza terrestre, como si fuera un exudado de la misma. La materialización de esta diferenciación vendría a través del contenido en agua de las emisiones volcánicas.

Debido a que la temperatura media de nuestro planeta (15°C) está próxima a la del punto de congelación del agua (0 °C), ésta puede encontrarse tanto en fase líquida como sólida.

La cantidad total de agua existente en la superficie de la Tierra es de, aproximadamente, **1,28-10 km³**. La inmensa mayoría de ella corresponde a los océanos (97,2-97,4%), y sólo una pequeña parte a los continentes (2,6 - 2,8%); y de ésta, la mayoría corresponde a los glaciares (2-2,22% del total) y a las aguas subterráneas (aproximadamente 0,6% del total). Sólo una pequeñísima parte (0,014%) corresponde a las aguas corrientes superficiales, que el hombre utiliza esencialmente para sus necesidades.

Muchas de las propiedades del agua se derivan de la peculiar naturaleza de su molécula química. Debido a la gran diferencia de electronegatividad entre el H y el O la molécula de agua resulta marcadamente *dipolar*, presentando una distribución interna de cargas positivas y negativas. Como consecuencia, va a tender a formar enlaces por puente de hidrógeno con otras moléculas de agua, y a interactuar eléctricamente con cualquier otra molécula cargada (iónica o dipolar).

Estas características químicas de la molécula condicionan gran parte de las propiedades físicas que presenta. Reseñamos a continuación algunas de las más importantes:

- Presenta *puntos de fusión y ebullición* muy altos para su peso molecular, como consecuencia del enlace entre moléculas por puente de H, siendo líquida a temperatura ambiente, lo que la convierte en un agente de transporte de primer orden en los procesos geodinámicos internos y en muchos procesos biológicos.
- Su *calor específico y de vaporización es muy alto*, de ahí su efecto termostático y termorregulador en los sistemas vivientes.
- Presenta una *constante dieléctrica* elevada, consecuencia de la interacción entre las cargas de la molécula de agua y las cargas de otras posibles moléculas. Esto explica la fácil ionización de las sales en el agua, así como la disolución de otros tipos de sustancias químicas de naturaleza polar. Se suele afirmar que el agua es, por su abundancia y su alta constante dieléctrica, el *disolvente universal de sustancias iónicas y dipolares*. Esta propiedad tiene una gran trascendencia biológica (la mayor parte de los procesos biológicos a nivel celular se llevan a cabo en solución acuosa) y geológica (de su capacidad disolvente depende una parte de la capacidad del agua como agente geológico de meteorización, erosión y transporte).
- Por otra parte, su *viscosidad dinámica* es relativamente elevada, propiedad muy importante para los seres vivos acuáticos de pequeño tamaño y en la capacidad de transporte de las corrientes de agua.
- Además, su *tensión superficial* elevada tiene importancia para la vida de muchos organismos acuáticos superficiales e influye en el paso del agua de fase líquida a fase vapor. Esta propiedad está relacionada también con su capacidad de ascender por *capilaridad* por conductos de diámetro lo suficientemente estrecho. El ascenso capilar del agua tiene gran trascendencia en la fisiología de los vegetales y en la dinámica de los suelos.
- Otra de sus características es la *compresibilidad baja* (reducción de volumen por compresión), de ahí el papel del agua como esqueleto hidrostático en muchos organismos acuáticos.
- Por último, destacamos la *densidad*. En las diferencias de densidad del agua se basa toda la dinámica de corrientes oceánicas, con repercusión indudable en las características climáticas y ecológicas de la biosfera. El agua sólida es más ligera que el agua líquida, por lo que tiende a colocarse en la superficie de ésta (banquisas polares, cubierta de ríos y lagos helados). La densidad del agua líquida depende de *dos factores*: la *salinidad* (el agua dulce tiene una densidad máxima de 1 g/cm, el agua marina puede alcanzar 1,03 g/cm.), y la *temperatura*,

siendo ésta máxima alrededor de 4°C., por encima y por debajo la densidad del agua disminuye. Analizadas las características del agua, pasamos en el segundo epígrafe al estudio de...

2. EL CICLO DEL AGUA.

El agua en la superficie del planeta está sometida a un continuo proceso cíclico, cuyo motor de impulsión es la energía radiante del *Sol*. El agua líquida pasa a la atmósfera en forma de vapor, se condensa formando las nubes y, ocasionalmente, precipita en forma de lluvia, nieve o granizo. El agua que precipita sobre los continentes puede evaporarse en parte, y el resto pasa a constituir aguas corrientes superficiales o aguas subterráneas de infiltración que regresarán, por transporte gravitatorio, hacia las zonas oceánicas. Parte del agua puede quedar en forma sólida, retardándose así su ciclo, otra parte queda retenida temporalmente en la constitución de los sistemas biológicos.

La velocidad de *movimiento* del agua en el ciclo es muy variable. Para medir esta velocidad se utiliza el parámetro de *tiempo de residencia*, o tiempo que permanece, por término medio, una molécula de agua en un determinado compartimento o reservorio. El tiempo de residencia de la atmósfera es de 10 días; el de los ríos de 13; el de los océanos y glaciares, aproximadamente, de 36.000 años; el de las aguas subterráneas llega a millones de años.

El *ciclo hidrológico*: evaporación, condensación, precipitación, congelación, fusión representa un mecanismo de segregación de sales disueltas que mantiene, a lo largo del tiempo, la distinción entre aguas dulces y saladas.

Estudiado el ciclo del agua, continuamos con el tercer epígrafe del tema, titulado...

3. LA CONTAMINACION DEL AGUA.

Podemos definir la **contaminación del agua** como cualquier alteración de sus propiedades físicas, químicas o biológicas que la hacen inservible para determinadas funciones. Puede estar provocada por causas naturales o geoquímicas, y por causas antrópicas.

- Entre las *causas naturales* destacamos: la *meteorización* y la *erosión* mecánica de las rocas; los *aportes atmosféricos*, por medio de la precipitación, de distintos tipos de sustancias de origen oceánico, volcánico o terrestre; y el *lavado* de los suelos orgánicos.
- Las fuentes de contaminación relacionadas con la *actividad humana* son: la *deforestación* y la *erosión* de influencia antrópica (como obras públicas, explotaciones, agricultura,...) que alteran de modo importante el contenido de materiales en suspensión; la construcción de embalses, la canalización de cursos fluviales y la desecación de zonas húmedas que afectan a los mecanismos de autodepuración y autorregulación de los ecosistemas acuáticos continentales; la agricultura tradicional y el tratamiento individual de las aguas usadas; la agricultura industrial y la irrigación masiva de fertilizantes, y pesticidas...; las aguas residuales de origen industrial, vertidas con o sin depuración a la red hidrográfica; las aguas residuales de origen urbano; las aguas procedentes de las actividades de lavado de la minería; las aguas procedentes de los circuitos de refrigeración de las centrales nucleares; la contaminación atmosférica trasladada a las aguas superficiales o subterráneas por la precipitación; los accidentes de diverso tipo (camiones cisterna, accidentes nucleares)...

Podemos clasificar los contaminantes en los siguientes grupos: *compuestos químicos* inorgánicos de carácter ácido, procedentes de distintos tipos de actividades industriales, que disminuyen el PH de las aguas a las que se vierten; *compuestos inorgánicos* de carácter básico (álcalis) de origen industrial, que elevan el pH de las aguas a las que son vertidos; otros tipos de residuos *químicos inorgánicos* de origen agrícola o industrial, como cianuros, detergentes, grasas...; residuos *químicos orgánicos* de origen agrícola o industrial; residuos *sólidos*, de origen agrícola, industrial o doméstico (plásticos, envoltorios papeles). Dentro de los contaminantes de origen orgánico habría que hacer una distinción entre aquellos que son parcial o totalmente biodegradables (alcoholes, aldehidos, fenoles, mayoría de aminoácidos, hidratos de carbono...) y aquellos que son no biodegradables (hidrocarburos saturados, olefinas, clorofenoles, hidrocarburos clorados y otros).

Las *alteraciones* más importantes que pueden sufrir las aguas como consecuencia del aporte de sustancias extrañas son de índole física, química y biológica.

- Las *alteraciones físicas* se configuran por variaciones en el color, sabor y olor habituales del agua, variaciones en la temperatura del agua (contaminación térmica, generada por la utilización industrial del agua como líquido refrigerante), variaciones en la cantidad de materia en suspensión, radiactividad, formación de espumas, variaciones en la conductividad eléctrica del agua.
- Las *alteraciones químicas* están configuradas por variaciones en el pH del medio acuoso, por variaciones en la concentración de O² disuelto, variaciones en la concentración de materia orgánica presente en el agua, variaciones en la concentración de N y P (en forma de nitratos, fosfatos, amonio o formando parte de compuestos orgánicos), por la presencia, en concentraciones anormalmente altas, de compuestos químicos (orgánicos o inorgánicos) tóxicos para los seres vivos, como cationes metálicos, cianuros, hidrocarburos...
- Por último, las *alteraciones biológicas* están definidas por variaciones en la presencia de microorganismos como bacterias y virus, y por variaciones en la presencia de animales y plantas.

Habiendo hecho referencia a la contaminación del agua, desarrollamos el cuarto epígrafe titulado...

4. MÉTODOS DE ANÁLISIS Y DEPURACIÓN.

Los parámetros que, al menos, deben evaluarse en un análisis de aguas son los siguientes:

- *Caracteres organolépticos*, que son aquellos que se pueden determinar por los órganos de los sentidos, como: *color* (tono parduzco producido por materia orgánica, tonalidad verde por el fitoplancton o clorofila, color gris oscuro propio de las aguas residuales urbanas); *olor*, producido por compuestos orgánicos en descomposición, fenoles, cloro y microorganismos; y *sabor*, que está ligado al olor, los cloruros y sulfatos dan un sabor salado, los fenoles y sales de cobre zinc o hierro dan un sabor metálico.
- *Parámetros generales* como temperatura, conductividad eléctrica, pH, materia en suspensión y formación de espuma, cantidad de oxígeno... Así:
 - Una *temperatura* elevada implica la aceleración de los procesos de putrefacción. Los cambios bruscos de temperatura pueden provocar la desaparición de buena parte de la vida en el medio acuático (caso de las salidas de cambiadores de calor en las grandes centrales térmicas). La temperatura está también ligada con la presencia de oxígeno en el agua, disminuyendo la concentración de este gas en disolución. En general, un agua que contenga menos de 4 mg/l de oxígeno disuelto no es apta para el desarrollo de la vida en su seno.
 - La *conductividad eléctrica* es un parámetro que está directamente ligado a la concentración de sales disueltas en el agua.
 - El *pH* mide la acidez (pH menor a 7) o basicidad (pH mayor a 7) del agua. La vida se desarrolla mejor en aguas que son neutras (pH=7).
 - Con respecto a la *materia en suspensión*, ésta provoca la turbidez del agua, dándole cierta sensación de contaminada.
 - También la *formación de espuma* es una característica de las aguas contaminadas con detergentes sintéticos. Una acción grave de los detergentes sobre los ríos es la disminución de su capacidad de autodepuración, al inhibir la oxidación química y biológica.
 - La *cantidad de oxígeno, aniones y cationes* es otro parámetro fundamental ya que refleja la capacidad del agua para regenerarse.
 - Entre las *sustancias orgánicas* que deben investigarse en un análisis de aguas tenemos hidrocarburos, fenoles, plaguicidas, ácidos carboxílicos y detergentes.
 - También el *examen bacteriológico* es especialmente importante en las aguas para consumo humano. La presencia de bacterias y coliformes se utiliza como indicador de contaminación por desechos y permite calificar un agua de consumo en potable, sanitariamente permisible o no potable.
 - Por último, la *radiactividad* es otro parámetro que nos sirve para constatar si el agua es especialmente peligrosa para la salud pública, por la relación con la generación de mutaciones genéticas y el cáncer.

Hasta hace relativamente poco tiempo, el vertido de aguas residuales *sin depurar* o insuficientemente tratadas podía ser asimilado por la capacidad autodepuradora de los cauces. Hoy en día, por razón de la concentración de afluentes y la aparición de compuestos contaminantes no biodegradables, esta capacidad es ampliamente sobrepasada en grandes áreas del planeta.

En la contaminación de las aguas superficiales un concepto cada vez de mayor relevancia es el del *efecto sinérgico*: la presencia en un área de una concentración alta de industrias, por ejemplo, puede provocar en los cauces concentraciones de determinados contaminantes mayores de lo permitido aun cumpliendo cada una de las industrias allí presentes las normativas en vigor. Por ello, cada vez gana importancia la idea de *vertido cero*, es decir, el reciclado total del agua dentro de las industrias como única solución real al problema.

Las aguas residuales son tratadas o eliminadas por varias *vías*, como la dilución, inyección en el terreno y tratamientos de depuración.

- La *dilución* se utiliza principalmente con efluentes de alta temperatura, de tal forma que la salida sea a una temperatura que no cause daño al entorno.
- La *inyección en el terreno* puede acarrear problemas de contaminación de aguas subterráneas, y es indispensable un estudio geológico de la zona que asegure la imposibilidad de transmisión a un acuífero. Otra condición para su utilización es que el efluente no contenga materia biodegradable, para evitar crecimientos bacterianos.
- Por último, los *tratamientos de depuración* intentan restituir al agua utilizada su calidad original.

En materia de depuración de aguas residuales se puede distinguir entre *tecnologías duras* y *tecnologías blandas*.

- Las *tecnologías duras o convencionales* han sido las preferentemente en los países desarrollados sobre la base de los avances científicos y tecnológicos y obviando el coste de energía y productos. Sus inconvenientes son: el elevado coste energético y económico, y el hecho de que su operación y mantenimiento necesite de personal especializado. Su principal *ventaja* es que la gama de tecnologías existentes permite la eliminación de cualquier

tipo de contaminación en el agua.

Los tratamientos existentes pueden dividirse en: tratamiento previo, primario, secundario o biológico, terciario y tratamientos diversos. Pueden aplicarse todos, sucesivamente, en la misma planta de tratamiento o prescindirse de alguno de ellos, dependiendo de las necesidades de la depuración.

- El **tratamiento previo** consiste en la eliminación del agua de todos aquellos cuerpos de gran tamaño (trapos, maderas...) junto con los materiales detríticos de mayor diámetro (piedras y arenas). Las técnicas más utilizadas son *equipos de rejás* (retienen los cuerpos más grandes), *desarenadores* (eliminan la arena) y *dilaceradores* (equipos de trituración).
- El **tratamiento primario** tiene como objetivo la eliminación de la materia sólida en suspensión, así como de grasas y aceites. Estos últimos se separan fácilmente del agua por distintos mecanismos de tipo físico. Los sólidos en suspensión se dejan sedimentar para su posterior eliminación, siendo necesaria la utilización de sustancias coagulantes para provocar la floculación de la fracción arcillosa coloidal. En este tratamiento debe corregirse el pH del ácido o básico en exceso, para permitir el buen desarrollo de los tratamientos posteriores.
- El **tratamiento secundario** es el encargado de eliminar la materia orgánica biodegradable presente en las aguas residuales. Se usan para ello microorganismos descomponedores que sean después fácilmente eliminables del agua por decantación (bacterias, hongos y algas, principalmente).
- El **tratamiento terciario** se lleva a cabo para la eliminación de la materia orgánica no depurada en el proceso anterior, los compuestos de N y P, así como las sales inorgánicas disueltas. Las tecnologías utilizadas revisten una gran variedad (filtración, floculación, adsorción, intercambio iónico, destilación, electrodiálisis y otros).
- Por último, entre otros **tratamientos diversos** se incluye procedimientos para eliminar contaminantes específicos, como cianuros, cromatos, metales pesados...). El más utilizado es la *cloración* del agua para la eliminación de patógenos que hubieran podido escapar a los procesos anteriores.

Un aspecto que conviene no olvidar es la generación de fangos en todos los procesos, que deben tener también su tratamiento de inertes, para no impactar negativamente sobre el medio.

- Las **tecnologías blandas** son conocidas como **tecnologías de bajo coste**, dado que el consumo energético en la planta de tratamiento es menor o nulo. Sus *ventajas* son: bajo coste energético y económico, facilidad de operación y mantenimiento, no requiriendo personal especializado, excelente integración en el medio rural, muy buen rendimiento en la eliminación de patógenos. Sus *inconvenientes* son: difícil aplicación en medios urbanos (de grandes poblaciones), y que no son útiles ante contaminaciones de origen químico inorgánico.

Las tecnologías de bajo coste requieren tratamientos previos, e incluso primarios, similares a los descritos para las tecnologías convencionales, y producen, asimismo, fangos.

Describimos brevemente *cuatro tecnologías* de este tipo: lagunaje, filtro verde, lechos de turba, y contadores biológicos rotativos.

- El *lagunaje* consiste en la construcción de lagunas o estanques donde se acumula el agua residual, cuya depuración se lleva a cabo por la acción bioquímica de bacterias. Presenta dos modalidades, que pueden utilizarse conjunta o separadamente: *lagunaje anaerobio*, con depuración por fermentación anaerobia en estanques con más de 2 m de profundidad, y *lagunaje aerobio*, donde la depuración de la carga contaminante se realiza por respiración bacteriana aerobia.
- Con el *filtro verde* la depuración del agua se consigue por la acción conjunta del suelo, microorganismos y plantas, por procesos de tipo físico, químico y biológico. Su ámbito de utilización (establecido por la Dirección General de Obras Hidráulicas) son poblaciones de menos de 25.000 habitantes, y siempre que los efluentes no contengan sustancias nocivas para los cultivos; tampoco es aplicable si los suelos son muy arcillosos (excesivamente impermeables) o muy arenosos (excesivamente permeables). Las explotaciones forestales generalmente utilizadas como filtro verde son las *choperas*.
- En el tipo de depuración de *lechos de turba* se hace circular el efluente aguas abajo sobre un lecho de turba, el cual descansa sobre una delgada capa de arena que, a su vez, está soportada por una capa de grava. El fenómeno físico en que se basa el método es la *adsorción* de las sustancias contaminantes por las partículas de turba (adsorción: fijación de gases y sustancias disueltas en la superficie de cuerpos sólidos). El proceso se completa con una retención mecánica y una depuración biológica. La eficacia en eliminación es muy alta, del orden del 85%.
- Por último, el sistema de **contactores biológicos rotativos (CBR)** es un sistema mecánico en el que se hace circular el agua residual por un sistema de discos, cuya finalidad es airear la película biológica que se produce, facilitando la descomposición aerobia de la bacteria orgánica. Además, las fuerzas tangenciales que genera la rotación de los discos permiten eliminar el exceso de biomasa microorgánica desarrollada sobre ellos. Su eficacia depuradora es alta pero requiere de cierto consumo energético necesario para el movimiento de los discos.

Analizados los métodos de análisis y depuración del agua, estudiamos en el quinto y último epígrafe...

5. EL PROBLEMA DE LA ESCASEZ DEL AGUA.

De toda el agua de la Tierra, solo el 2,6% es agua dulce, pero el 98% de la misma está en forma de hielo; esto nos deja un volumen de agua dulce líquida de unos 635.000 km³ (el 0,05% del total de la hidrosfera). La cifra global media que necesita cada habitante del mundo es de 1.500 m³/año (incluyendo todos los usos que el hombre hace de ella: agricultura, industria...). Teóricamente, habría agua suficiente para abastecer a una población de 400.000 millones de seres humanos. Entonces, ¿cómo podemos hablar de problemas de agua?

Si examinamos bien las cosas, veremos que el sencillo cálculo anterior no es significativo, ya que: el agua potable está muy desigualmente repartida entre la población de la Tierra; la excesiva explotación del medio ambiente ha traído el problema de la *desertificación* a zonas amplias del planeta (con la consiguiente disminución de las reservas hídricas); el modelo de desarrollo económico del Norte, que utiliza ríos y lagos como alcantarilla de productos químicos y térmicos, ha traído aparejado el problema de la contaminación del agua, que la hace inservible para posteriores usos; el imparable crecimiento demográfico acrecienta las necesidades de agua y aumenta el problema de su contaminación.

De ahí que la escasez y degradación del agua -a pesar de su aparente abundancia- sea una innegable realidad.

Entre las soluciones que proponemos destacamos las siguientes: desalinizar el agua del mar (coste energético y económico muy alto); explotación del agua congelada y manipulación de las nubes (resultados ecológicos y políticos incalculables); considerar el agua recurso mundial y expedirla (como el petróleo) a zonas necesitadas (problemas políticos incalculables); y finalmente, control del aumento de la población actual.

España es uno de los países del mundo con más elevado consumo de agua «*per cápita*». Los factores causales de esta situación son las características de su clima (con temperaturas benignas y alto índice de insolación) que han condicionado un extraordinario desarrollo turístico y agrícola, que demanda volúmenes de agua muy importantes. A ello se une una escasa cultura del ahorro, con niveles muy bajos de concienciación ante el problema. Por otra parte, las precipitaciones, en general escasas, ocasionan déficits en los suministros que sólo han podido paliarse, en parte, con el desarrollo de un importante sistema de recursos hidráulicos (nuestra red de embalses tiene una capacidad total de más de 43 km³, frente a, por ej., los 7 km. de la red francesa). Por otro lado la distribución de los recursos hidráulicos es absolutamente irregular en la superficie de nuestro país, siendo las regiones de *Levante* y *Andalucía* las que presentan mayores déficits al respecto. En estas regiones la explotación de las aguas subterráneas se ha hecho imprescindible para atender a las crecientes necesidades.

La demanda media actual de agua es, en nuestro país, de aproximadamente 800 l/hab/día. Ante esta situación, está claro que el agua en España debe ser considerada como un bien público a proteger. El éxito de cualquier política que persiga este objetivo depende de que su planteamiento se haga desde una óptica basada en el concepto de desarrollo sostenible, promoviendo, entre otros, los siguientes mecanismos:

- Mecanismos para *impulsar el ahorro* actuando sobre los precios del agua (primando el bajo consumo), control de extracciones clandestinas, incentivar técnicas agrícolas que ahorren agua (como el riego por goteo), no permitir el uso de agua potable para el riego de campos de golf.
- Mecanismos para *aumentar la eficiencia*, reduciendo pérdidas por conducción y transporte (actualmente llegan al 30%), estimulando el riego por goteo o aspersión...
- Mecanismos para *promover el reciclado y retorno en óptimas condiciones del agua* utilizada, estableciendo impuestos sobre vertidos, dedicando la recaudación a la mejora de la calidad del agua, aumentando el personal de guardería y mejorando las técnicas de detección de vertidos (teledetección, satélites,...).

En el marco de la normativa legal, el *Real Decreto Legislativo* de 1/2001 de 20 de julio supuso un gran cambio cualitativo en este sentido. Como consecuencia, se han ido presentando distintos proyectos para el *Plan Hidrológico Nacional*. Sin embargo, fue objeto, desde el primer momento, de importantes controversias en distintos foros y, hasta la fecha, sigue pendiente su aprobación definitiva. El proyecto para el PHN hace hincapié en la política de infraestructuras (trasvases de cuencas excedentarias a cuencas deficitarias y la construcción de más de 250 embalses), con un coste de 2 billones de pesetas.

CONCLUIMOS el tema haciendo una reflexión sobre la necesidad de una protección adecuada de los recursos del agua, aunque haya que pasar necesariamente por el establecimiento de políticas preventivas de la contaminación que encuentren su expresión en los planes de ordenación del territorio. Estas políticas si quieren efectivas, solo podrán establecerse sobre la base de estudios geológicos, hidrológicos, hidrogeológicos y de fuentes potenciales de contaminación que permitan prevenir el impacto sobre el medio acuoso de las actividades humanas.

Como referencias **BIBLIOGRÁFICAS** citamos las siguientes:

- ANGUITA MORENO: *Procesos geológicos externos. Geología Ambiental*. Rueda. Madrid. 1993.
A.A.V.V. 1989: Gestión del planeta Tierra. *Investigación y Ciencia*. 1989.