

DEBATES INTERNOS

MEDIO AMBIENTE Y SOCIEDAD

Amando García Rodríguez

CÁTEDRA DE EMÉRITOS
de la Comunidad Valenciana



DEBATES INTERNOS

MEDIO AMBIENTE Y SOCIEDAD

Amando García Rodríguez

Edita: ©

CÁTEDRA
DE EMÉRITOS
de la Comunidad Valenciana

Autor:
© Amando García Rodríguez

Coordinan:
Vicente López Merino
Concha Albalat Criado
Salvador Aldana Fernández
Antonio Alegre Cremades

D. L.: V-1975-2006

Maquetación e impresión:
Gráficas Antolín Martínez. s.l.
Tel. 96 391 89 84 - www.grafamar.com

ÍNDICE

Prólogo.....9

1. El medio ambiente y su degradación 13

1.1. Introducción 13

1.2. Biosfera y medio ambiente 14

1.3. Ciclos de algunos elementos importantes..... 18

1.4. La acción del hombre sobre la biosfera 23

1.5. La degradación de la biosfera..... 27

1.6. La respuesta ante la degradación..... 34

1.7. Las incertidumbres sobre el futuro..... 38

2. Problemáticas globales..... 43

2.1. Introducción 43

2.2. El crecimiento de la población 45

2.3. El clima de nuestro planeta..... 52

2.4. Agentes contaminantes de la troposfera 60

2.5. Datos recientes sobre el cambio climático..... 62

2.6. El problema de la capa de ozono 66

3. La contaminación atmosférica 73

3.1. Introducción 73

3.2. Fuentes contaminantes del aire 76

3.3. Productos contaminantes y sus efectos..... 79

3.4. La calidad del aire urbano..... 90

3.5. Condiciones climatológicas y contaminación 94

3.6. La contaminación del aire y la salud..... 95

4. La contaminación de las aguas 105

4.1. Introducción 105

4.2. Productos contaminantes..... 111

4.3. Contaminación de las aguas superficiales..... 119
4.4. Contaminación de las aguas subterráneas..... 121
4.5. Contaminación de los mares y océanos 125
4.6. Tratamiento de las aguas residuales..... 130
4.7. Efectos sobre la salud 136
5. Energía y medio ambiente 141
5.1. Introducción 141
5.2. Producción y consumo de energía..... 147
5.3. Los combustibles fósiles 152
5.4. La energía nuclear 157
5.5. Las energías alternativas 161
5.6. La situación energética en España 173
5.7. Consideraciones finales 176
6. La ciudad como espacio ecológico 179
6.1. Introducción 179
6.2. El proceso de urbanización 181
6.3. Ciudades, arquitectura y urbanismo..... 189
6.4. Los espacios públicos en las ciudades..... 196
6.5. Control de la temperatura y la humedad..... 200
6.6. El problema de los residuos urbanos 202
7. La contaminación acústica..... 207
7.1. Introducción 207
7.2. Las fuentes de ruido ambiental..... 212
7.3. Evaluación de la contaminación acústica..... 217
7.4. Niveles sonoros en la ciudad de Valencia 220
7.5. El ruido ambiental y la salud 223
7.6. El control del ruido ambiental 228

8. La contaminación por radiaciones 237
8.1. Introducción 237
8.2. Radiaciones ionizantes: conceptos básicos 242
8.3. Las radiaciones ionizantes y la salud 248
8.4. Radiaciones no ionizantes: conceptos básicos 251
8.5. Las radiaciones no ionizantes y la salud 252
9. El desarrollo sostenible 259
9.1. Introducción 259
9.2. Un modelo alternativo de desarrollo 260
9.3. Concepto de desarrollo sostenible 264
9.4. El concepto de capacidad de sustentación 269
9.5. Ciudades sostenibles 274
9.6. Criterios para el desarrollo sostenible 279
9.7. Algunas posiciones críticas 285
10. Medio ambiente y sociedad..... 291
10.1. Introducción 291
10.2. Los límites del crecimiento 293
10.3. Por una sociedad ecológica 299
10.4. El global posible 306
10.5. La Conferencia de Río 311
10.6. Argumentos para el optimismo 318
10.7. Consideraciones finales 324
Referencias bibliográficas 327

MEDIO AMBIENTE Y SOCIEDAD

PRÓLOGO

Entre otras muchas cuestiones, estas últimas décadas se han caracterizado por una significativa toma de conciencia de las instituciones y personas a nivel mundial sobre el problema del medio ambiente, basada en la percepción de que un desarrollo incontrolado de la humanidad, o al menos de una parte significativa de la misma, puede provocar daños muy importantes e incluso irreversibles sobre los seres humanos y sobre el medio en el que todos vivimos. Estos efectos negativos pueden referirse a aspectos tan diferentes como la desaparición de muchas especies animales y vegetales, la contaminación del suelo, el aire y las aguas, el agotamiento de un buen número de recursos naturales o la alteración de las condiciones climáticas del planeta, entre otros.

Si preguntamos a cualquier persona de la calle qué es lo que entiende por degradación del medio ambiente, encontraremos que las respuestas se extienden en un abanico tan variado como extenso. Algunos nos hablarán de la mala calidad del aire que se ven forzados a respirar todos los días o de los asfixiantes humos que salen por alguna chimenea próxima a su hogar. Otros se referirán al mal sabor del agua que se ven obligados a beber. Los de más allá tal vez recuerden lo sucias que están las aguas de los ríos o mares próximos al lugar en que viven. Algunas personas mencionarán la degradación que observan en muchos de los campos o tierras que han visitado últimamente o a la cantidad de basuras y residuos que se acumulan en algún bosque o espacio natural. Es probable también que algunas de esas personas se refieran al insoportable ruido al que

están expuestos cotidianamente en sus hogares, en sus lugares de trabajo o en las calles de la ciudad en la que residen. La lista puede ser interminable. Sin embargo, muy pocas de esas personas serán conscientes de que no sólo sufren el impacto de los diversos tipos de contaminación ambiental, sino que, al menos en muchos casos, son también los responsables directos de ella. Es posible que la mayoría de esas mismas personas ignoren cuáles son los efectos que todas esas formas de contaminación ambiental tienen sobre su salud y su bienestar.

Sin duda alguna, el tema del medio ambiente es apasionante. Analizar la relación existente entre el medio ambiente y la sociedad en que nos encontramos en la actualidad, a nivel de todo el planeta, o en ámbitos mucho más limitados, resulta, si cabe, todavía más interesante. El agotamiento de recursos naturales, la calidad del medio ambiente y su eventual degradación por la acción humana, son cuestiones de importancia capital a la hora de diseñar los modelos de crecimiento y desarrollo de las sociedades modernas. En particular, las repercusiones de la contaminación ambiental sobre las economías a nivel mundial, estatal o incluso individual, afectan de forma sustancial a todos los países de la Tierra, desde los más industrializados hasta los más pobres.

En este libro vamos a hablar de todos estos temas y de muchos más, desde un punto de vista claramente multidisciplinar. Sus contenidos tienen orígenes muy diversos. Algunos de los temas tratados (concretamente, la radiactividad ambiental y la contaminación acústica) han sido objeto de investigación por parte del autor, como profesor de la Universidad de Valencia, en tiempos más o menos pasados, en algún caso tan lejanos como la década de los años sesenta. Otros temas han merecido su atención con ocasión de la impartición de numerosas conferencias o charlas dictadas a lo largo de los años en ambientes universitarios, culturales o sociales muy diversos. Una parte sustancial de estos materiales proceden de las notas de un curso monográfico sobre estos mismos temas impartido por el autor, en fechas relativamente recientes, en la Universidad Politécnica de

Valencia. Algunas de las cuestiones tratadas aquí fueron expuestas hace unos pocos meses en la Cátedra de Eméritos de la Comunidad Valenciana. En cualquier caso, toda la información y los datos que se recogen y presentan en el presente libro han sido cuidadosamente revisados y actualizados antes de su publicación.

El autor se ha esforzado mucho en elaborar un texto de lectura fácil, dirigido a un público amplio, no necesariamente especializado en el tema. Alcanzar ese objetivo en el caso de una materia tan compleja como la tratada, y presentar todas sus implicaciones desde un punto de vista muy general, no ha resultado una tarea fácil, sobre todo si tenemos en cuenta el carácter controvertido y polémico que caracteriza a la mayoría de los temas presentados. Por ello, sin renunciar ni un ápice a la objetividad de los contenidos (que se apoyan en datos contrastados y objetivos), nos ha parecido conveniente recoger en el libro una amplia muestra de planteamientos y valoraciones sobre los temas expuestos, dejando al margen su carácter más o menos polémico, con el fin de que los lectores puedan reflexionar sobre tales cuestiones y extraer sus propias conclusiones.

El contenido del libro se distribuye en diez capítulos y se completa con un listado de referencias bibliográficas, de carácter no exhaustivo. El Capítulo 1 está dedicado a presentar el tema general estudiado, introduciendo los conceptos más importantes del mismo, como es la noción de medio ambiente, su degradación y la necesidad de una respuesta decidida para luchar contra ella. En el Capítulo 2 se exponen muy brevemente algunos problemas globales relacionados con el medio ambiente y su deterioro, como es el caso de la superpoblación mundial, el clima del planeta o el problema de la capa de ozono. En el Capítulo 3 se estudia el tema de la contaminación atmosférica, analizando sus fuentes, sus características y los efectos sobre la salud humana. El Capítulo 4 se dedica básicamente a estudiar la contaminación de las aguas, en sus diferentes aspectos. En el Capítulo 5 se analiza con cierto detenimiento el problema de la energía y la relación existente entre ese factor y el medio ambiente. El Capítulo 6 se destina a analizar la ciudad como espacio ecológico,

dada la importancia que el fenómeno de la urbanización reviste en nuestra sociedad actual. En el Capítulo 7 se estudian los aspectos más importantes de la contaminación acústica, un tema singular y de gran relevancia en el mundo moderno. El Capítulo 8 está dedicado a estudiar la contaminación por radiaciones, incluyendo tanto las ionizantes como las no ionizantes. En el Capítulo 9 se presentan de forma sucinta los principios básicos del llamado desarrollo sostenible. Finalmente, en el Capítulo 10 se ofrece una selección muy cuidada del extenso conjunto de aportaciones y planteamientos que existen hoy sobre el tema que nos ocupa, con el fin de estimular la reflexión y el debate sobre el mismo.

Este prólogo debe concluir con unas breves palabras de agradecimiento, que me es muy grato manifestar aquí públicamente. En primer lugar, gratitud hacia todas las instituciones y personas que, de una forma u otra, han contribuido a mi formación y trabajo académico en algunas de las disciplinas científicas que se tratan en estas breves páginas. Gratitud también a la Cátedra de Eméritos de la Comunidad Valenciana, que ha estimulado y hecho posible la publicación de este libro. Finalmente, gratitud a todos cuantos realicen el esfuerzo de leerlo y de quienes me atrevo a solicitar su benevolencia ante las limitaciones, defectos o errores que puedan advertir en esta modesta aportación a un tema realmente crucial para la humanidad, en los inicios del tercer milenio.

Amando García,
Enero de 2006.

1. EL MEDIO AMBIENTE Y SU DEGRADACIÓN

1.1. Introducción

La humanidad se enfrenta en la actualidad a tres **problemas cruciales**: el crecimiento demográfico imparable, el agotamiento gradual de las materias primas y la degradación generalizada del medio ambiente. Estos problemas presentan aspectos muy diversos en unos países y otros, y tanto en su evaluación como en la formulación de las soluciones pertinentes se ponen de manifiesto diferencias importantes entre los diferentes países e incluso entre los técnicos y especialistas, en función de sus respectivas concepciones políticas, económicas y sociales.

En cualquier caso, si analizamos con detenimiento las características de estos problemas, podemos extraer algunas conclusiones importantes. En primer lugar, es evidente que los tres están estrechamente relacionados entre sí. Está claro también que ninguno de ellos ha surgido de forma brusca e inesperada y resulta igualmente cierto que todos se han agravado considerablemente en el curso de las últimas décadas.

En este sentido, resulta interesante recordar que la profunda interrelación existente entre el hombre y el medio ambiente se formulaba de forma muy clara en la Declaración sobre el Medio Humano redactada en la Primera Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente (Estocolmo, 1972). En este documento se decía textualmente que "el hombre es a la vez obra y artífice del medio que

lo rodea, el cual le da el sustento material y le brinda la oportunidad de desarrollarse intelectual, moral, social y espiritualmente. En la larga y tortuosa evolución de la raza humana en este planeta se ha llegado a una etapa en la que, gracias a la rápida aceleración de la ciencia y la tecnología, el hombre ha adquirido el poder de transformar, de innumerables maneras y en una escala sin precedentes, cuanto le rodea. Los dos aspectos del medio humano, el natural y el artificial, son esenciales para el bienestar del hombre y para el goce de los derechos humanos fundamentales, incluso el derecho a la vida misma".

Significativamente, en esta misma Declaración se afirmaba también que "la protección y mejora del medio ambiente es una cuestión fundamental que afecta al bienestar de los pueblos y al desarrollo económico del mundo entero, un deseo urgente de todos los pueblos y un deber de todos los gobiernos".

Como introducción a este libro, vamos a exponer a continuación algunos conceptos y consideraciones de carácter general sobre todas estas cuestiones, destacando sus aspectos más significativos. Estos mismos temas serán tratados con un mayor detenimiento en los capítulos posteriores, donde tendremos ocasión de contemplar todas sus facetas y características singulares.

1.2. Biosfera y medio ambiente

La ecología es una ciencia relativamente moderna, que adquirió carta de naturaleza ya bien entrado el siglo XIX. Concretamente, el término ecología fue utilizado por primera vez por el biólogo Ernst Haeckel en 1868 para referirse al estudio del hábitat de los seres vivos (la palabra ecología deriva del griego *oicos*, habitación o casa, y *logos*, tratado). En un sentido amplio, la ecología se ocupa de estudiar las complejas relaciones de los organismos vivos con su medio.

La llamada **ecología humana** es una rama específica de esta ciencia cuyo centro de atención es el hombre, y que, en consecuencia, analiza la relación entre el hombre y el medio que le rodea, y

más concretamente, entre las personas y la biosfera, considerando a esta última como el espacio que da soporte a los seres vivos que pueblan nuestro planeta.

La Tierra es un cuerpo de forma prácticamente esférica, algo achatada por los Polos y abultada por el Ecuador, con un radio del orden de 6.400 kilómetros y una densidad del orden de 5'5 gr/cm^3, que se mueve alrededor del sol. La Tierra es el único planeta del sistema solar en el que hay atmósfera y agua, y el único en el que existe vida. Este esferoide está compuesto por tres partes diferentes, que, del interior al exterior, se conocen respectivamente con el nombre de barisfera (3.370 km), pirosfera (2.940 km) y litosfera (60 km) o, en lenguaje más corriente, núcleo, manto y corteza. Por encima de la corteza terrestre se extiende la atmósfera, hasta una altura del orden de los 250 kilómetros.

De toda esta enorme cantidad de masa (sólida, líquida y gaseosa), la vida se da solamente en la estrecha capa de contacto entre la corteza y la atmósfera, donde las condiciones existentes en la actualidad la hacen posible. Esta capa recibe el nombre de **biosfera**. Se trata de una capa más bien delgada, de no más de 50 kilómetros de espesor, es decir, algo menos que el 1% del radio de planeta. En este reducido espacio se desenvuelve toda la vida conocida, de miríadas de virus y bacterias, y de millones de especies animales y vegetales de todo tipo. La única aportación que se recibe desde el exterior es la energía solar.

En la mayoría de los temas de interés práctico, solemos utilizar el término **medio ambiente** para referirnos a un entorno espacial todavía más restringido que el anterior. Este entorno está constituido por unos pocos metros de la corteza terrestre (lo que conocemos generalmente como suelo, en un sentido edafológico), unos cientos de metros de altura en la atmósfera y otros tantos de profundidad en los mares.

Vamos a exponer a continuación una idea lo más clara posible sobre cuáles son las características fundamentales de dicho medio,

para indagar más adelante sobre los efectos que la acción de un desequilibrio puede causar en el mismo. Para ello, introduciremos con brevedad y sencillez algunos conceptos básicos.

En primer lugar, es necesario dejar claro que existen diferentes formas de explicar el medio que nos rodea, desde la simplemente descriptiva de las ciencias naturales hasta la puramente poética. Sin embargo, ninguna de ellas nos da una información completa sobre ese medio. Es importante constatar que, en principio, esta información se podría expresar mediante un **sistema de ecuaciones** en las que cada una de las variables que aparecieran en ellas serían, a su vez, función de las demás. Sin embargo, cuando pretendemos avanzar con este tipo de planteamiento nos encontramos con enormes dificultades prácticas (originadas básicamente por nuestro insuficiente conocimiento del problema), aunque esa estrategia ofrece la ventaja de proporcionar una apreciación extraordinariamente clara de la estrecha interdependencia que existe entre todos los elementos o variables que están condicionando el medio en cuestión.

Una característica muy importante del medio ambiente consiste en el hecho de que, ante una modificación de cualquiera de los elementos que lo constituyen, se pone en juego automáticamente un proceso (a modo de servomecanismo) que trata de corregir esta modificación para que, en lo posible, todo siga inalterado. En otras palabras, la estructura del medio tiende a la estabilidad, que no es otra cosa que el equilibrio global de la biosfera. Este equilibrio es precisamente el que hace posible nuestra existencia y, en consecuencia, nuestra vida depende de él.

Como ya hemos indicado anteriormente, en nuestra biosfera está entrando constantemente energía procedente del Sol. Esta energía circula por los diferentes **ecosistemas** existentes en la Tierra. Este término se suele utilizar para referirnos a sistemas constituidos por un espacio físico relativamente bien definido, de extensión más o menos grande, que se caracteriza por la existencia de un cierto medio material (suelo, aire, agua, vegetación, etc.) y por unas condiciones



Figura 1.- La Tierra es el único planeta del sistema solar en que existe vida. Es un planeta de forma prácticamente esférica, con un radio del orden de 6.400 kilómetros. En este espacio limitado conviven un ingente número de seres vivos de todo tipo, en condiciones muy diversas.

físicas y químicas determinadas (temperatura, humedad, iluminación, etc.), en el que viven y se desarrollan una amplia variedad de organismos vivos.

La circulación de energía por los diferentes elementos componentes de los ecosistemas tiene lugar a través de lo que denominamos **cadenas tróficas**, en las que, además de transferirse dicha energía, se transfieren de uno a otro organismo todas las sustancias necesarias para la vida. Estas sustancias son elementos simples (tales como el carbono, nitrógeno o fósforo). que constituyen, bajo formas compuestas, la base física de nuestro entorno.

Antes nos hemos referido a la existencia de una condición de equilibrio de la biosfera, como situación ideal. Es muy importante destacar el hecho de que cuando se rompe el citado equilibrio, los efectos pueden ser extraordinariamente variados. Estos efectos pueden consistir en manifestaciones tan diferentes como una elevación en la temperatura media de la Tierra, la desaparición de especies

animales o vegetales, el decrecimiento de la función fotosintética del fitoplancton marino, o la desintegración de la piedra con que han sido realizadas en el pasado algunas de las obras maestras de la escultura o la arquitectura.

Evidentemente, en nuestra sociedad actual, bastante individualista e inculta, en términos generales, todos estos ejemplos se ven muy lejanos como para que puedan ser integrados fácilmente en el acervo de nuestras preocupaciones más inmediatas. Sin embargo, las cosas pueden ser distintas cuando de lo general y abstracto pasamos a lo concreto, y centramos la atención en las condiciones en que se encuentra nuestro entorno más inmediato.

1.3. Ciclos de algunos elementos importantes

La vida existe en la Tierra en función de que sus elementos fundamentales se renuevan constantemente en la biosfera, a través de unos **fenómenos cíclicos** que se dan para cada uno de estos elementos, de forma tal que existe un ciclo del agua, del carbono, del oxígeno, del nitrógeno, del fósforo, del calcio, etc. Cuando estos ciclos se alteran hablamos de desequilibrio. Cuando dichos desequilibrios se producen, las condiciones para la vida pueden verse afectadas. Para comprender mejor esta situación, vamos a estudiar a continuación los fenómenos cíclicos de algunos elementos importantes de la biosfera.

Para empezar, todos sabemos que el **agua** es un elemento esencial para la vida. Cuando el agua de lluvia cae sobre una superficie con cubierta vegetal o sobre un terreno permeable, penetra en el suelo, donde es aprovechada por las raíces de las plantas y los microorganismos presentes en el suelo. De esta agua recibida, una parte queda fijada, incorporándose a la materia orgánica, y otra, la mayor parte, es elevada del suelo por los mecanismos vegetales de circulación y es liberada finalmente a la atmósfera como consecuencia de la transpiración que tiene lugar sobre todo en las hojas vegetales. Se ha calculado que a través de este proceso se devuelve a la atmósfera el 55% del agua de lluvia. En condiciones favorables, un árbol grande puede transpirar hasta 20 litros de agua por día.

La parte de agua que no es fijada a la materia orgánica o no es relanzada nuevamente a la atmósfera por el bombeo vegetal, penetra en el suelo permeable hasta llegar a capas impermeables, donde se almacena, constituyendo las aguas subterráneas. Una parte de estas aguas llegarán a incorporarse a las masas de agua superficiales (lagos, ríos o mares), en tanto que el resto queda "embolsada", constituyendo un almacén capaz de atender a las necesidades humanas.

Como sabemos, el agua de lluvia que cae sobre la superficie terrestre y no es absorbida por el terreno, bien porque éste no tiene suficiente vegetación o no es lo bastante permeable, o tal vez debido a una excesiva pendiente del terreno, circula libremente por la superficie del suelo, produciendo importantes escorrentías que erosionan dicha superficie, alimentando el cauce de torrentes, arroyos o ríos, y llegando finalmente hasta el mar.

La actividad solar y de los vientos devuelve el agua otra vez a la atmósfera, a partir e la superficie de las diferentes masas acuosas, así como también de los suelos, con lo cual se vuelve a iniciar nuevamente todo el ciclo.

Todos sabemos que el **carbono** es el elemento más característico de los componentes de la materia orgánica. La forma más generalizada de la presencia del carbono en la biosfera es el dióxido de carbono (CO_2), un compuesto que se introduce en el ciclo de la vida a través de la acción fotosintética de las plantas verdes, a partir de la cual se forman los hidratos de carbono (ésta es precisamente una de las principales funciones de las plantas).

Los hidratos de carbono constituyen la base de la alimentación de toda la vida animal, si bien dichos compuestos van sufriendo una serie de transferencias en su evolución, pasando de unos a otros organismos vivos dentro de la cadena alimentaria (a través de lo que conocemos como cadenas tróficas). Los hidratos de carbono se van transfiriendo de un organismo vivo a otro a través de estas cadenas tróficas (en este sentido, cabe recordar, por ejemplo, el papel que juegan los animales herbívoros, carnívoros y omnívoros en la dieta



Figura 2.- Medio ambiente y sociedad. La perfecta armonía existente entre una pequeña iglesia románica del valle de Bohi (Lérida) y el entorno natural en el que esa edificación se encuentra constituye todo un símbolo de la estrecha relación entre el hombre y la naturaleza.

humana). Las cadenas tróficas finalizan gracias a la acción de los llamados "descomponedores" (bacterias), que transforman la materia orgánica en inorgánica, fijando una parte de ese mismo carbono en forma de combustibles fósiles (petróleo, carbón, etc.). Cuando estos combustibles son utilizados por el hombre (generalmente, muchos miles de años después de su formación), liberan a la atmósfera el carbono que contienen en forma de monóxido y dióxido de carbono.

Otra forma de liberación del carbono al medio atmosférico es a través de la función de respiración de los seres vivos, que no es otra cosa que un proceso de combustión en el que se consume oxígeno libre y se libera monóxido de carbono. Nos parece importante recordar que esta función respiratoria no sólo la realizan los animales sino también las plantas.

Es necesario tener igualmente presente que existe otro ciclo del carbono, paralelo al descrito, que se da en el medio acuático y que está unido al terrestre a través de la atmósfera, un elemento común a ambos.

El dióxido de carbono disuelto en el agua (fundamentalmente en el agua de los mares y océanos), es utilizado por el fitoplancton (microorganismos vegetales) para fijar el carbono por medio de la fotosíntesis. En esta operación se libera oxígeno, al igual que sucede con los vegetales terrestres. El carbono fijado por el fitoplancton es aprovechado por el zooplancton (microorganismos animales), que se alimenta de él, y por los peces, que se alimentan de ambos. A partir de aquí, el ciclo sigue un camino idéntico al descrito anteriormente.

El **nitrógeno** es otro de los elementos básicos de la vida. Aproximadamente la mitad del peso seco del protoplasma celular son proteínas, y alrededor de un 20% de éstas es nitrógeno. Las proteínas se encuentran en las plantas y en los animales, fundamentalmente concentradas en los frutos y músculos, de donde el hombre las aprovecha. Por otra parte, el 79% de la atmósfera terrestre (aire) es nitrógeno, aunque este nitrógeno no se utiliza directamente, sino que es fijado por ciertos organismos "especializados" en este sentido y, actualmente, mediante ciertos procesos industriales específicos. Cabe recordar también que el nitrógeno del aire no es utilizado directamente por los vegetales y plantas, sino que éstas se aprovisionan de él a través de las sales nitrogenadas que se encuentran en el suelo o que incorporamos artificialmente al mismo (abonos nitrogenados).

Como es sabido, el **oxígeno** es un elemento esencial para la combustión, un proceso necesario para la transformación de la materia en energía que tiene lugar mediante la respiración. Algunos microorganismos son capaces de producir energía sin que tenga lugar una operación de oxidación, pero el resto de los organismos superiores necesitan realizar dicha función respiratoria.

El oxígeno es también un elemento constitutivo de los hidratos de carbono y de las proteínas, y su actual presencia en la atmósfera se debe al cambio que tuvo lugar en la composición de la atmósfera terrestre (que, en épocas muy remotas, estaba constituida fundamentalmente por anhídrido carbónico). Este trascendental cambio se produjo como consecuencia de la proliferación de especies vegetales en nuestro planeta, en un momento determinado de su evolución.

Por consiguiente, la fuente fundamental de oxígeno en nuestro planeta es el proceso de fotosíntesis. Es importante señalar también que, dentro de la actividad vegetal, la mayor producción de oxígeno corresponde a la microvegetación marina (fitoplancton). Se ha estimado que esta microvegetación marina aporta el 86% del oxígeno total producido en la biosfera.

Este oxígeno producido por la actividad fotosintética es consumido por la actividad respiratoria de los organismos vivos. He aquí, pues, un dato importante a tener en cuenta en el equilibrio ecológico: hablar de producción y consumo de oxígeno equivale a hacerlo de actividad fotosintética y procesos de combustión.

Para concluir con esta cuestión, puede ser interesante decir algo también sobre el ciclo del **fósforo**. Este elemento es un componente de los ácidos nucleicos (DNA y RNA) y de los tejidos celulares. El fósforo se incorpora las plantas a través de fosfatos inorgánicos. Estos fosfatos son transferidos a los eventuales consumidores de dichas plantas (animales herbívoros) en forma de fosfatos orgánicos. Cuando estos consumidores directos dejan de existir, los microorganismos del suelo "rompen" estos compuestos orgánicos, mineralizando nuevamente los fosfatos, los cuales son incorporados nuevamente por las plantas.

La mayor incorporación vegetal de fosfatos en la Tierra se lleva a cabo por las plantas marinas (y particularmente, el fitoplancton), las cuales son consumidas por peces que incorporan el fósforo, elevando sensiblemente su concentración. Cuando estos peces son consumidos posteriormente por las aves marinas y por el hombre, transportan el fósforo a las superficies continentales, de las que volverá finalmente al mar a través de las diferentes corrientes de agua, a las que es conducido como resultado del lavado de los suelos por las lluvias, las escorrentías de las precipitaciones atmosféricas y riegos, o los vertidos de aguas residuales.

En la actualidad, el ciclo del fósforo que acabamos de describir brevemente ha sido acelerado por el empleo de fosfatos provenien-

tes de las rocas fosfóricas utilizados como fertilizante en agricultura. Anualmente se producen entre uno y dos millones de toneladas de dichos fosfatos, que, en buena parte, irán a parar al mar a través de los mecanismos habituales. Nos parece importante mencionar que el balance así establecido es deficitario, pues vuelve a la biosfera menos fósforo del que ha salido.

A este déficit hemos de añadir el producido por la falta de los elementos mecánicos que efectúan el ciclo, entre los que se encuentran los peces y las aves marinas. Estas últimas son, por otro lado, las mayores productoras mundiales de abonos fosforados (guano). Desde hace algún tiempo, estas aves tienen grandes problemas para incubar, ya que son incapaces de producir cáscaras de huevo suficientemente duras a causa de las disfunciones producidas por ciertos pesticidas (DDT) que los peces concentran. En consecuencia, esta avifauna va disminuyendo de año en año. Su capacidad de transporte de fósforo mengua en la misma medida. Por otra parte, la pesca tradicional de arrastre y la sobrepesca están dejando a los mares sin peces, lo que, a la larga, dará como resultado una menor concentración de fósforo a partir del fitoplancton. El resultado final de toda esta situación es fácilmente predecible: el equilibrio actual del ciclo del fósforo resultará seriamente alterado.

Basta con lo indicado hasta aquí para dejar clara una idea fundamental del tema que estamos desarrollando. La biosfera y, por lo tanto, el medio ambiente, poseen unos mecanismos de funcionamiento sumamente complejos, mecanismos que es necesario conocer muy bien para poder integrar adecuadamente toda nuestra actividad en la de la biosfera (como parte integrante que somos de esa biosfera), sin que ello suponga una alteración de sus ciclos de equilibrio.

1.4. La acción del hombre sobre la biosfera

La influencia del hombre sobre el equilibrio ecológico data de su aparición sobre la Tierra y ha supuesto siempre una regresión de los sistemas naturales en relación con el estado más probable que se podría suponer si la especie humana no hubiera estado presente en la biosfera terrestre.

En un análisis histórico de la interacción entre el hombre y el resto de la biosfera cabe distinguir varias etapas diferentes. Durante muchos miles de años, el **hombre primitivo** sólo ejerció una pequeña influencia sobre el medio ambiente. Al igual que los demás animales existentes en nuestro planeta, el hombre primitivo actuaba como un simple depredador o competidor en las comunidades naturales de las que formaba parte, y se veía sometido a las consecuencias derivadas de los cambios ambientales y ecológicos que le obligaban a adaptarse o buscar en otros lugares los elementos necesarios para su subsistencia.

Durante miles de años, la alimentación del hombre primitivo estaba basada en el consumo de ciertos productos vegetales fácilmente accesibles, como frutas, raíces o tubérculos y, al contrario de los simios, que rara vez se nutren de otros mamíferos, aves o reptiles, en la dieta humana figuraba también el consumo de carne. En consecuencia, los primeros utensilios elaborados por el hombre eran instrumentos de caza y de pesca; de hecho, algunos de estos objetos se utilizaron también como armas en sus confrontaciones con eventuales enemigos.

En esta primera etapa de la historia de la humanidad, la acción del hombre sobre la biosfera fue muy poco relevante, y se limitaba a lo sumo a influir sobre algunos ecosistemas muy limitados mediante el fuego, una práctica utilizada aún hoy en día para la caza por muchas sociedades "primitivas", y que consiste en provocar incendios en ciertos bosques y sabanas para ahuyentar a los animales que viven en estos entornos, facilitando así su captura.

En la actualidad, esta situación puede ser estudiada en las tribus primitivas que mantienen un régimen de vida muy parecido al de los primeros pobladores del planeta Tierra. Muchos aborígenes australianos o algunas tribus amazónicas, por ejemplo, subsisten fundamentalmente gracias a la caza y la recolección de raíces y frutos, y no practican forma alguna de ganadería o agricultura, viviendo de forma totalmente dependiente de la naturaleza, sin contaminarla.

Como es sabido, la transición de las comunidades primitivas a los primeros pueblos **agricultores y ganaderos** (pastores), relacionada con la aparición de la división del trabajo entre hombres y mujeres y la primera división de la sociedad en clases, trajo como consecuencia una cierta alteración del medio natural.

El fuego desempeñó un papel muy significativo en esta etapa de la historia de la humanidad y apareció como el medio más poderoso para transformar los hábitats humanos. Talar y quemar fueron las técnicas básicas de tierras de cultivo que permitieron al hombre liberarse de su dependencia milenaria de la caza y de la simple recolección de frutos y raíces silvestres. Con estas prácticas, el hombre aprendió además a utilizar al máximo estas actividades en provecho propio, dado que las cenizas producidas en la quema de los bosques mejoraban la calidad del suelo y los árboles al crecer de nuevo daban lugar a la formación de humus. Sin embargo, la destrucción de grandes masas de vegetación, mantenida durante siglos, produjo



Figura 3.- Imagen de la ciudad de Nueva York. El proceso de urbanización de nuestro planeta se ha agudizado en los últimos tiempos. Un 50% de la población mundial reside actualmente en medios urbanos, un espacio en el que los seres humanos mantienen estrechas relaciones sociales con sus semejantes.

también importantes cambios climáticos en muchas zonas del planeta, convirtiendo amplias extensiones de suelo fértil en tierras áridas y pobres o incluso en verdaderos desiertos.

Resulta evidente que, con su evolución de cazador y pescador a agricultor y ganadero, el hombre empezó a alterar el equilibrio ecológico de la biosfera. En la **Edad Media**, la transición a modos de producción económicos más desarrollados supuso para el hombre la disposición de medios técnicos más eficaces. Esta etapa coincidió además con un importante aumento (naturalmente, en términos relativos) del tamaño de las aglomeraciones urbanas. En consecuencia, el equilibrio del hombre con la naturaleza empezó a verse seriamente comprometido. Tampoco hay que olvidar que durante toda esta época prosiguió la tala abusiva de bosques para facilitar la agricultura y la ganadería (trashumancia), al tiempo que la madera se convertía en un producto cada vez más utilizado (sobre todo, como material de construcción de viviendas y como fuente de energía).

Con todo, al iniciarse la **época de los grandes descubrimientos**, extensas zonas del planeta permanecían aún prácticamente intactas. Sin embargo, esta situación privilegiada duró muy poco tiempo. En menos de 200 años, las naciones colonizadoras europeas, provistas de medios de destrucción muy poderosos, practicaron en muchas zonas de nuestro planeta una verdadera política de "tierra quemada", sin valorar en lo más mínimo las tremendas consecuencias ecológicas y humanas de sus actos. Su comportamiento estaba regido únicamente por los resultados más inmediatos de estas insensatas acciones. Para los colonizadores europeos, la naturaleza salvaje era un enemigo más que vencer, y los recursos naturales, en función de su abundancia, se consideraban inagotables.

A finales del siglo XVIII las nuevas condiciones económicas y sociales de la producción propiciaron numerosos e importantes descubrimientos científicos y su aplicación a la vida cotidiana. Hasta finales de este siglo, la mayoría de la energía disponible tenía su origen en la radiación solar; la forma más evidente de dicha energía animal y humana era suministrada por el metabolismo de los alimentos, es decir,

la oxidación biológica de los productos originados de hecho gracias a la energía solar. Sin embargo, la **revolución industrial** supuso la introducción en los procesos productivos de máquinas herramientas accionadas mediante nuevas fuentes de energía, producida a partir de combustibles sólidos y cuyo consumo, relativamente pequeño al principio, ha ido aumentando constantemente desde aquellas fechas. Los efectos de la combustión de dichos productos empezaron progresivamente a ejercer sus efectos sobre la biosfera. Por otra parte, el aumento de la producción humana de todo tipo de materiales, de naturaleza y usos muy diversos, así como las consecuencias de la no reutilización de muchos de estos materiales, dejó también sentir su impacto sobre la naturaleza.

A todos estos hechos hay que añadir los efectos del "fenómeno urbano" en esta etapa de desarrollo del capitalismo industrial. Hasta ese momento, el proceso histórico de urbanización, iniciado sobre la base del excedente producido por el trabajo agrícola, no había ejercido una gran influencia sobre el medio ambiente. Sin embargo, con la revolución industrial, se inicia el proceso de emigración del campo a la ciudad, con una intensidad sin precedentes en épocas anteriores. Esta emigración era necesaria para proporcionar la fuerza de trabajo necesaria para la industrialización. De hecho, la concentración de esta mano de obra es el germen de los grandes núcleos industriales y urbanos propios de los tiempos modernos.

A grandes rasgos, hemos resumido así las condiciones históricas que han determinado, junto con una importante recesión de los sistemas naturales, un deterioro creciente del medio ambiente, originado, entre otros factores, por unas formas de vida y consumo que no respetan suficientemente las leyes ecológicas a las que la sociedad humana está inseparablemente unida.

1.5. La degradación de la biosfera

Tras realizar una rápida revisión histórica de la acción del hombre sobre la naturaleza, es necesario proceder a discutir ahora con mayor detenimiento cuáles han sido los resultados principales de esta

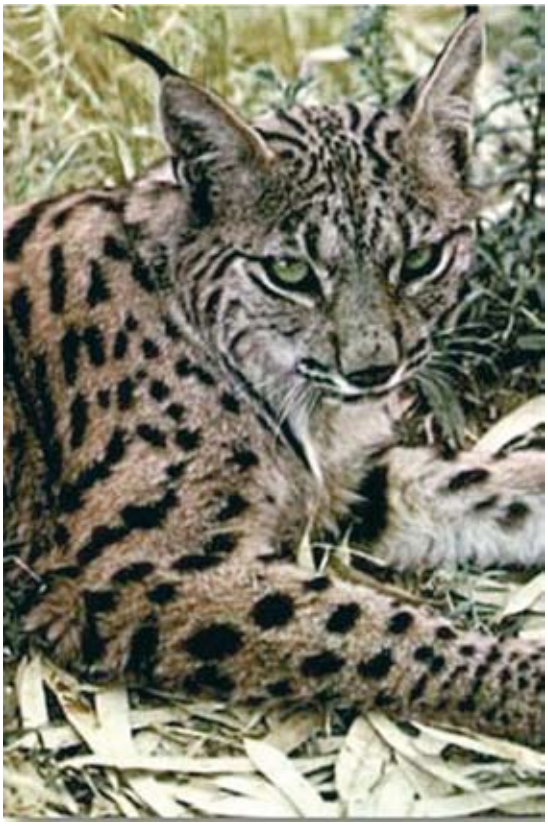


Figura 4.- El lince ibérico, joya de la fauna española, es un felino salvaje que actualmente se encuentra en grave peligro de extinción. La desaparición de sus hábitats tradicionales, la caza furtiva y otros factores adversos han reducido la población de esta especie a tan sólo unas cien parejas.

actuación. Ante todo, hay que dejar muy claro que la degradación global de la biosfera expresa el resultado de la degradación parcial que sufre cada uno de sus ecosistemas constituyentes. En consecuencia, la pregunta clave sobre esta cuestión es ¿cuáles de éstos son los que están experimentando actualmente una mayor degradación?

La contestación a esta pregunta no resulta fácil. Hace ya algunos años, la National Wildlife Federation (USA) llevó a cabo un estudio destinado a evaluar el estado en que se encontraban los **recursos naturales básicos** en los Estados Unidos. En dicho estudio se tomaron en consideración un total de siete recursos básicos, concretamente, los suelos, las aguas, el aire, los montes, la vida silvestre, los minerales y el espacio vital. El estado de cada uno de estos recursos naturales fue clasificado de mejor a peor (o sea, en el sentido de menos o más degradado), otorgándole una calificación numérica de

cero a cien, de manera tal que el cero correspondiera a un estado de degradación total (es decir, desastre absoluto) y el cien representara una situación óptima o ideal.

De acuerdo con este criterio, y tras promediar diferentes evaluaciones, el resultado de la valoración fue el siguiente: suelo (78), montes (76), espacio vital (58), vida silvestre (53), minerales (48), aguas (40) y aire (34). Vemos así que, de acuerdo con este estudio, el suelo es el elemento que se encuentra en mejores condiciones en dicho país, aunque con una calificación que se aleja bastante de la que podríamos considerar como óptima. En cambio, según este estudio, el recurso natural más degradado es el aire, hasta el extremo de que el estado de este elemento representaba un riesgo grave para la salud de los habitantes en muchas ciudades americanas. Le sigue a poca distancia el agua, que presenta también una notable degradación en su calidad.

Vamos a hacer aquí un breve inciso para indicar que la degradación del suelo que se menciona en la anterior relación es un factor medioambiental de gran importancia. La **desertización** es la secuela más grave de la deforestación y de la subsiguiente erosión del suelo. Sin embargo, no deberíamos olvidar que ciertas prácticas agrícolas más o menos generalizadas en todo el mundo, tales como la sobreexplotación de los suelos, los excesos en la fertilización o la salinización en ciertas áreas de regadío intensivo, favorecen también la desertización.

Aunque hay que reconocer que el fenómeno de la desertización no es algo nuevo en la historia del mundo (caso de Asia Central, Norte de Africa, etc.), lo cierto es que el proceso de desertización de muchas zonas del planeta se ha visto radicalmente acelerado en los últimos tiempos. En los últimos cincuenta años, el Sahara ha invadido más de 650.000 km^2 de tierras de cultivo y pastos. En la actualidad, el desierto avanza con gran rapidez sobre todo en el Rajasthan (India), donde amenaza seriamente las formas tradicionales de vida de más de cincuenta millones de personas, en el norte y sur del Sahara (zona del Sahel), en algunas regiones de Australia, en el sur de Argentina,

en Sudáfrica y en algunas regiones de los Estados Unidos (Arizona o Colorado). En algunas zonas del sur y sureste de nuestro país los efectos de la desertización son ya evidentes.

Como es natural, las cifras que hemos dado anteriormente referidas a la valoración del medio ambiente en los Estados Unidos tienen un valor puramente indicativo y no han de tomarse en un sentido absoluto. Es probable que el mismo tipo de valoración, llevado a cabo por otros equipos de trabajo, condujera a resultados numéricos bastante diferentes a los citados, aunque posiblemente las conclusiones generales del estudio serían coincidentes. Por otro lado, aunque las conclusiones que hemos mencionado aquí se refieren a un país en concreto, no cabe la menor duda de que pueden servir de orientación para otros muchos. En cualquier caso, es de temer que si se llevara a cabo un estudio similar al descrito aquí en otras zonas del planeta, sobre todo en las más densamente pobladas (caso de algunos países de Europa), los resultados encontrados serían todavía más alarmantes que los que hemos comentado.

Vamos a avanzar un poco más en este tema, para tratar de establecer las causas de la **degradación del medio ambiente** y, si cabe, establecer un orden de prioridades entre los factores degradantes. Sin necesidad de referirnos de nuevo a la historia de la civilización, habrá que recordar que es muy frecuente achacar sólo a la sociedad actual el hecho de que, en una desaforada búsqueda de beneficios inmediatos, se haya producido una rápida degradación de los recursos naturales. Al hablar de este modo, se olvida, por ejemplo, que los chinos, ya en el siglo III antes de Cristo, sufrían un grave problema de deforestación, como resultado de un uso abusivo de sus recursos madereros. Refiriéndonos en el mismo sentido a un caso mucho más próximo a nosotros, podríamos recordar también que, hasta no hace demasiado tiempo, toda la península ibérica estaba prácticamente cubierta de bosques, que desaparecieron para dar paso a zonas dedicadas a pastos y a la agricultura. Como otro ejemplo más sobre esta cuestión, aludiremos al hecho de que algunas tribus indias de las praderas americanas provocaban devastadores incendios forestales para facilitar la caza del bisonte.

En general, parece evidente que la degradación del medio ambiente a lo largo de la historia no se puede achacar a ningún tipo específico de ética o cultura. Aunque en este sentido la casuística es muy diversa, se puede afirmar que la humanidad, en todo tiempo, trató siempre de obtener beneficios fáciles a corto plazo a costa de la naturaleza. En la actualidad, como consecuencia de una mayor presión demográfica y de un desarrollo tecnológico acelerado, los problemas se han agravado de forma muy considerable. Afortunadamente, aunque son muchas las actividades humanas capaces de producir una cierta ruptura en el equilibrio ecológico ambiental, hoy en día disponemos también de los conocimientos que proporciona la misma ciencia y técnica para estudiar y evaluar objetivamente las implicaciones ecológicas en cada circunstancia y establecer con gran precisión la importancia del correspondiente impacto.

Para mucha gente, cuando se habla del medio ambiente, se están tratando temas relacionados exclusivamente con la flora y la fauna en los grandes espacios naturales o, a lo sumo, con la degradación del aire o de las aguas. Sin embargo, la referencia al sistema o medio complejo en que vivimos (desde un punto de vista biológico, físico y social) es mucho más correcta. Este tratamiento global de los problemas planteados es hoy en día absolutamente imprescindible.

Entre los numerosos intentos llevados a cabo con el fin de estructurar un esquema que permita la **evaluación de las tensiones** que se producen sobre el equilibrio ecológico, cabe citar los trabajos de Reiquan, cuyo objetivo es evaluar la importancia con que una determinada actividad humana (por ejemplo, el vertido de un producto tóxico en un río) influye en el medio ambiente global.

De forma muy esquemática, podemos decir que estos trabajos se basan en considerar tres grandes sistemas o componentes básicos del medio global de nuestro planeta: el hombre (desde un punto de vista biológico, social y político), el medio ambiente (distinguiendo en este caso tierra, agua y aire) y los recursos naturales (energía, nutrición y materiales diversos). Obsérvese que dentro de cada uno de estos tres sistemas básicos hay que tener en cuenta tres componentes fundamentales o subsistemas (indicados entre paréntesis).



Figura 5.- Mujeres y niños en Panamá. A principios del siglo XXI la población de la Tierra ha superado los seis mil millones de personas. Un número muy elevado de estas personas viven en condiciones extraordinariamente precarias, careciendo de los servicios más esenciales.

La evaluación anteriormente citada se realiza en dos etapas diferenciadas. En primer lugar, a cada una de las tensiones sometidas a estudio se le asigna un índice (que puede variar entre 1 y 9), que permita expresar la mayor o menor complejidad del impacto ambiental provocado, y cuyo valor dependerá del número de subsistemas ecológicos a los que dicho impacto pueda afectar.

El paso siguiente consiste en introducir dos nuevos índices (cada uno de ellos con valores comprendidos entre 1 y 5), que expresen la pervivencia temporal de la tensión en estudio (desde horas a siglos) y la escala geográfica en que se manifiesta dicha tensión (local, regional, continental o global), respectivamente.

Por ejemplo, cuando examinamos según todos estos criterios los efectos producidos por la ocurrencia de una gran explosión nuclear en la atmósfera, nos encontramos que esta "tensión" podría calificarse de verdaderamente catastrófica y alcanzaría una calificación de 225, situándose a la cabeza de un posible ranking de gravedad en el impacto. Obsérvese que 225 es el resultado de multiplicar 9 por

5 y por 5. Esto quiere decir que dicha tensión afectaría a todos los subsistemas anteriormente citados (9), que su pervivencia temporal sería muy grande (5) y que sus efectos se dejarían sentir en todo el planeta (5).

Veamos algunos ejemplos más. Siguiendo un proceso similar al descrito, podríamos encontrar que por detrás de la anterior se situaría el uso de pesticidas (con un índice de 140), la emisión de metales pesados (índice 90), la presencia de óxidos de carbono y aerosoles en la atmósfera (índice 72), los vertidos de petróleo en el mar (índice 48), los vertidos de residuos en un río (índice 40), la producción de residuos sólidos (índice 35), la utilización de fertilizantes químicos (índice 30), la emisión de óxidos de nitrógeno (índice 24), etc.

En todo caso, el hecho de que un contaminante aparezca en esta lista con una calificación relativamente baja no significa que no sea importante, sino que los problemas creados con su presencia tienen menor gravedad o incidencia. El caso más claro en este sentido corresponde, sin duda, a la contaminación acústica en medios urbanos, que se sitúa en el último lugar de esta escala descendente, y al que corresponde un índice igual a 4.



Figura 6.- Desierto de Wadi Rum, en Jordania. En tiempos recientes, los procesos de desertización se han agudizado considerablemente en numerosas zonas de nuestro planeta, hasta el punto de constituir una grave amenaza para la vida de millones de personas.

1.6. La respuesta ante la degradación

En el año 1945, cuando se creó la Organización de las Naciones Unidas, el mundo acababa de salir de la guerra más devastadora de la historia. Es lógico que en la Carta de este organismo, elaborada en San Francisco, se pusiera todo el énfasis en la creación de un Consejo de Seguridad, con el fin de evitar nuevos conflictos y dirimir, a través de sistemas de negociación y arbitraje, las posibles diferencias que pudieran surgir entre los estados miembros de la Organización.

En la actualidad, cuando estamos iniciando el tercer milenio, y todavía con muchos e importantes problemas pendientes por doquier, nos encontramos ante una situación muy diferente, que se caracteriza por una distensión internacional generalizada, aunque no podamos olvidar la existencia de numerosos conflictos más o menos localizados, de mayor o menor entidad. En todo caso, la situación actual no tiene nada que ver con las que hemos vivido a lo largo del pasado siglo XX, en que la humanidad ha sufrido dos guerras mundiales terribles, con efectos de una gravedad sin precedentes en toda su historia.

Sin embargo, muchos autores hablan últimamente de que nuestro tiempo se caracteriza también por la existencia de una verdadera guerra mundial, ahora no declarada, de toda la humanidad contra la naturaleza. La necesidad de abordar globalmente los problemas de la biosfera, para tratar de poner término a esta insensata guerra entre el hombre y la naturaleza, se ha puesto de manifiesto desde hace bastante tiempo en diferentes ocasiones.

Por su especial significación, nos podemos referir en esta introducción al **Informe del Club de Roma**, preparado en el año 1972 por un grupo muy selecto de expertos internacionales, en el que se apostaba de forma muy contundente por establecer límites al crecimiento. En este documento se insistía en la idea de que existen unos límites físicos superiores (los sistemas ecológicos a escala mundial) y unas insuficiencias derivadas del sistema humano de organización (constituido por los Estados soberanos con políticas divergentes). Según esta organización, la única salida razonable a esta situación no puede ser otra que el establecimiento de un marco global que

permita resolver los problemas existentes. Estas ideas fueron cuidadosamente desarrolladas por un grupo de trabajo del Massachussets Institute of Technology (M.I.T.), dirigidos por los profesores Forrester y Meadows, especialistas en dinámica de sistemas, basándose en un modelo que contemplaba la existencia de cinco grandes elementos a escala mundial, a saber, población, espacio geográfico, recursos naturales, contaminación y producción de alimentos. Por supuesto, todos estos factores están estrechamente relacionados entre sí.

La conclusión más importante de estos trabajos establecía claramente que "si continúan sin cambios las tendencias actuales de crecimiento de la población mundial, industrialización, contaminación, producción de alimentos y agotamiento de recursos, los límites de crecimiento del planeta se alcanzarán dentro de los próximos cien años. El resultado más probable de este proceso será un declive súbito e incontrolable tanto de la población como de la capacidad industrial".

En ese mismo año de 1972, tuvo lugar la **Conferencia de Estocolmo**, organizada por las Naciones Unidas para tratar específicamente de los problemas del medio ambiente. Esta conferencia sirvió, sobre todo, para poner sobre la mesa las profundas diferencias existentes entre los países industrializados y los países menos desarrollados sobre cómo resolver los problemas medioambientales.

Aunque las posiciones políticas de los diferentes países subdesarrollados sobre todas estas cuestiones no eran homogéneas, ni mucho menos, la mayoría de ellos coincidió en señalar que los principales problemas medioambientales se daban en los países industrializados. En muchos de estos países se ha pasado en muy poco tiempo desde la más completa despreocupación por el entorno a una especie de verdadero culto a la naturaleza. Según algunos representantes de los países menos desarrollados, muchos de los planteamientos existentes sobre estos problemas hacen un excesivo énfasis sobre el crecimiento demográfico de los países no desarrollados y, en cambio, se suele hablar muy poco del escandaloso despilfarro de recursos que caracteriza a los países industrializados. En opinión de los países



Figura 7.- El deshielo de los glaciares costeros produce grandes bloques de hielo que se desprenden de las masas continentales y caen al mar, formando icebergs. Una alteración significativa de las condiciones climáticas actuales podría tener efectos catastróficos en este sentido.

menos desarrollados, no sólo sería necesario diseñar una política ecológica a escala mundial, sino que habría que alcanzar también un compromiso de desarrollo que tuviera en cuenta la relación existente entre la preservación del medio ambiente y la urgente necesidad de acelerar el progreso socioeconómico de los países menos desarrollados a fin de lograr, en definitiva, que se atiendan simultáneamente ambos aspectos.

A principios de 1984, un numeroso grupo de líderes científicos, industriales, políticos y ciudadanos de veinte países diferentes de todo el mundo se reunió en Washington, a iniciativa del entonces presidente de los Estados Unidos, Jimmy Carter, para preparar el que se conoce como **Informe Global 2000**. El objetivo principal de esta conferencia era contestar a la siguiente pregunta: "¿Puede el mundo invertir el deterioro actual de recursos y medio ambiente y, al mismo tiempo, promover una mejor calidad de vida para todos y alcanzar una mejora sustancial en la calidad de vida de las personas más desfavorecidas del planeta?".

Los participantes en esta conferencia analizaron los cambios que se debían producir en nuestra sociedad actual para lograr un mundo a la vez renovado y sostenible. Las correspondientes propuestas contemplaban aspectos tales como a) una transición demográfica hacia una población mundial estabilizada, b) una transición hacia una nueva era en la que la energía debería utilizarse con mayor eficiencia y sin agravar otros problemas globales de la tierra, c) una transición hacia una situación en la que nuestra dependencia de los recursos del planeta no supusiera una merma de tales recursos, d) una transición económica hacia un crecimiento sostenible y un disfrute más generalizado de sus beneficios, y e) una transición política hacia una situación de bienestar global basado en objetivos complementarios entre el Norte y el Sur.

En el denominado **Informe Brundtland**, publicado en 1987, se actualizaron muchas de las previsiones más preocupantes sobre el estado de la biosfera y se propusieron una amplia serie de medidas concretas de conservación del medio ambiente. Este documento es particularmente importante porque en él se introdujo por primera vez el concepto de desarrollo sostenible. En un capítulo posterior nos ocuparemos ampliamente de este tema.

Tras una larga espera, la segunda **Conferencia de las Naciones Unidas** sobre Medio Ambiente y Desarrollo se celebró finalmente en la ciudad de Río de Janeiro en el año 1992. Esta importante reunión se planteó como objetivo básico mantener la calidad medioambiental de nuestro planeta y alcanzar un desarrollo sostenible en todos los países del mundo. Los temas estudiados en esta segunda Conferencia fueron muy diversos y se distribuyeron en nueve grandes apartados: a) protección de la atmósfera (cambios climáticos, deterioro de la capa de ozono y contaminación atmosférica más allá de las fronteras), b) preservación de los recursos de la Tierra (mediante acciones contra la deforestación, la pérdida de suelo, la desertización y las sequías), c) conservación de la diversidad biológica, d) protección de los recursos de agua dulce, e) conservación de los océanos, de los mares y de sus litorales, así como del uso y desarrollo racional de

sus recursos vivos, f) manejo ambiental consciente de los desechos o residuos biotecnológicos y peligrosos, incluyendo especialmente los de carácter tóxico, g) prevención del tráfico ilegal de productos y residuos tóxicos, h) mejora de la calidad de vida y de la salud humana, i) elevación del nivel de vida y de las condiciones de trabajo de los sectores más desfavorecidos, a través de la erradicación de la miseria y de la acción contra el deterioro ambiental.

El objetivo fundamental de la Conferencia de Río fue la formulación de la denominada "Carta de la Tierra" o declaración de los principios fundamentales que debían regular el comportamiento de todas las naciones en todo lo concerniente al medio ambiente y el desarrollo. En la Conferencia de Río se elaboró también la que se conoce como "Agenda 21", que constituye un programa de trabajo para toda la comunidad internacional a partir de 1992 y hasta más allá del comienzo del presente siglo XXI, en el que se establecen objetivos, prioridades, estimaciones de costes y asignación de responsabilidades concretas.

Como puede verse, el listado de temas tratados en la Conferencia de Río es tan amplio y completo que podría adoptarse como guión para estudiar de forma adecuada el tema que aquí nos ocupa. En realidad, muchas de estas cuestiones serán consideradas por nosotros en este libro.

1.7. Las incertidumbre sobre el futuro

Cuando tratamos de hacer algunas previsiones sobre el futuro de nuestro medio ambiente (y, por lo tanto, sobre el futuro de la humanidad) lo primero que advertimos son las dificultades que encierra dicha pretensión. Nada resulta más revelador al respecto que releer las previsiones realizadas por parte de algunos reputados expertos u organismos, en fechas no demasiado lejanas.

Por ejemplo, Hermann Kahn, director del Instituto Hudson de Futurología (Nueva York), desconfiaba incluso de sus propias **predicciones sobre el futuro** de la humanidad. Concretamente, en el año 1970, este científico pronosticó que, antes de concluir el siglo

XX, el mundo experimentaría una gran crisis debido a los problemas de superpoblación y degradación del medio ambiente, así como a los efectos negativos producidos por diversos progresos tecnológicos. Sin embargo, algo más tarde, sus concepciones cambiaron radicalmente, y sus previsiones fueron mucho más optimistas. Según este autor, es posible crear las condiciones técnicas y económicas necesarias para que, a finales del siglo que acaba de comenzar, el planeta Tierra pueda albergar una población de 20.000 millones de habitantes en condiciones de gran bienestar y prosperidad.

En contraposición, en la misma época en que dicho autor daba a conocer estas últimas previsiones, el denominado **Club de Roma** (al que ya nos hemos referido anteriormente) se mostraba bastante más pesimista, indicando que en una fecha tan próxima como el año 2030, los seres humanos intentarían comer y no podrían por falta de alimentos, querrían beber y no dispondrían de agua limpia, o pretenderían respirar y sólo encontarían aire contaminado. Según indicaba este organismo, el siglo que acabamos de empezar será el final de la especie humana, de los animales y los vegetales.

Evidentemente, cuando contemplamos la situación de nuestro entorno más inmediato, resulta bastante difícil aceptar esas visiones tan apocalípticas. Ello no quiere decir que nuestro planeta se encuentre libre de problemas, como nos recuerdan prácticamente todos los días los medios de comunicación: tensiones políticas y económicas, conflictos armados más o menos sangrientos, desigual reparto de la riqueza y el bienestar entre los países y las personas, ocurrencia de grandes catástrofes medioambientales, etc.

En particular, resulta terrible reflexionar sobre el hecho de que la tercera parte de los habitantes en países no desarrollados son esclavos de una pobreza tan abrumadora que les priva de sus derechos fundamentales y de una vida digna. Hoy en día, sabemos que más de mil millones de personas viven con un euro al día. Por supuesto, la pobreza no se reduce a la insuficiencia de ingresos. La falta de servicios tan elementales como el agua potable o la atención médica hace que la esperanza de vida de esos parias de nuestro planeta sea

tan sólo de 40 años. Y sin embargo, en contraste con esta tremenda situación, las personas que viven en los países más desarrollados (una buena parte de ellas al menos) viven inmersas en el consumismo y el despilfarro más insultantes.

En un sentido amplio, nadie parece tener respuesta a la pregunta de cómo resolver todos estos problemas y, en el caso de que exista alguna, su aplicación resulta sumamente controvertida. Por ejemplo, a estas alturas, no podemos negar que los países desarrollados son los principales responsables de la contaminación ambiental de nuestro planeta (aunque no los únicos). Sin embargo, nadie parece creer que la solución de este grave problema se pueda lograr reduciendo el actual estado de bienestar de dichos países. Al parecer, ningún gobierno (no importa cuál sea su orientación ideológica) está dispuesto a dar ese paso para ayudar a resolver ese reto fundamental de la humanidad.

En cualquier caso, hemos de ser conscientes de que la solución a muchos de los problemas medioambientales a los que se enfrenta hoy la humanidad no será nada fácil. Veamos, por ejemplo, el caso de la **deforestación de la Amazonia**. Numerosos científicos, antropólogos y ecologistas vienen refiriéndose a esta importante cuestión desde hace ya varios lustros, mostrando su inquietud por el futuro de la que es actualmente la principal fábrica de oxígeno del planeta y una auténtica Arca de Noé de nuestro tiempo, por la ingente cantidad de especies animales y vegetales que viven en esta zona.

Ante este problema (al igual que sucede con la estremecedora destrucción de los bosques húmedos tropicales de Centroamérica, de la propia Sudamérica, de Africa ecuatorial y Asia meridional), no hay verdaderas soluciones a la vista, sino que, desde hace mucho tiempo, tan sólo escuchamos lamentos por parte de las minorías más conscientes. Entretanto, continúa la ocupación de las tierras vírgenes de forma anárquica, con la acción más destructiva para con los bosques, cuya quema y tala sistemáticas están en trance de contribuir a acelerar el efecto invernadero y el consiguiente cambio climático,



Figura 8.- Imagen del Monument Valley, en Arizona, Estados Unidos. La erosión del viento y la arena, producida durante milenios, ha dado lugar a un paisaje muy singular y de gran belleza, que todos hemos tenido ocasión de contemplar en muchas películas del oeste de John Ford.

temas de los que hablaremos más adelante, y que preocupan ya a amplios sectores de la opinión pública.

Para impedir tanta destrucción, será necesario compensar de algún modo a los países que acepten preservar sus grandes extensiones de bosques vírgenes, considerando a éstos como patrimonio de toda la humanidad. Igualmente habrá que llegar a algún tipo de acuerdo para prohibir, o al menos racionalizar, el actual comercio de maderas tropicales, de las que existe una importante demanda en los países desarrollados. Este tipo de medidas, hasta ahora no concretadas, obligará a realizar nuevos ajustes en las relaciones económicas entre el Norte y el Sur.

Ciertamente, cualquier iniciativa para tratar de **limitar el desarrollo** en los países más ricos, por modesta que fuera, sería calificada simplemente de ingenua. Sin embargo, el consumismo desaforado que se da en esos países (en los que tampoco sería lícito cerrar los ojos ante la existencia de importantes bolsas de pobreza), en los que parece haberse perdido por completo cualquier noción de austeridad

y templanza en el consumo de bienes materiales, contrasta de forma escandalosa con la situación de pobreza y hambre que atenaza a millones de personas en otras partes del mundo menos afortunadas. Parece ser que el único objetivo de nuestra sociedad actual es consumir más y más cada día, de poseer bienes innecesarios, de disfrutar plenamente de todo lo superficial. Y sin embargo, la reducción en el consumo de lo accesorio por parte de los países más ricos permitiría dedicar esas energías a satisfacer las necesidades más acuciantes de las personas que viven en los países menos desarrollados.

La opción de **reducir el consumo** (aunque más bien deberíamos decir el despilfarro) puede considerarse como utópica, pero en definitiva encierra un valor ético, de solidaridad con nuestros semejantes menos afortunados y, sobre todo, con las generaciones futuras. La contaminación ambiental, en gran medida una secuela del consumismo ciego de una parte de la humanidad, es un problema perfectamente soluble si aplicamos sin tardanza los medios técnicos y económicos adecuados. En cualquier caso, y a la vista de la situación actual (que revisaremos con algún detalle en los siguientes capítulos de este libro), no podemos dejar de reconocer que, incluso para los observadores más optimistas, nuestro futuro se presenta lleno de incertidumbres.

2. PROBLEMÁTICAS GLOBALES

2.1. Introducción

Desde hace algunos años, diferentes autores han señalado la existencia de una serie de **problemas globales** con los que la humanidad se enfrenta hoy en materia de medio ambiente. Se trata de cuestiones que afectan a los elementos básicos del ecosistema global de nuestro planeta o a grandes zonas geográficas del mismo. Problemas tan importantes como la explosión demográfica a escala mundial, el cambio climático, el deterioro de la capa de ozono, la destrucción generalizada de los bosques húmedos tropicales, o la desertización acelerada en extensas zonas del planeta, entrarían claramente en esta categoría.

En el presente capítulo vamos a estudiar específicamente y con un cierto detenimiento tres de estos problemas generales, concretamente, el crecimiento de la población, el cambio climático y el tema del ozono.

En particular, todos los especialistas coinciden en afirmar que uno de los factores que ha contribuido más (y de forma más negativa) al deterioro del medio ambiente ha sido el crecimiento de la población mundial, que, en los tiempos más recientes, ha experimentado una aceleración sin precedentes en toda la historia previa de la humanidad.

El estudio de esta trascendental cuestión, desde muy diferentes puntos de vista, tiene un extraordinario interés y genera siempre



Figura 9.- Fotografía de un tornado en Castelldefels (Barcelona), producido en Septiembre del año 2005. Aunque este fenómeno meteorológico, con terribles efectos destructores, es relativamente frecuente en otras latitudes (como Estados Unidos), su presencia resulta bastante insólita en nuestro país.

apasionadas discusiones. En cualquier caso, el hecho adquiere un especial significado en relación con el tema que estamos abordando, por cuanto el elevado nivel de industrialización y desarrollo que caracteriza a una parte muy importante de dicha población (sobre todo la que vive en los países más ricos), unido estrechamente al consumo de enormes cantidades de energía (transporte, industrias, calefacción, etc.) ha tenido un impacto muy negativo sobre nuestro medio ambiente.

Tras analizar este fenómeno, estudiaremos también con algún detalle dos temas muy importantes en este mismo contexto, el cambio climático (relacionado con el llamado efecto invernadero) y el deterioro de la capa de ozono. El estudio específico de estas dos cuestiones nos permitirá ilustrar con notable claridad la relación existente entre desarrollo y medio ambiente (a escala de todo el planeta), así como el hecho de que, en la mayoría de los casos, el

deterioro de este último no reconoce fronteras geográficas ni políticas. Un dato adicional a tener en cuenta en este sentido es la inquietud que, por unos motivos u otros, han despertado últimamente estos dos problemas en el conjunto de nuestra sociedad.

2.2. El crecimiento de la población

¿Nos estamos acercando a una catástrofe de dimensión mundial a causa de la llamada explosión demográfica? ¿Podemos considerar que el crecimiento demográfico es un elemento necesario para el desarrollo de una sociedad o, por el contrario, es un factor negativo para ese desarrollo? ¿Existe algún límite objetivo al incesante aumento de la población a escala mundial? Este tipo de interrogantes, u otros de contenidos similares, es motivo de honda preocupación para muchas personas, obligándoles a preguntarse sobre el futuro de la humanidad.

En este apartado vamos a tratar de hacer una exposición breve y objetiva del estado de esta trascendental cuestión, con evidentes implicaciones políticas, económicas, sociales y éticas. Nos referiremos también a las diversas teorías existentes al respecto, teorías que pretenden encontrar una salida al problema, procurando no caer en el pesimismo, aunque tampoco en la ingenuidad, dado que hemos de ser conscientes de la gravedad del problema demográfico, a la luz de sus evidentes interrelaciones con las necesidades materiales de la humanidad, contempladas en un marco de justicia social y solidaridad a escala mundial.

Según explicaba Carlo Cipolla en su libro "The economic history of world population", la **historia demográfica** de nuestro planeta se puede dividir en tres etapas diferentes, según que la sociedad humana estuviese basada en la caza, en la agricultura o en la industria. Para este autor, en cada una de estas tres fases, lo normal es una situación de equilibrio demográfico, resultante de que las tasas de natalidad y mortalidad se compensan entre sí. Como es natural, el paso de un equilibrio a otro requiere un cierto intervalo de tiempo,

durante el cual la población crece aceleradamente a causa de revoluciones en la técnica, dando así lugar a lo que solemos denominar explosiones demográficas.

Como ya hemos indicado anteriormente, la primera revolución económica, la agrícola, se produjo cuando el hombre emprendió el cultivo de la tierra y la domesticación de los animales. La segunda, la industrial, se inició en Inglaterra en el siglo XVIII con la utilización del carbón y del vapor como fuentes de energía y de fuerza motriz, extendiéndose con notable rapidez por Europa Occidental, Estados Unidos, Rusia y Japón.

Con anterioridad a la revolución agrícola, se ha estimado que la población mundial se situaba entre los 2 y 20 millones de habitantes. Algunos elementos permiten suponer que, en aquellos tiempos, tanto la tasa de natalidad como la de mortalidad eran muy elevadas, con el resultado lógico de una esperanza de vida muy corta y un crecimiento vegetativo muy lento.

Como es natural, la evolución demográfica entre las revoluciones agrícola e industrial se conoce mucho mejor. La tasa de mortalidad era ligeramente inferior a la de natalidad, lo cual daba un crecimiento vegetativo, a lo sumo, del orden del 1%. Sin embargo, en ocasiones, la existencia de grandes guerras, hambrunas y epidemias producía decrementos absolutos en la población.

En resumen, durante miles de años, la población del mundo aumentó con enorme lentitud. Aunque el número de hijos por familia fuera elevado, la muerte segaba la vida de muchos niños y la esperanza de vida o las posibilidades de sobrevivir para cualquiera de nuestros antepasados solían ser muy reducidas. El progreso de la Medicina, iniciado de hecho en algunos países hace poco más de 300 años, hizo disminuir considerablemente la mortalidad. Desde entonces, la lucha contra la muerte, o por la prolongación de la vida, ha alcanzado grandes éxitos y se ha extendido prácticamente por todo el planeta. En términos generales, nuestra época se caracteriza por un elevado crecimiento de la población.

Según recientes estimaciones de las Naciones Unidas, en el año 1 de la era cristiana, la **población mundial** ascendía a unos 250 millones de habitantes. En 1650, dicha población se había duplicado, alcanzando la cifra de 500 millones de habitantes. Para una nueva duplicación ya no hubo que esperar tanto tiempo, sino que se produjo en tan sólo 150 años: hacia 1800, la población del planeta era del orden de 1.000 millones de habitantes. La tercera duplicación (2.000 millones) se alcanzó en 1900, o sea, cien años más tarde. Finalmente, para doblar por cuarta vez la población mundial (4.000 millones) se necesitaron sólo 70 años (1970).

En la actualidad, en nuestro planeta, cuando se observan ya los efectos de la revolución científica y técnica, estamos asistiendo a una nueva aceleración en el aumento de la población. Según estimaciones de las Naciones Unidas, a finales del año 1999, la población mundial había alcanzado ya la cifra de 6.000 millones de personas. Como curiosidad, queremos mencionar que la Oficina del Censo de los Estados Unidos mantiene una página en Internet en la que se indica cuál es la población mundial, día a día y minuto a minuto. Por ejemplo, en dicha página hemos leído que, con fecha 1 de Enero del 2006, la población de la Tierra era de 6.488.578.564 personas y que, en esas fechas, esa población aumentaba a razón de 73 personas cada segundo. Por supuesto, se trata de una estimación.

En cualquier caso, sabemos que la mitad de la actual población mundial tiene menos de 25 años y hay más de 1.000 millones de jóvenes con edades entre 15 y 24 años de edad, que serán precisamente los progenitores de la próxima generación. Es muy probable que, para que tenga lugar la quinta duplicación de la población mundial (y se alcance así una cifra de 8.000 millones de personas), se hayan necesitado poco más de cuarenta años.

Un dato de importancia capital en el tema que ahora estamos exponiendo (sobre el que es necesario insistir una y otra vez) es que, cuando acabamos de iniciar el siglo XXI, hay más de 1.000 millones de personas en el mundo que siguen sin poder satisfacer sus necesidades básicas. De los 4.800 millones de personas residentes en los



Figura 10.- Hayedo del parque natural de San Lorenzo. La conservación de los espacios naturales es de importancia vital para el futuro de la humanidad. En particular, es importante recordar que las especies vegetales juegan un papel muy importante en el ciclo del oxígeno.

países en vías de desarrollo, casi las tres quintas partes carecen de instalaciones de saneamiento. Casi un tercio de esas personas no pueden acceder con facilidad a agua no contaminada. Una de cada cuatro carecen de vivienda adecuada y una de cada cinco no cuentan con servicios médicos. En las regiones menos favorecidas de nuestro planeta, uno de cada cinco niños no alcanza ni tan siquiera el nivel elemental en la escuela.

También nos parece muy importante insistir sobre el hecho de que la Tierra no está poblada de forma homogénea, ni mucho menos. Por ejemplo, sabemos que en Asia se concentra prácticamente la mitad de la población mundial. En este continente se encuentran los dos países más poblados del planeta, China, con unos 1.300 millones de habitantes, y la India, con unos 1.000 millones. Les siguen los Estados Unidos (270 millones), Indonesia (200 millones), Brasil (160 millones), Rusia (150 millones), Pakistán (140 millones), Japón (130 millones), Bangladesh (120 millones) y Nigeria (110 millones). Debemos señalar que los datos anteriores (aproximados) son fruto de una estimación realizada en 1997.

Por otra parte, no existe correlación alguna entre la superficie que ocupan los países y el número de sus habitantes. Por ejemplo, Canadá y Australia, dos países muy ricos y de gran extensión, cuentan solamente con 25 y 15 millones de habitantes, respectivamente, repartidos de forma muy irregular en sus territorios. China e India son igualmente dos países inmensos, y su población se localiza también en zonas muy específicas, existiendo numerosos espacios vacíos o casi vacíos. Indonesia y Japón, otros dos países asiáticos muy poblados, tienen una extensión relativamente pequeña, sobre todo si la comparamos con la de sus vecinos chinos e indios.

Hay otro dato que resulta también preocupante. Sobre una tasa anual de crecimiento del orden del 1’3% (como tasa media en todo el mundo), los países más desarrollados crecen tan sólo a un ritmo del orden del 0’8%. Parece ser que la tasa actual de crecimiento de China es del orden del 1% (gracias a las fuertes medidas tomadas por su gobierno para limitar la tasa de natalidad). En cambio, en

América Latina, África y Asia meridional, la tasa de crecimiento se aproxima al 3%. Insistimos de nuevo en que todas estas cifras tienen un carácter aproximado.

Cabe esperar que, en el futuro más inmediato, China (la mayor potencia demográfica de la Tierra) seguirá aumentando su población (aunque posiblemente a un menor ritmo que en las pasadas décadas), mientras continua un proceso de desarrollo sin precedentes en comparación con el del resto del mundo, que, en pocos años, la ha convertido en una gran potencia mundial en todos los aspectos. Aunque el nivel medio de vida en este país sea todavía relativamente bajo en relación con los países más desarrollados, hay que reconocer que, en muy poco tiempo, en China se ha conseguido erradicar la pobreza y el hambre, e incorporar a la vida de empleo activo a todo su inmenso potencial humano.

Japón se encuentra en el otro platillo de la balanza, sin ninguna similitud en el plano demográfico y económico con los restantes países asiáticos. Su superficie es sólo las tres cuartas partes de la de España, aunque su población es tres veces mayor. La población de este país creció lentamente hasta 1920, para luego entrar en una etapa mucho más acelerada. Tras su derrota en la II Guerra Mundial, se produjo un rápido descenso de la natalidad, mucho más pronunciado que el de la mortalidad. Parece ser que esta situación está cambiando en la actualidad. Japón es hoy en día una gran potencia mundial en todos los órdenes.

Europa occidental, con una tradición más dilatada en cuanto al descenso de la fecundidad, es hoy por hoy el único caso en el mundo que presenta cierto paralelismo con el japonés. En la segunda mitad del siglo XVIII, Francia era un país pionero en el retroceso de la natalidad. Un siglo después, se incorporan a esta tendencia los demás países europeos. En términos generales, la natalidad en Europa ha ido disminuyendo paralelamente a la mortalidad y, como consecuencia, la estructura por edades se ha ido modificando de forma progresiva hasta llegar a la situación actual, en la que un porcentaje muy elevado de su población es mayor de 65 años. Nuestro país no sólo no

es una excepción en este sentido, sino que ocupa uno de los puestos de cabeza en las citadas tendencias.

En la actualidad, Europa occidental es una región envejecida (y todo parece indicar que todavía lo será más en el futuro), en la que la renovación generacional no estaría asegurada de no ser por la contribución de la inmigración, un factor fundamental para la continuidad del desarrollo económico en estas sociedades avanzadas, aunque este fenómeno origine también numerosos problemas de toda índole. Las consecuencias del fuerte impacto de los movimientos inmigratorios en Europa (desde muy variadas procedencias) y las posibles medidas a tomar para su control se ha convertido en la actualidad en uno de los temas de debate más importantes en muchos países de la Unión Europea.

Por muchas razones, resulta muy difícil hacer **previsiones demográficas** fiables para un futuro más o menos lejano. De hecho, las realizadas en el pasado sobre este tema no siempre se han cumplido, por unos motivos u otros. En un estudio realizado por Goran Ohlin para la OCDE en el año 1967 (fecha en la que la población mundial era del orden de 3.500 millones de habitantes), se preveía que, en el año 2050, la población mundial podía alcanzar el nivel de los 7.000 millones de habitantes (previsión baja), los 9.000 millones (previsión media) o los 11.000 millones (previsión alta), dependiendo de diversos factores de tipo social y económico y, especialmente, de la aplicación de medidas de control de natalidad rigurosas en muchos países del mundo.

Como es natural, al hablar de previsiones, no podía faltar la pregunta de si llegará un momento en que no cabremos físicamente en la Tierra. Ciertamente, las consideraciones de este tipo ya no suelen aparecer en la bibliografía científica, aunque se siguen produciendo de vez en cuando en algunas publicaciones o medios de comunicación más o menos sensacionalistas. Las respuestas a la pregunta de cuál es el volumen máximo de población que podría soportar la Tierra muestran un abanico extraordinariamente amplio. Por ejemplo, las

Naciones Unidas hablan de cifras del orden de los 12.000 millones de habitantes, en tanto que la FAO sitúa este número en los 50.000 millones y el Centro de Estudios Demográficos de la Universidad de Harvard, en los 100.000 millones. Como se ve, hay estimaciones para todos los gustos.

En cualquier caso, es evidente que, en materia demográfica, las cosas no podrán seguir siendo como hasta ahora. Es evidente que, al margen de cuáles puedan ser los factores que se barajen al realizar las oportunas predicciones, la capacidad de la Tierra respecto a la población que puede vivir en ella es limitada. Este límite no se refiere solamente a su capacidad de producir alimentos, sino a factores tan significativos como el agotamiento de los recursos naturales o la degradación del medio ambiente. Aun sin olvidar que el origen de muchos de los problemas del planeta hay que buscarlo en la desigual distribución de la riqueza en el mundo, no sería lícito afirmar que incluso con la eliminación de la explotación del hombre por el hombre, y abierto el camino de una completa igualdad para toda la humanidad, ésta podría seguir creciendo indefinidamente.

2.3. El clima de nuestro planeta

Como ya hemos indicado anteriormente, la Tierra está rodeada por un "mar" de atmósfera en cuya zona más inferior vive el hombre. En muchos aspectos, la atmósfera se parece a las aguas de un río, dado que en muchos lugares el aire se mueve muy despacio, en tanto que en otros lo hace con enorme violencia. Los contrastes de vegetación, cultivos y formas de vida de las gentes son un reflejo de éstas y otras diferencias en la atmósfera.

Durante siglos, los conocimientos que el hombre tenía del comportamiento de la atmósfera progresaron muy lentamente. En estos últimos años, los avances en este sentido han sido considerables, aunque hay que reconocer que todavía no se han conseguido esclarecer todos los procesos que en ella tienen lugar.

La gravedad, la interacción del aire con la Tierra en rotación y la radiación solar son los tres factores principales que actúan sobre la atmósfera. A la Tierra llega menos de una millonésima parte de

la energía emitida por el Sol, pero basta esta energía para mantener a la atmósfera en constante movimiento y dar lugar así a las diferentes manifestaciones del tiempo meteorológico, un observable que viene gobernado por la temperatura, la humedad, la presión y los vientos.

Lo que denominamos **clima** no es más que la combinación de todos los tipos de tiempo meteorológico que se producen en un cierto lugar. Por ejemplo, en las tierras bajas que se extienden a lo largo del ecuador, es frecuente la existencia de grandes selvas con una enorme variedad de especies vegetales (caso de la Amazonia). Esta vegetación exuberante es una consecuencia de las frecuentes y abundantes lluvias (que superan la cifra de 4.000 mm/año) y de la temperatura constantemente elevada (con medias del orden de 30º C). Hay pocos cambios de una estación a otra, ya que el sol de mediodía está siempre en lo alto del cielo.

En cambio, en los desiertos tropicales (con la excepción de los oasis), hay pocas cosas que puedan sobrevivir. El calor intenso, las lluvias escasas y la rápida evaporación hacen casi imposible que las plantas vivan en estas regiones. Los desiertos tropicales son secos porque en esas regiones los anticiclones dominan durante la mayor parte del año. Se pueden formar algunas nubes, pero cae muy poca lluvia y la mayor parte de ella se evapora antes de llegar al suelo.

El clima del Ártico y del Antártico también se caracteriza por las escasas precipitaciones y por el hecho de que la mayor parte de la humedad que llega al suelo lo hace en forma de nieve. La causa de este clima hay que buscarla en los frecuentes anticiclones, en el aire frío, que no puede contener mucha humedad, y en la ausencia casi generalizada de corrientes de aire ascendentes. Sin embargo, la principal característica del clima de dichas regiones es la alternancia de un largo período de luz diurna y un largo período de oscuridad. Durante el corto verano, la nieve que cubre todo el suelo se deshiela hasta una profundidad de unos cuantos centímetros, mientras que durante el invierno reina un frío muy intenso. En estas condiciones, la vida humana es muy difícil y apenas existe vegetación

Pero incluso a lo largo de un mismo paralelo de latitud podemos encontrar contrastes muy acusados en el clima. Por ejemplo, en el noroeste de Europa, la precipitación pluviométrica media está comprendida entre 500 y 1.000 mm, con una distribución bastante regular a lo largo de todo el año, aunque con un máximo en otoño e invierno. En invierno hiela, pero la temperatura en verano es templada. La oscilación térmica cotidiana y estacional está regulada por la proximidad del Atlántico y el predominio de los vientos del oeste. En cambio, en el interior de Rusia, en la misma latitud que la citada zona geográfica, el clima es continental húmedo. La oscilación de temperaturas es considerable, con máximas en junio y mínimas en diciembre; la primavera y otoño son muy cortos. La mayor parte de las lluvias caen en verano. Las nevadas invernales, a pesar de que persisten durante mucho tiempo, no suelen ser abundantes.

La profunda relación existente entre **el hombre y el clima**, en todos los sentidos, es un hecho muy bien conocido por todos. Los agricultores del sudeste asiático esperan con ansiedad la llegada de los monzones que traerán el agua necesaria para alimentar sus arrozales. Los pastores del África oriental, que vagan con sus ganados de unos pastos a otros y de unos abrevaderos a otros durante la estación seca, se ven amenazados por la ruina y el hambre cuando las lluvias escasean. Los pescadores de los bancos de Terranova, que rezan para que sus barcos se libren de temporales y galernas, e incluso muchos de los residentes de las grandes ciudades (trabajadores de la construcción, industria, transporte, etc.), viven igualmente pendientes de las previsiones meteorológicas.

A lo largo de toda su historia, el hombre ha realizado siempre un enorme esfuerzo por adaptarse a las condiciones climáticas de las zonas en las que vive. Este esfuerzo se pone claramente de manifiesto en cuestiones tan diferentes como la arquitectura, la vestimenta o las formas de vida. Las repercusiones económicas de un clima adverso pueden ser también muy importantes.

El reconocimiento de que existen climas más favorables que otros para desarrollar las actividades humanas en condiciones de

máximo bienestar, nos conduce inevitablemente al planteamiento de la pregunta de si el hombre es capaz de **alterar las condiciones climáticas**. La respuesta a esta pregunta, en términos globales, es rotundamente negativa. De hecho, resulta incluso disparatado hablar de dominar los grandes fenómenos atmosféricos (ciclones y anticiclones). A lo sumo, lo único que el hombre ha conseguido hasta ahora es modificar ciertas condiciones climáticas locales, en ámbitos muy limitados (disipación de nieblas, producción de lluvia, lucha contra el granizo, lucha contra las heladas, etc.).

Por el contrario, el hombre sí que ha sido capaz de mejorar sus técnicas para luchar contra algunos efectos negativos del clima, por ejemplo, construyendo edificios y viviendas más adaptados a esas condiciones, instalando sistemas de calefacción o aire acondicionado, plantando árboles o setos para protegerse mejor contra los vientos, o construyendo infraestructuras de riego o de drenaje, entre otras actuaciones de características y alcance muy diverso.

Nos parece importante recordar también que los mayores cambios que el hombre ha introducido en el clima han sido, en principio, involuntarios, aunque, en la mayoría de los casos, han tenido resultados muy negativos. A lo largo de los siglos, grandes extensiones de terreno han sido desembarazadas de bosques, hierbas y maleza, al mismo tiempo que se han desecado marismas. La mayoría de estos cambios han sido realizados por motivos agrícolas o ganaderos y, sin duda, han influido en el clima local de las zonas afectadas. En muchas zonas taladas han disminuido las precipitaciones y se ha producido un incremento importante de las escorrentías, erosionando el suelo e incrementando notablemente el riesgo de desertización. Se ha demostrado también que en las zonas desecadas se produce una disminución de la humedad y un aumento de las oscilaciones térmicas.

En particular, los millones y millones de personas que viven actualmente en las grandes ciudades de todo el mundo lo hacen en un microclima alterado por el hombre. En general, las condiciones en las zonas urbanas son muy distintas de las que reinan en las zonas

rurales. La temperatura suele ser más elevada, la humedad inferior, la niebla más densa y la velocidad del viento más reducida.

Antes de abordar algunos aspectos clave de este tema, habría que recordar también que, en definitiva, el sol es el **origen de toda la energía** que llega a la superficie de la Tierra y su atmósfera, una masa constituida por diferentes gases y vapores que rodean a la superficie terrestre y que es arrastrada por la Tierra en su movimiento de rotación. Cuando los rayos solares atraviesan la atmósfera tan sólo un 10% de su energía es absorbida, mientras que el resto se utiliza en calentar, por cierto, de forma muy irregular, la superficie terrestre. Ésta, a su vez, emite de nuevo hacia la atmósfera una parte de la energía incidente, pero lo hace en forma de radiación infrarroja, es decir, radiación electromagnética de longitud de onda más larga que la de la energía luminosa recibida. La atmósfera, prácticamente transparente para la radiación solar, es casi opaca para las radiaciones caloríficas de onda larga y, por lo tanto, actúa a modo de una vidriera de invernadero.

Como consecuencia de este proceso, la **atmósfera**, en lugar de calentarse uniformemente por la acción de los rayos solares, adquiere una temperatura determinada en función de las peculiaridades del suelo, que de esta forma imprime características propias a las masas de aire que se encuentran más próximas a él. En este proceso juega también un papel primordial la irregular distribución de tierras y mares, ya que estas superficies se comportan de modo diferente. De hecho, el agua de los océanos y grandes mares se comporta como un enorme termostato regulador de la temperatura.

Aunque, desde el punto de vista del medio ambiente, nuestro interés por la atmósfera se limita normalmente sólo a sus capas más inferiores, es bueno saber que ésta, en su extensión total, alcanza varios centenares de kilómetros. Las propiedades y composición de esta envoltura gaseosa se conocen con bastante precisión, gracias a medidas directas o sondeos con satélites o proyectiles.

La capa más interna de la atmósfera, la troposfera, tiene un espesor del orden de 11 kilómetros, y se caracteriza porque en su

interior tienen lugar todos los fenómenos que determinan el tiempo meteorológico, es decir, los movimientos convectivos del aire, la formación de nubes y las tormentas. En esta delgada capa, en condiciones normales, la temperatura va disminuyendo con la altura.

La siguiente capa es la estratosfera, que se extiende desde los 11 a los 50 kilómetros, aproximadamente. Se trata de una región prácticamente isoterma. En la estratosfera ya no existen movimientos verticales de aire y tan sólo subsisten los desplazamientos horizontales. En esta zona se encuentra virtualmente todo el ozono atmosférico, concretamente a una altura de unos 22 kilómetros.

Como ya hemos indicado anteriormente, todas las **actividades humanas** están directamente afectadas por el clima, y éste viene determinado por una serie de factores diferentes, entre los cuales los más importantes son la temperatura y la humedad. La experiencia pone de manifiesto que, a igualdad de estos factores, la sensación climática (nivel de bienestar de las personas) depende también de la agitación del aire, es decir, del viento. Un día de invierno nos parece más frío cuando sopla el viento, debido a que, en estas condiciones, las pérdidas de calor que sufre nuestro cuerpo son mayores.

Reconocida la gran importancia del clima para la vida humana, no resulta sorprendente saber que el estudio de las posibles variaciones climáticas fuera ganando importancia entre los expertos medioambientales cuando se comprobó la existencia de mecanismos capaces de producirlas, a una escala temporal que puede variar entre algunos millones de años (como puede ser el caso del arrastre continental) hasta las 24 horas que dura una rotación terrestre.

Es un hecho bien conocido por todos que el **clima del planeta** ha sufrido muchos cambios en el pasado y es de esperar que en el futuro se produzcan otras alteraciones de características similares a aquéllas. Desgraciadamente, nuestro conocimiento actual de los mecanismos y causas de las fluctuaciones climáticas no es suficiente para poder predecirlas, pues ni tan siquiera está claro si dichas alteraciones son debidas a cambios internos del sistema océano-atmósfera o a variaciones de determinados factores externos, como la radiación

solar. Por otra parte, el problema se puede complicar todavía más en el futuro ante la posibilidad de que algunas actividades humanas, como la creciente producción de dióxido de carbono, aerosoles o calor, puedan dar lugar a cambios muy lentos, aunque importantes, en el clima general de la Tierra.

El tema resulta muy controvertido debido a que, como hemos mencionado, las bases científicas de partida son bastante inciertas. Con todo, algunos autores han llegado a plantear la necesidad de imponer un límite al crecimiento en virtud de consideraciones puramente climáticas.

Hace ya algún tiempo, algunos científicos mostraron su preocupación por la composición de la atmósfera y las posibles consecuencias de esta composición sobre el clima. En un principio, esta preocupación se centraba sobre todo en el temor por el agotamiento del oxígeno ante la creciente utilización de combustibles y la destrucción de las algas verdes marinas. Más tarde, se supo que el dióxido de carbono era realmente el que podía causar los problemas más serios, al tiempo que se llegaba a la conclusión de que las reservas de oxígeno en la atmósfera terrestre eran prácticamente ilimitadas, ya que las plantas producen más oxígeno del que utilizan para la respiración todos los seres vivos de la tierra. En cualquier caso, si la vegetación llegara a extinguirse por completo, la población fallecería por falta de alimentos antes que por carecer de oxígeno.

En principio, dejando a un lado las fluctuaciones internas que, con períodos de tiempo largos, se ponen de manifiesto en el sistema complejo constituido por la atmósfera, los océanos y los continentes, junto con los seres vivos que habitan en ese medio, podemos tomar en consideración tres **factores generales** capaces de producir alteraciones climáticas.

En primer lugar, sería necesario hablar de las variaciones de la denominada constante solar, es decir, de la cantidad de radiación solar que incide por unidad de superficie y de tiempo sobre una superficie situada en el límite superior de la atmósfera y colocada a la distancia

media entre la tierra y el sol. El valor de esta constante es del orden de 140 miliwatios/cm^2.

En segundo lugar, habría que tener en cuenta la posible variación de las propiedades de la superficie terrestre, incluyendo especialmente las variaciones del albedo o poder reflector de dicha superficie y las emisiones térmicas.

Finalmente, deberían estudiarse también las alteraciones en la composición de la atmósfera, incluyendo la presencia en ella de aerosoles y gases.

Las numerosas observaciones llevadas a cabo en el curso de estos últimos años desde satélites y sondas espaciales han puesto de manifiesto que, aunque los cambios producidos en la constante solar son extraordinariamente pequeños, existen variaciones acusadas en la componente corpuscular, en el ultravioleta lejano y en los rayos X de la radiación solar. Sin embargo, la posible correlación entre la actividad solar y el clima sigue siendo muy discutible. Por el momento, lo único que parece relativamente claro es la influencia de los conocidos ciclos de actividad solar (de once y veintidós años), sobre el régimen de temperaturas, precipitaciones y tormentas en la tierra. Por otro lado, aunque se reconoce que la variación de las propiedades de la superficie terrestre puede tener influencias climáticas, lo más probable es que estas influencias sólo tengan alguna incidencia a escala de microclimas o anomalías de corto período.

En consecuencia, los posibles **cambios climáticos** que se puedan producir en todo el planeta habrá que atribuirlos a variaciones de la composición de la atmósfera, en virtud de ciertas actividades humanas capaces de originar dichas variaciones, fundamentalmente a través de una divergencia del flujo radiativo y del llamado efecto invernadero. La concurrencia de estas dos acciones es capaz de producir un corrimiento significativo del balance térmico terrestre. Hay que tener presente que este balance es sumamente crítico en la atmósfera, dado que una simple variación de 1º C en su temperatura media puede provocar consecuencias climáticas insospechadas.

Así, por ejemplo, una eventual fusión de los hielos polares traería consigo una subida en el nivel de los océanos, con la consiguiente invasión de grandes superficies costeras terrestres, mientras que, por el contrario, un pequeño enfriamiento sería capaz de producir un avance del hielo hacia las latitudes medias, marcando así el inicio de una nueva era glacial.

2.4. Agentes contaminantes de la troposfera

Vamos a ocuparnos ahora de los posibles efectos sobre el clima ligados al contenido de dióxido de carbono y partículas materiales en nuestra atmósfera, así como a la proliferación de focos de calor en nuestro planeta.

Empezaremos con un dato simple y objetivo. La concentración de **dióxido de carbono** en la atmósfera terrestre ha pasado de 290 partes por millón (ppm) antes de la revolución industrial, a 320 ppm en los años ochenta y casi 400 ppm al finalizar el siglo XX. ¿Y qué importancia puede tener este ligero aumento? La respuesta a esta pregunta es muy sencilla. Como ya hemos dicho anteriormente, aunque la atmósfera es relativamente transparente para la radiación procedente del sol, resulta prácticamente opaca para la que procede de la tierra (infrarroja), dada la fuerte absorción que sobre ella ejercen el dióxido de carbono y el vapor de agua. En consecuencia, la presencia de tales gases en la atmósfera evita, en gran parte, que la radiación terrestre escape al espacio.

Precisamente este hecho es la base del denominado **efecto invernadero** (llamado así por analogía con lo que sucede en este tipo de instalaciones), que bien pudiera justificar el calentamiento de la atmósfera terrestre. Hace ya algunos años, los expertos empezaron a preocuparse por esta cuestión y estimaron que el aumento global de temperatura era tan sólo de unas décimas de grado, aunque dicho aumento podía llegar a ser del orden de 1° C en el año 2000. Estos mismos expertos afirmaron que si se confirmaran finalmente las previsiones sobre el incremento de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera, este hecho podría originar, entre otros

efectos, una reducción de los hielos polares, con todas sus consecuencias para el conjunto de nuestro planeta.

Sin embargo, cabe señalar que el riesgo de que se produzca un aumento continuo en la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera ha sido un tema objeto de polémica en el mundo científico. Por ejemplo, hace algún tiempo, algunos autores opinaban que este tema era claramente manipulado por quienes trataban de impulsar nuevas políticas energéticas (por ejemplo, apoyando la exclusión de los combustibles fósiles a favor de la energía nuclear). En todo caso, se decía en aquellas fechas que, si se produjera una inversión de la tendencia a la deforestación de muchas regiones del planeta (desaparición de masas vegetales) podría compensarse fácilmente, en el curso de unas pocas décadas, el incremento de la emisión a la atmósfera de dicho contaminante.

Al hablar de todas estas cuestiones, hemos de tener en cuenta también el hecho de que una cantidad increíblemente elevada de **partículas materiales** es lanzada todos los días a la atmósfera. Esta cantidad se estima del orden de 600 millones de toneladas por año. Por supuesto, algunas de estas partículas son de origen natural, aunque la mayoría de ellas son de origen humano. Tales partículas permanecen en la atmósfera en forma de aerosoles de naturaleza y tamaño variables (entre 0'01 y 10 micras). La pregunta crucial que surge de inmediato es si la presencia de este tipo de partículas en la atmósfera produce un calentamiento o un enfriamiento. Sin embargo, la respuesta a esta pregunta no es nada fácil. Parece ser que el hecho de que una de dichas partículas produzca un efecto u otro depende de la relación entre los respectivos coeficientes de absorción y de dispersión: si dicha relación es superior a la unidad se producirá un calentamiento, en tanto que si es inferior a la unidad se producirá un enfriamiento.

En términos globales, la opinión predominante en la actualidad es la de que estos aerosoles determinan un enfriamiento de la superficie terrestre por reducción de la radiación solar que llega hasta ella. Sin embargo, en los medios urbanos o industriales, la existencia de una

densa capa de tales aerosoles puede contribuir a acentuar el efecto invernadero, disminuyendo el consabido enfriamiento terrestre por emisión infrarroja y contribuyendo así al fenómeno que denominamos "isla térmica urbana", de cuya existencia hay numerosos ejemplos.

Los diferentes **focos de calor** relacionados con la obtención de electricidad, transporte, calefacción, etc., representan otro de los posibles impactos de las actividades humanas sobre el clima. Aunque, por el momento, el consumo total de energía en la tierra es tan sólo del orden de una diezmillonésima parte de la que llega al suelo procedente del sol (aproximadamente 1 kw/m^2), el aumento de la población, la industrialización y la concentración humana en grandes núcleos urbanos puede dar lugar a que la energía emitida por los focos terrestres llegue a alcanzar cifras que representan hasta un 5% de la energía recibida por el sol, como de hecho ya sucede hoy en día en ciertas áreas de los Estados Unidos (en este sentido, es clásica la mención de la zona geográfica formada por las ciudades de Nueva York, Washington y Boston).

Algunos autores han calculado que si este "vertido térmico" se extendiera a escala mundial, se produciría un aumento en la temperatura de la atmósfera de algunos grados centígrados. Sin embargo, por el momento, dicho incremento sólo se advierte en las grandes concentraciones urbanas, en las que puede hablarse con todo fundamento de la aparición de ciertas perturbaciones del microclima. No estamos hablando de una especulación. La existencia de estas perturbaciones se pone muy claramente de manifiesto en fotografías aéreas al infrarrojo, en las que la presencia de las grandes urbes destaca como una zona brillante en contraste con el entorno más frío. En términos bastante más populares, podemos recordar que la presencia de campos nevados rodeando a las ciudades sin nieve, es una observación muy corriente en nuestros días.

2.5. Datos recientes sobre el cambio climático

Cada vez con mayor frecuencia, los diferentes medios de comunicación se ocupan, con más o menos acierto, de este importante problema medioambiental. Concretamente, en el mes de Febrero de

2001, el diario El Mundo publicó un interesante artículo bajo el título "Mil expertos vaticinan que las temperaturas pueden subir este siglo casi seis grados. El deshielo de los polos y los glaciares elevaría el nivel de los océanos hasta 88 centímetros en este plazo". En dicho artículo se seguía diciendo (textualmente) que el siglo XXI se caracterizará por un incremento de las sequías, las inundaciones, el hambre y las epidemias. Estas condiciones afectarán, en mayor o menor medida, a todos los países del planeta y provocarán la desaparición de numerosas especies animales y vegetales, según el informe del Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPPC), del Programa del las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), publicado en aquellas fechas en Ginebra.

Más de 900 científicos de todo el mundo trabajaron en la preparación de este informe técnico de más de mil páginas titulado *El cambio climático en 2001: impacto, adaptación y vulnerabilidad*. Se trata del segundo de una serie de tres estudios, publicados por el PNUMA, que analizan con sumo cuidado el importante tema del **cambio climático** y sus consecuencias globales.

Según se indicaba en el primero de estos informes, publicado en Enero de 2001 en Shanghai, la temperatura media del planeta aumentará entre 1'4 y 5'8 grados centígrados durante este siglo XXI, mucho más de lo que en principio se esperaba. Hasta que se dio a conocer este dato, se aventuraban cifras que, a lo sumo, no sobrepasaban los cuatro grados de aumento de la temperatura.

Además, el nivel de los mares podría subir entre 8 y 88 centímetros de aquí a finales del siglo XXI, y se reducirán las precipitaciones entre un 5% y un 10%.

Por supuesto, ésta no es la primera vez que los científicos advierten sobre las consecuencias del cambio climático sobre la naturaleza y el hombre. Lo que resulta novedoso en este estudio es la unanimidad que existe entre los expertos acerca de la dimensión del problema y sus consecuencias, una unanimidad que estaba lejos de producirse hace tan sólo un par de décadas.

Según tales expertos, la contaminación industrial es la principal causante del recalentamiento del planeta. Esta contaminación ha provocado ya la pérdida del 15% de la extensión de la Antártida, la progresión de 100 kilómetros de los bosques de Alaska hacia el norte y la reducción del tiempo en que los lagos y ríos están helados en los países del hemisferio norte.

De acuerdo con este estudio, los países situados en las zonas tropicales y subtropicales de África y Latinoamérica son los que resultarán más afectados por estas perturbaciones climáticas y registrarán los mayores aumentos en el número de inundaciones o sequías, un hecho cuya consecuencia más importante será el descenso de su producción de cereales.

En el continente europeo, las consecuencias del cambio climático influirán de manera positiva en los países del norte (más fríos), que verán incrementada su producción agrícola, debido a las mayores temperaturas, mientras que los países del sur (más cálidos) resultarán más afectados por las sequías y experimentarán un descenso en su producción agrícola.

Debido al aumento de la temperatura, se cree que la mitad de los glaciares europeos habrán desaparecido antes de finalizar el actual siglo XXI. El estudio que estamos comentando llega también a una curiosa conclusión en relación con el turismo. El aumento de las olas de calor que se producirán durante los veranos tendrá como consecuencia el cambio de destino en muchas de las rutas turísticas tradicionales, buscando climas más agradables. En consecuencia, la industria turística española y de otros países de la cuenca del mediterráneo, tan importante en la actualidad, se podría ver seriamente afectada si se cumplen las predicciones del informe que estamos comentando.

Según ese mismo informe, en las regiones más secas de Asia, el hambre provocará el desplazamiento de millones de personas. En los archipiélagos del Océano Indico, el aumento del nivel del mar, estimado en medio centímetro al año durante el siglo XXI, producirá un aumento importante en la erosión en las costas, dañará los

ecosistemas y causará grandes pérdidas a las poblaciones ribereñas, que viven fundamentalmente de la agricultura.

Al parecer, el deshielo de las regiones polares se prolongará durante siglos. Los expertos llegan también a la conclusión de que, incluso si se logra estabilizar la emisión de gases, los efectos de dicha emisión serán irreversibles en las capas de hielo, en las corrientes del océano y en el nivel de los mares.

Muchos de los cambios en la naturaleza que los científicos habían previsto para un futuro más o menos lejano, son ya hoy una realidad. Según el informe del PNUMA, a partir de ahora, toda la actividad humana tendrá que replantearse para permitir la adaptación de las especies que sean más vulnerables al aumento de las temperaturas. Se ha estimado que, durante el siglo XX, la temperatura media del planeta aumentó 0,6 grados centígrados. Durante las dos últimas décadas, se han registrado las temperaturas más cálidas de los últimos 150 años.

Una de las consecuencias ya constatadas de esta continuada elevación de temperaturas es que, en el macizo de los Alpes, ciertas especies vegetales han emigrado hacia las cumbres entre uno y cuatro metros cada década. También se ha comprobado que en toda Europa, las hojas de los árboles y arbustos se caen cada vez más tarde y las aves migratorias llegan antes en primavera y parten más tarde en otoño. Frecuentemente se encuentran mariposas, escarabajos, libélulas y otros insectos en zonas geográficas que en tiempos pasados eran demasiado frías para permitirles su supervivencia.

Las crecidas de los ríos se producen en el hemisferio norte en invierno y no en primavera como hasta ahora y las lluvias son más frecuentes que las nieves.

En el continente asiático, se ha constatado que el 67% de los glaciales de las cordilleras del Himalaya y de Tianshan, que alimentan los grandes ríos de la zona, han retrocedido de forma sensible en el curso de los últimos diez años. El informe al que estamos aludiendo señala que estas tendencias continuarán en las próximas décadas.

A título de curiosidad, podríamos mencionar finalmente el hecho de que el aumento de temperaturas permitirá, por ejemplo, que el mosquito "anopheles", que transmite la malaria, viva en el futuro en zonas donde ahora no puede hacerlo a causa del frío. En consecuencia, no se podría descartar que países como España volvieran a conocer esta grave enfermedad, que fue erradicada de nuestro país en las primeras décadas del pasado siglo.

2.6. El problema de la capa de ozono

La presencia de ozono, una forma alotrópica del oxígeno formada por tres átomos (en lugar de los dos que constituyen una molécula ordinaria de dicho gas), confiere propiedades muy importantes a la atmósfera y especialmente a las de sus capas más altas, la estratosfera, donde se concentra en gran parte.

Reducida a condiciones normales de temperatura y presión, la **capa de ozono** de la atmósfera ocuparía tan sólo un espesor del orden de unos 4 mm. Dicho de otro modo, la concentración de este gas en la atmósfera es tan sólo de una parte por millón. Si a pesar de existir en tan pequeña proporción se habla con frecuencia de la ozonosfera es porque la presencia de esta insignificante cantidad de gas ozono en la alta atmósfera desempeña un papel de enorme importancia en muchos procesos físicos que tienen lugar en esa región.

La producción de gas ozono tiene lugar en la estratosfera, bajo la acción de la radiación solar ultravioleta, que da lugar a la disociación del oxígeno (O_2) y la formación del ozono (O_3), en presencia de un agente catalítico. En cualquier caso, la concentración de ozono en la atmósfera no aumenta indefinidamente debido a que se establece un **equilibrio fotoquímico** entre su formación y su destrucción. Esta última tiene lugar debido a la fuerte absorción de la radiación ultravioleta que presenta dicho gas. Sin embargo, el ozono que se ha formado durante el día no puede ser destruido durante la noche, dada la ausencia de radiación ultravioleta en ese periodo. Por otro lado, el ozono que desciende constantemente desde las capas más altas de la atmósfera hacia la baja estratosfera y la troposfera tam-

poco se puede descomponer, ya que la propia capa de gas ozono situada por encima, actuando como una gran sombrilla protectora, evita que lo alcance la radiación ultravioleta capaz de dar lugar a tal descomposición.

La concentración de ozono en la estratosfera, resultado de dicho equilibrio, es tal que impide la penetración hacia las capas bajas de la atmósfera de aquellas radiaciones ultravioletas que determinan serias quemaduras y graves alteraciones cutáneas en las personas (en particular, el cáncer de piel). Por otro lado, si la concentración de ozono fuera mayor, impediría que llegara hasta la superficie terrestre la radiación ultravioleta indispensable, por ejemplo, para la síntesis de la vitamina D, lo que implicaría problemas de raquitismo de los seres vivos. De ahí la extraordinaria importancia de la distribución del ozono en el seno de la atmósfera, que presenta un máximo de concentración alrededor de los 25 km, ya en plena estratosfera, una altura hasta la que pueden llegar ciertos productos originados por diversas actividades humanas, y que son susceptibles de alterar el delicado equilibrio al que nos hemos referido anteriormente.

Aparte de su importante papel como **escudo protector** contra los efectos nocivos de la radiación ultravioleta sobre las personas, el ozono desempeña otro papel muy significativo en la atmósfera, relacionado con el equilibrio térmico de la estratosfera y, por lo tanto, con la distribución vertical de la temperatura, que sería diferente si sólo contribuyeran a dicha distribución el vapor de agua y el anhídrido carbónico. En consecuencia, nos encontramos una vez más con el hecho de que posibles alteraciones de la actual concentración del ozono en la atmósfera podrían dar lugar a peligrosos cambios térmicos en altura que, a mayor o menor plazo, se reflejarían también en cambios climáticos en la biosfera.

Vamos ahora a referirnos a la forma en que las actividades humanas son capaces de producir dichas alteraciones sobre el ozono de la estratosfera y sus posibles consecuencias. Esta cuestión se planteó por primera vez en la década de los años setenta, cuando tuvo lugar el comienzo de los vuelos supersónicos en la estratosfe-

ra, ya que se temió que las fuertes emisiones de gases por parte de los reactores en vuelo pudieran afectar a la distribución vertical del ozono, alterando el normal equilibrio fotoquímico entre la producción y la destrucción.

Téngase en cuenta que la estratosfera se caracteriza por una estratificación vertical de gran estabilidad, con vientos predominantemente zonales a lo largo de los paralelos. Por consiguiente, cualquier sustancia extraña inyectada en ella se extiende primero a lo largo de una franja zonal y luego, más lentamente, de norte a sur, por todo el hemisferio, hasta que finalmente, tras un tiempo de meses o años, el lentísimo intercambio vertical puede desplazar parte del agente extraño hacia abajo, hacia la troposfera, donde ya podrá ser rápidamente dispersado por las turbulencias y, en su caso, eliminado a través de la lluvia.

La estratosfera es, por lo tanto, una región de "estancamiento", susceptible de acumular y almacenar la contaminación durante muchos años. Este hecho puede constituir un serio problema. El problema aumenta si consideramos además que estamos ante una cuestión de carácter global, dado que los efectos debidos a las emisiones por parte de un país determinado pueden afectar a la totalidad de los países existentes en ese hemisferio.

Es importante señalar que la cantidad de ozono existente en la estratosfera viene determinada no sólo por las anteriormente citadas reacciones fotoquímicas entre átomos y moléculas de oxígeno, sino también por **otras reacciones** en las que intervienen cantidades muy pequeñas de otros gases, tales como cloro y óxidos de nitrógeno de origen humano, producidos por actividades tan diferentes como el vuelo de aviones en la estratosfera, la utilización de pulverizadores y refrigerantes, o el empleo abusivo de ciertos pesticidas, entre otras.

Concretamente, los compuestos que más contribuyen al agotamiento del ozono de la estratosfera son los clorofluorcarbonos (CFC), el tetracloruro de carbono, el metilcloroformo, los halones, los hidroclorofluorcarbonos (HCFC), los hidrobromofluorcarbonos (HBFC)

y el bromuro de metilo. Todos estos compuestos se utilizan o se han utilizado como disolventes, refrigerantes, agentes espumantes, agentes desengrasantes, propelentes de aerosoles o pulverizadores (freones), extintores de incendios (halones) y pesticidas (bromuro de metilo).

El grado en que un compuesto afecta negativamente a la capa de ozono (es decir, su valor potencial como destructor de ozono) depende de su composición química. Hace algunos años, los expertos consideraban que el mayor riesgo de todas las fuentes anteriormente citadas correspondía a los freones. En general, éstos y otros compuestos orgánicos clorados se convirtieron durante algún tiempo en motivo de preocupación para los defensores del medio ambiente, ya que si bien no se podían negar las ventajas que la utilización de estos productos ofrecía para la sociedad, su uso abusivo presentaba muchos problemas. En este sentido, la tarea de muchos químicos y biólogos ha consistido en averiguar en virtud de qué mecanismos los diferentes productos organoclorados ejercen su acción y, sobre todo, determinar cuáles son sus dosis tóxicas y los límites tolerables.

Hay también evidencia de que otro importante depredador del ozono en la estratosfera es el óxido de nitrógeno. En realidad este gas actúa como un simple catalizador, pues primero pasa a dióxido y luego nuevamente a óxido de nitrógeno (al unirse al oxígeno atómico), de forma tal que pequeñísimas cantidades de dicho gas pueden destruir grandes cantidades de ozono y seguir haciéndolo hasta que, en virtud de un lento proceso natural, el gas es apartado de la estratosfera y pasa a la troposfera, donde puede ser eliminado por la turbulencia y las precipitaciones.

En este sentido, se ha calculado que si una flota de 500 aviones reactores atravesaran la estratosfera durante ocho horas diarias, lanzando al aire 15 gramos de óxido de nitrógeno por kilogramo de combustible consumido, se introducirían en la atmósfera un millón de toneladas de dióxido de nitrógeno por año, en cuyo caso se produciría una reducción de un 15% del contenido total de ozono en todo el hemisferio en que tuvieran lugar tales vuelos.

Hoy en día, todos los especialistas se muestran de acuerdo en afirmar que la capa de ozono que rodea nuestra atmósfera está gravemente amenazada. La detección de un **agujero en la capa de ozono** de la Antártida primero y otro en el Ártico algo más tarde, así lo ha puesto en evidencia desde el año 1985.

Hace algunos años, este importante tema saltó a las primeras páginas de los periódicos, a las pantallas de televisión y a los programas de radio, por cuanto el deterioro de la capa de ozono supone un grave debilitamiento de la protección de la vida en la Tierra, como consecuencia de una excesiva irradiación solar de rayos ultravioleta. Hoy en día, todo el mundo habla ya de este problema.

El efecto más conocido de este debilitamiento del escudo protector que es la capa de ozono lo tenemos en el riesgo que ello supone para la aparición de cáncer de piel en los seres humanos, un peligro sobre el que recibimos muchos mensajes de alerta en época estival. Se cree, sin embargo, que éste no es más que uno de los muchos efectos que podrían producirse como consecuencia de este hecho, algunos todavía no definitivamente previstos, pero cuya gravedad se teme que pueda ser muy importante.

En particular, se ha observado que el espesor de la capa de ozono sobre Europa ha disminuido notablemente desde principios de los años ochenta, en una proporción del orden del 8% cada diez años. Afortunadamente, los resultados de las medidas realizadas en estos últimos años sobre la concentración de cloro en la troposfera (en su camino hacia la estratosfera) ponen de manifiesto un descenso gradual de dicha concentración, una prueba de que las políticas aplicadas a nivel internacional para controlar las sustancias destructoras de ozono están teniendo éxito. Concretamente, sabemos que la producción y venta de estas sustancias en los países miembros de la Unión Europea ha descendido significativamente desde 1989. Sin embargo, la gran duración de estas sustancias en la atmósfera es causa de que la recuperación de la capa de ozono no pueda conseguirse, tal vez, hasta después del año 2050, siempre que sigan

aplicándose con el máximo rigor y de forma generalizada las medidas de control pertinentes.

El primer acuerdo internacional destinado a **proteger la capa de ozono** se tomó en la Convención de Viena de 1985. El Protocolo de Montreal de 1987 y las posteriores modificaciones y ajustes del mismo se refieren a la eliminación de la producción y uso en todo el mundo de las sustancias agotadoras de ozono. Las medidas y políticas de la Unión Europea para la protección de la capa de ozono se plasman en el Reglamento 3093/94/CEE del Consejo, actualmente en proceso de revisión y perfeccionamiento.

Un dato importante en este contexto es el hecho de que la producción de sustancias agotadoras de ozono en los países de la Unión Europea ha descendido notablemente a lo largo de estos últimos años (cabe recordar que la producción europea de tales sustancias corresponde actualmente a un 25% de la producción mundial). Concretamente, la producción de clorofluorcarbonos (CFC) ha pasado de 450 millones de kilos en el año 1987 a 50 millones de kilos en el año 1997, aproximadamente.

El carácter positivo de estos datos no debería hacernos olvidar el hecho de que la recuperación de la capa de ozono a escala mundial se verá seriamente obstaculizada a menos que los países en vías de desarrollo cumplan también los compromisos establecidos en el Protocolo de Montreal. Naturalmente, para que estos países puedan superar los numerosos problemas que este cumplimiento les plantea, será necesaria la colaboración económica y tecnológica de los países más desarrollados.

3. LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

3.1. Introducción

El **aire atmosférico** está constituido por una mezcla de diferentes gases. Con la excepción del vapor de agua, las proporciones relativas de todos estos gases se mantienen prácticamente constantes hasta una altura superior a los 60 kilómetros. Los componentes más abundantes son el nitrógeno (76%) y el oxígeno (23%). El resto está formado por cantidades minúsculas de argón, monóxido de carbono, neón, helio, metano, criptón, óxidos de nitrógeno, ozono, xenón, ácido nítrico y radón. La cantidad de vapor de agua es muy variable, y su presencia se limita casi exclusivamente a la troposfera (en la que tienen lugar los procesos de condensación y precipitación), en donde puede alcanzar valores de hasta el 4%. A pesar de que el peso molecular del agua es inferior al de los otros gases citados, el vapor de agua se concentra sobre todo en las capas más bajas de la atmósfera y su presencia disminuye rápidamente con la altura.

Ahora bien, aparte de estos componentes que consideramos normales, el aire atmosférico contiene otros tipos de productos o materias que no forman parte de su composición regular. Algunas de estas materias proceden de la propia naturaleza (cristales de sal, partículas de polvo, pequeñas gotas de agua o granos de polen, entre otras), en tanto que otras son de origen humano. Estos últimos productos se presentan en cuantías muy variables, y solemos referimos a ellos con la denominación de contaminantes.

Como ya hemos visto en el capítulo anterior, la **atmósfera terrestre** es una envolvente de naturaleza gaseosa, de unos 2.000

kilómetros de espesor, cuya densidad disminuye exponencialmente con la altura. La atmósfera no tiene límite superior, pues llega imperceptiblemente a confundirse con la amplia atmósfera solar. Aunque resulte bastante sorprendente para los profanos, dada su naturaleza gaseosa, la atmósfera posee una masa de $5'8.10^{14}$ toneladas métricas.

Prácticamente, las tres cuartas partes de la masa total de la atmósfera se concentran en los primeros 11 km de altura, aproximadamente, una zona conocida con el nombre de troposfera, en la que tienen lugar todos los fenómenos meteorológicos que determinan el "tiempo" y sus variaciones. Por encima de esta primera capa se encuentra la estratosfera, una parte que también nos interesa cuando estudiamos el tema de la contaminación, puesto que en ella pueden producirse retenciones de algunos contaminantes atmosféricos, que, aunque se originan en la troposfera, a la larga pueden llegar hasta la baja estratosfera. La estratosfera se extiende entre los 11 y 50 km de altura, aproximadamente. Por último, entre los 50 y 80 km de altura, tenemos la mesosfera, y, por encima de los 80 km, tenemos la ionosfera. Estas dos últimas regiones carecen de relevancia en el tema que estamos tratando.

La capacidad de la atmósfera para dispersar los productos vertidos en ella (de los que hablaremos más adelante) está íntimamente relacionada con el grado de estabilidad de su estratificación, y éste, a su vez, depende de la variación de la temperatura con la altura.

Normalmente, la temperatura en la troposfera (entre el suelo y los 11 km de altura) disminuye regularmente con la altura, a razón de unos 6º C por kilómetro. En la capa más baja de la estratosfera, concretamente entre los 11 y 20 km de altura, la temperatura se mantiene prácticamente constante, con un valor próximo a los -70ºC, para aumentar de nuevo entre los 20 y 50 km de altura, hasta el punto de que al llegar a 50 km de altura, la temperatura alcanza un valor del orden de -20º C. En la mesosfera, la temperatura disminuye de nuevo con la altura, llegando a alcanzar un valor del orden de -110º C en la zona que separa la mesosfera y la ionosfera. Finalmente, en

la ionosfera se produce de nuevo un aumento regular de la temperatura con la altura, hasta el punto de que a una altura de 200 km se llegan a superar los 500º C.

Como todos sabemos, el aire es uno de los elementos imprescindibles para todo ser vivo. Es importante recordar que en los pulmones de una persona adulta entran diariamente unos 15 kilos de aire, mientras que tan sólo consumimos unos 2’5 kilos de agua y menos de 1’5 kilos de alimentos.

Por ello, ya desde los tiempos más remotos, el hombre ha sido consciente del peligro que representaba para su supervivencia una atmósfera contaminada, como la creada, de modo natural, con ocasión de una erupción volcánica, o por los efectos de altas concentraciones de polen, así como la provocada por él mismo, desde la invención del fuego, al hacer arder un bosque o al encender una antorcha para iluminar el interior de las cavernas en las que vivía

En tiempos pasados, esta preocupación motivó la promulgación de varias disposiciones legislativas en diversos países, como en Francia, donde en el año 1382 Carlos VI prohibió mediante un edicto la emisión de gases malolientes, o en Inglaterra, en donde en el siglo XVII existía una ley que prohibía encender fuegos durante las sesiones en el Parlamento de Westminster, en Londres.

Como es natural, con el advenimiento de la era industrial, el problema de la contaminación atmosférica adquirió mucha mayor gravedad que en las épocas anteriores. Como todos sabemos, en la actualidad, este problema ha llegado a constituir un motivo de verdadera inquietud en muchas zonas del planeta, sobre todo en las grandes áreas urbanas e industriales.

Vamos a estudiar en este capítulo las características más importantes de este problema medioambiental, analizando con cierto detenimiento la naturaleza de los principales productos contaminantes del aire, sus fuentes de producción más frecuentes y las medidas de control que se pueden aplicar para corregir las posibles situaciones negativas.

3.2. Fuentes contaminantes del aire

Las fuentes emisoras de contaminantes atmosféricos son muy numerosas y se concentran principalmente en los entornos urbanos y en las áreas de elevada densidad industrial, aunque pueden existir también fuentes importantes en lugares alejados de los núcleos habitados, como es el caso de las centrales térmicas.

Los **procesos industriales** constituyen hoy en día una de los principales causas de contaminación del aire atmosférico. Según el tipo de actividad, las fuentes industriales se pueden clasificar en dos categorías, las productoras de energía y las productoras de bienes materiales. En el primer grupo se incluyen las plantas industriales de producción de energía eléctrica, de energía mecánica, de energía calorífica y de energía destructora (plantas utilizadas para la eliminación de ciertos materiales por incineración). En el segundo grupo se incluyen casi todas las industrias que, de una forma u otra, descargan en la atmósfera algunos componentes ajenos a ella. Estas emisiones se producen en instalaciones muy diversas, entre las que podemos mencionar sobre todo a las industrias del petróleo y petroquímicas, fertilizantes, cementos, metales, cosméticos, curtidos, textiles, industrias de la alimentación y productos químicos y farmacéuticos.

En todos estos casos, tres son los datos fundamentales a considerar con vistas a evaluar adecuadamente la contaminación potencial o el nivel de emisión que vaya a producirse en el medio ambiente atmosférico en una situación dada: la ubicación del foco de emisiones, la naturaleza de las emisiones y la cantidad de productos contaminantes vertida a la atmósfera.

Cuando tratamos de la contaminación atmosférica en los grandes **núcleos urbanos** es necesario tener muy en cuenta los tres factores determinantes de la misma que acabamos de mencionar. Cuando se procede a estudiar los problemas de la contaminación del aire en zonas urbanas, es conveniente distinguir, por un lado, aquellas ciudades que cuenten con grandes núcleos industriales de otras a las que cabe considerar como básicamente residenciales, es decir,

que no posean grandes instalaciones industriales o cuyas industrias sean de transformación, con emisiones de contaminantes escasas o prácticamente nulas.

En relación con las primeras, lo fundamental es obtener un inventario de las fuentes de emisión, así como la clasificación y cuantificación de los contaminantes emitidos y, al mismo tiempo, los valores de emisión de todos y cada uno de ellos, registrados en diversos puntos de la zona. Cuando dichos niveles de emisión para uno o varios contaminantes superan los admisibles, las autoridades deben exigir el estricto cumplimiento de las limitaciones de emisión. Cuando tal medida no sea suficiente, será necesario tomar las decisiones técnicas adecuadas para que no se rebasen los niveles máximos permitidos, llegando incluso, en los casos extremos, a decretar el cierre de determinadas industrias obsoletas o peligrosas.

En el caso de ciudades no industriales, también es necesario establecer, lo más aproximadamente posible, un inventario de las fuentes de emisión, aunque en este caso se tropieza con mayores dificultades, dado que los focos están muy dispersos, si exceptuamos los que puedan corresponder a las pocas y pequeñas industrias que puedan existir en esos entornos. El resto está constituido por los vehículos a motor y los generadores domésticos de calor (viviendas, comercios, etc.), es decir, hay que considerar un sinfín de focos múltiples y dispersos. Por lo tanto, en estos casos, es mucho más difícil emprender acciones específicas sobre cada uno de dichos focos o buscar algunas soluciones de carácter general. En estas ciudades, los **principales contaminantes** a considerar son el dióxido de carbono (procedente fundamentalmente de los motores de explosión), el dióxido de azufre (procedente de la combustión de carbón con un contenido más o menos elevado de este elemento), los óxidos de nitrógeno (originados por combinación del nitrógeno y oxígeno del aire a las altas temperaturas a las que tienen lugar los procesos de combustión), las partículas sólidas en suspensión (polvo y diferentes tipos de humos) y los hidrocarburos (combustiones incompletas de los productos utilizados por los vehículos de motor).

Nos parece necesario insistir especialmente en la repercusión que, para la calidad del aire de todos los países desarrollados tienen los vehículos de motor, circulando en gran número por sus ciudades y espacios abiertos. Por ejemplo, se ha estimado que, en los Estados Unidos, el tráfico rodado es el responsable de cerca de un 60% del peso total de los contaminantes emitidos a la atmósfera. En la ciudad de París, se considera que los automóviles contribuyen con un 50% al total de productos contaminantes existentes en el aire.

En particular, la existencia de altas concentraciones de óxidos de nitrógeno e hidrocarburos en el aire urbano es la causa de que, bajo los efectos de una fuerte insolación, se produzca en verano el típico "smog" fotoquímico que sufrimos en muchas de nuestras ciudades en esa época del año. Tal vez sea interesante recordar que el término "smog" no es más que el resultado de la fusión de dos palabras inglesas, *smoke* (humo) y *fog* (niebla).

La continuidad y permanencia de las fuentes de emisión en ciudades no industriales es la causa de que las concentraciones de productos contaminantes en el aire de estos medios urbanos varíen, casi exclusivamente, en función de las respectivas situaciones meteorológicas, de modo que los episodios más graves que puedan producirse en estos casos se repetirán ineludiblemente siempre que en la atmósfera se den unas condiciones dadas, condiciones que supongan un mínimo en la capacidad de aquélla para dispersar los productos en ella vertidos (anticiclones, inversiones térmicas). Por esta razón resulta tan importante para el control de los niveles de emisión disponer de una buena predicción meteorológica que, por ejemplo, permita recomendar a tiempo una reducción en los horarios de calefacción o en el tráfico de automóviles.

En el caso de zonas o ciudades industriales, la climatología puede contribuir y mucho a evitar que los correspondientes niveles de emisión alcancen valores indeseables. En estos casos, los correspondientes datos meteorológicos (basados en registros mantenidos a lo largo de mucho tiempo) se deben utilizar sobre todo para planificar adecuadamente el emplazamiento de las industrias particularmente

contaminantes (por ejemplo, este tipo de industrias se deberían situar siempre a sotavento del núcleo urbano respecto a la dirección dominante del viento). El hecho de no haber tenido en cuenta la climatología del lugar en el emplazamiento de polígonos industriales ha condenado a ciudades que fueron y pudieron seguir siendo relativamente limpias a sufrir fatalmente los efectos de la contaminación industrial, salvo que se tomen ciertas medidas correctoras drásticas, medidas cuyo elevado coste económico puede resultar prohibitivo en muchos casos.

3.3. Productos contaminantes y sus efectos

A continuación, vamos a desarrollar con mayor detenimiento algunas de las cuestiones expuestas con anterioridad. En particular, pretendemos estudiar algo más la naturaleza de las sustancias contaminantes presentes en la atmósfera.

Ante todo, habría que recordar que existen clasificados más de un centenar de productos contaminantes diferentes en la atmósfera. Los más importantes son el monóxido de carbono, el dióxido de carbono, el dióxido de azufre, los óxidos de nitrógeno, los hidrocarburos gaseosos, el plomo, los fluoruros, etc.

El contaminante gaseoso más abundante en el aire de la mayoría de las ciudades, si se excluye el dióxido de carbono (del que hablaremos luego), es el **monóxido de carbono** (CO). Este gas se produce en la combustión incompleta de los productos carbónicos, con orígenes tan diferentes como los vehículos de transporte, calefacción, procesos industriales, eliminación de residuos sólidos, o incendios forestales. La fuente principal de monóxido de carbono en las grandes ciudades son los vehículos de transporte (combustión incompleta de la gasolina de los automóviles). En las calles de algunas ciudades las concentraciones máximas de monóxido de carbono pueden llegar a ser de 100 mg/kg, mientras que en los túneles de las carreteras se han medido concentraciones de hasta 300 mg/kg.

Se ha estimado que la emisión global a la atmósfera de este contaminante, procedente de procesos de combustión, puede ascender

a cifras del orden de 10^8 toneladas cada año. Aunque esta cantidad se refiere a todo el mundo, hay que advertir que la mayor cuantía de emisión corresponde al hemisferio norte. Hasta hace algún tiempo, se creía que los procesos de combustión eran la principal fuente del monóxido de carbono en el aire, y que su formación natural era poco importante. Sin embargo, algunas investigaciones recientes han puesto de manifiesto que la combustión sólo origina el 10% del total de este contaminante, mientras que el resto procede de dos fuentes naturales, las reacciones atmosféricas y la emisión de los océanos.

Es muy probable que el principal origen del monóxido de carbono (CO) en la atmósfera sea la oxidación del metano (CH_4) y, puesto que todo el metano que pueda existir en la atmósfera se produce por descomposición anaerobia de la materia orgánica, cabe afirmar que estos procesos constituyen una fuente natural de monóxido de carbono. Parece ser que en el proceso de oxidación mencionado juega un papel importante la descomposición fotoquímica del ozono y la posterior reacción del oxígeno atómico con el vapor de agua de la atmósfera.

La segunda gran fuente natural de monóxido de carbono en la atmósfera es la capa superficial de los océanos. El análisis de muestras de agua de la superficie de zonas centrales oceánicas ha puesto de manifiesto la presencia de CO en una concentración noventa veces superior a la calculada a partir de su solubilidad, a la presión parcial de dicho gas en la atmósfera circundante. Este hecho entraña que el monóxido de carbono se produce en la capa superficial oceánica, de donde se escapa a la atmósfera. Se ha observado también que la concentración de CO en las aguas superficiales aumenta en presencia de la luz solar, lo que sugiere dos posibles mecanismos para su formación, la oxidación fotoquímica de la materia orgánica o la oxidación biológica por los organismos marinos, si bien esta última parece ser la más probable.

Las medidas realizadas con la técnica del ^{14}C han demostrado que el tiempo de permanencia del monóxido de carbono en la atmósfera

es del orden de 0'2 años. Es importante señalar que esta técnica se basa en el hecho de que los neutrones de la radiación cósmica producen, a expensas del nitrógeno de la alta atmósfera, átomos de ^{14}C que reaccionan con el oxígeno para formar ^{14}CO. De forma natural, el monóxido de carbono reacciona con el oxígeno atómico del aire (producido por descomposición fotoquímica del oxígeno molecular) y se convierte en dióxido de carbono. El monóxido de carbono presente en la troposfera se puede eliminar a través de mecanismos biológicos (con intervención de plantas superiores y, sobre todo, a través de hongos en el suelo).

Recordemos también que la presencia de cantidades relativamente altas de monóxido de carbono en el aire es sumamente peligrosa, dado que este gas se combina con la hemoglobina de la sangre. Por desgracia, los envenenamientos relacionados con el uso de braseros domésticos en ambientes mal ventilados son todavía un hecho bastante frecuente en nuestra sociedad.

El **dióxido de carbono** o anhídrido carbónico (CO_2) es un componente natural de la atmósfera que interviene en el ciclo del carbono (fotosíntesis), ya estudiado anteriormente. La atmósfera actúa como una reserva amortiguadora pasiva del ciclo del carbono, aunque su capacidad en este sentido es limitada. El océano constituye una reserva sesenta veces mayor que la atmósfera. La casi totalidad del carbono que interviene en el ciclo se encuentra en los sedimentos marinos y terrestres y, en realidad, se incorpora con gran lentitud a dicha reserva.

Sin embargo, el contenido natural de dióxido de carbono en la atmósfera puede aumentar peligrosamente como resultado de la combustión de carbón, hidrocarburos y productos orgánicos en la producción de energía, calefacción y transporte. Las cantidades emitidas a la atmósfera a través de este proceso son muy importantes. En particular, se considera que la emisión de este contaminante atmosférico, derivada fundamentalmente de los procesos de combustión, puede llegar a tener un efecto muy negativo sobre el

clima mundial, dando lugar a un recalentamiento generalizado de la atmósfera terrestre (efecto invernadero), un fenómeno que ya hemos estudiado en el capítulo anterior.

Dada la enorme trascendencia de este problema, vamos a insistir un poco más sobre él, aportando algunos datos concretos. Según unas estimaciones de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), referidas al año 1995, la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera por parte de España, procedente de procesos relacionados con la producción de energía, superó los 240 millones de toneladas anuales, una cifra por debajo de la que corresponde a Alemania (880 millones de toneladas), Reino Unido (560 millones de toneladas), Italia (420 millones de toneladas) o Francia (360 millones de toneladas), por mencionar tan sólo a los países europeos más industrializados.

Las enormes cifras que acabamos de aportar se entienden perfectamente si tenemos en cuenta que una sola central de producción de energía eléctrica, con una potencia nominal de 1.000 Megawatios, que utilice carbón como combustible, vierte anualmente a la atmósfera más de 7 millones de toneladas de dióxido de carbono. A este importante vertido de dióxido de carbono a la atmósfera hay que añadir unas 40.000 toneladas de dióxido de azufre y 10.000 toneladas de óxidos de nitrógeno, otros gases contaminantes de los que luego hablaremos.

La misma OCDE estimó también que, en el citado año 1995, la cantidad total de las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera en todo el mundo, procedentes de procesos de combustión, ascendió a más de 2.10^{10} toneladas.

Si nos preocupamos de los efectos producidos por la emisión de estas ingentes cantidades de dióxido de carbono a la atmósfera en relación con el efecto invernadero, no resulta nada tranquilizante conocer el dato de que, además del dióxido de carbono, se producen igualmente emisiones muy importantes de otros gases contaminantes significativos. Por ejemplo, según estimaciones realizadas por la OCDE para el año 1995, en España se emiten cada año más de 2 millones

de toneladas anuales de gas metano (CH_4) y más de 90.000 toneladas de óxido de dinitrógeno (N_2O), dos gases que juegan también un papel muy importante en dicho efecto invernadero.

La presencia de **dióxido de azufre** o anhídrido sulfuroso (SO_2) en el aire está relacionada con la combustión de carbones o de aceites minerales utilizados en la producción de energía (centrales térmicas), en la industria y en la calefacción doméstica. El carbón y el fuel pueden llegar a contener hasta un 3% de azufre en su composición. En zonas próximas a grandes fuentes de contaminación, las concentraciones de dióxido de azufre en el aire pueden alcanzar valores tan altos como los 3.000 $\mu g/m^3$, aunque sus concentraciones usuales en zonas urbanas suelen ser mucho menores (del orden de 1 $\mu g/m^3$). Se ha estimado que la emisión global a la atmósfera de este contaminante es del orden de 10^8 toneladas/año. El dióxido de azufre es uno de los contaminantes más habituales y representativos del aire de nuestras ciudades.

La presencia de dióxido de azufre en la atmósfera resulta muy perjudicial para el medio ambiente. Está demostrado que incluso la presencia de pequeñas concentraciones de dióxido de azufre en la atmósfera daña seriamente la vegetación y agrava las enfermedades respiratorias en las personas. El principal peligro que presenta el dióxido de azufre está relacionado con las reacciones químicas que bajo ciertas condiciones (humedad ambiente) transforman el dióxido en trióxido o anhídrido sulfúrico (SO_3), dando lugar posteriormente a la formación de aerosoles de ácido sulfúrico (SO_4H_2). Los efectos devastadores de este ácido sobre las edificaciones y monumentos de nuestras ciudades (calizas y mármoles), los metales (corrosión del hierro y aluminio) y deterioro del papel (observable en los libros conservados en nuestras bibliotecas) son bien conocidos por todos.

Los aerosoles de ácido sulfúrico a los que nos acabamos de referir son también los causantes del fenómeno conocido con el nombre de "smog", del que ya hemos hablado anteriormente. En este sentido, es tristemente célebre el "smog" del Valle del Mosa (Bélgica) en 1930 y, sobre todo, el que se produjo en Londres en Diciembre de 1952,

cuando, como resultado de la conjunción de varios factores ambientales y climatológicos, los contaminantes sulfurados alcanzaron en la capital del Reino Unido unas cifras muy elevadas, de hasta 10 veces por encima del contenido normal. Se ha estimado que esta situación excepcional provocó más de 4.000 defunciones.

Los **óxidos de nitrógeno** (NO_x) se producen por oxidación del nitrógeno atmosférico a temperaturas elevadas. Este proceso tiene lugar sobre todo en los motores de combustión interna, hornos y quemadores, así como en diferentes procesos industriales y en los incendios forestales.

En particular, los óxidos de nitrógeno desempeñan un papel muy importante en la formación de la niebla observada por primera vez en la ciudad de Los Ángeles y que actualmente se conoce como niebla fotoquímica. Este fenómeno se origina por reacciones fotoquímicas provocadas por la acción de la radiación solar sobre los gases producidos por los vehículos de motor.

Vale la pena hacer un inciso para recordar que la geografía de la zona de Los Ángeles se ha comparado en ocasiones a un gran matraz de reacción, cuyas paredes son el fondo del valle y las montañas que forman tres de sus lados; el cuarto lado del valle está abierto al océano, si bien los vientos dominantes del mar cierran de forma efectiva esta pared. Las frecuentes inversiones de temperaturas a una altura de 200-500 metros, actúan como una tapadera de dicho matraz. Los reactivos de este proceso son los gases de combustión emitidos por una ingente cantidad de vehículos de motor. La energía necesaria para que se produzca la reacción en cuestión proviene de la radiación solar (es un hecho bien conocido el elevado número de horas de insolación en esta ciudad).

Para ampliar un tanto esta cuestión, cabría señalar que, en realidad, el nitrógeno forma varios óxidos en sus distintos estados de oxidación, de los que solamente el óxido de dinitrógeno (N_2O), el óxido de nitrógeno (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO_2) aparecen en concentraciones apreciables en el aire contaminado, dado que sólo

ellos son estables. La principal fuente del óxido de dinitrógeno es el suelo, donde, bajo unas condiciones adecuadas, los microorganismos provocan la degradación del nitrógeno proteico para convertirlo finalmente en nitrógeno y óxido de dinitrógeno. Aunque este compuesto no está considerado propiamente como contaminante del aire, su importancia en este sentido radica en su fotodisociación a óxido de nitrógeno, que sí es un gas contaminante de cierta importancia.

El óxido de nitrógeno se forma en los gases de combustión (a temperatura elevada) a expensas del nitrógeno y oxígeno del aire utilizado para quemar el combustible. Cuanto mayor es la temperatura alcanzada en la combustión, tanto mayor es la producción de óxido de nitrógeno. Este hecho explica que, aunque el óxido de nitrógeno se puede originar también en la combustión de carbón o gas natural, su fuente más importante son los motores de combustión interna, dado que es en ellos donde se alcanzan las temperaturas más elevadas.

El dióxido de nitrógeno se origina también en todas estas combustiones. De hecho, en presencia del oxígeno del aire, el óxido de nitrógeno y el dióxido de nitrógeno están en equilibrio. Cabe recordar que el dióxido de nitrógeno absorbe radiación solar en la región del ultravioleta y se disocia en NO y oxígeno atómico. En consecuencia, el resultado final de este proceso es la producción de ozono.

Es muy importante destacar que el monóxido de carbono, los óxidos de nitrógeno y los **hidrocarburos gaseosos** liberados en la combustión incompleta de los hidrocarburos líquidos son los tres agentes contaminantes más frecuentes en la atmósfera de las grandes ciudades, dado que en este medio su fuente más significativa son los gases de combustión emitidos por los automóviles. Cabe recordar, que, en condiciones normales, la concentración de óxidos de nitrógeno en la atmósfera es del orden de 0’1 partes por millón. En cambio, en situaciones de tráfico intenso (tan frecuentes en la actualidad en muchas de nuestras zonas urbanas), esta cifra se puede multiplicar por veinte.

Por supuesto, las concentraciones de estas sustancias en dichos gases de combustión varían considerablemente según el estado y las

condiciones de uso de los vehículos. Se ha demostrado igualmente que tales concentraciones dependen mucho del régimen de funcionamiento del motor. Por ejemplo, como resultado de numerosos ensayos realizados con muchos tipos de vehículos y en diferentes países, circulando por zonas urbanas a velocidad constante, se ha observado que la concentración media de monóxido de carbono en los gases de combustión de los vehículos a motor es del orden de 20.000 partes por millón, en tanto que, cuando esos mismos vehículos se encuentran parados, con el motor en marcha, dicha concentración es del orden de 60.000 partes por millón.

Estas cifras resultan aterradoras cuando se contemplan a la luz del parque automovilístico en el mundo, especialmente en los países más desarrollados. Cabe recordar que, en España, un país que se incorporó bastante tardíamente al proceso de intensa motorización característico de otros países de nuestro entorno, existe actualmente un parque automovilístico que cuenta aproximadamente con un vehículo de motor por cada dos habitantes.

Entre los contaminantes minerales, cuya lista es muy extensa, cabe citar en primer lugar al **flúor** y todos sus derivados. Este producto contaminante se origina, fundamentalmente, en determinadas industrias (relacionadas con la producción de aluminio, acero y abonos fosfatados, o con la fabricación de ladrillos, entre otras). En mayor o menor cantidad, el flúor se produce también en la combustión de carbón. Este contaminante no sólo está presente en el aire (a nivel local), sino que se puede encontrar también en el agua, suelo y alimentos.

Vale la pena reseñar que las concentraciones de este gas medidas en el aire de algunas ciudades varían entre 0’001 y 0’02 ppm. Este dato resulta muy significativo, dado que, para estas concentraciones, se han evidenciado daños sobre la vegetación y corrosión de metales (materiales de construcción).

También es especialmente digno de mención el **plomo**, cuya presencia en el aire está relacionada con los vehículos de motor, en virtud de la utilización de ciertos compuestos orgánicos de este me-

tal que se añaden a la gasolina para impedir detonaciones. En cada litro de gasolina puede haber hasta 1 gramo de derivados de plomo. Algunos estudios realizados sobre esta cuestión hace ya algunos años llegaron a la conclusión de que, sólo en los Estados Unidos, se descargan anualmente en la atmósfera unas 200.000 toneladas de plomo. Como sabemos, este tipo de gasolina "con plomo" ya ha dejado de utilizarse actualmente en todos los países de la Unión Europea.

Otras fuentes de este elemento contaminante las tenemos en la fundición de este metal, en la combustión de combustibles fósiles, en algunas industrias químicas, en ciertos plaguicidas, y en la fabricación y uso de pinturas de plomo. La presencia de este contaminante se ha detectado en el aire, en el agua y en los alimentos (tanto a nivel local, como regional y global). Concretamente, en zonas urbanas muy contaminadas, la concentración de plomo en el aire puede llegar a alcanzar valores de hasta 20 ó 30 $\mu g/m^3$.

Nos parece interesante mencionar aquí que, en una investigación realizada hace ya algunos años en los hielos de Groenlandia (analizando la presencia de este elemento en las capas a diferentes profundidades), se puso de manifiesto con toda claridad el aumento progresivo de la concentración de plomo en la atmósfera a lo largo del tiempo. Por ejemplo, en 1800, la presencia de plomo en estos hielos ascendía a unos 40 $\mu g/kg$. En 1900, dicha cantidad era de 90 $\mu g/kg$. En la capa correspondiente a 1950 se encontraron 180 $\mu g/kg$. Finalmente, en el año 2000, esa cantidad ha llegado ya a los 500 $\mu g/kg$.

Un capítulo aparte dentro de esta relación de contaminantes atmosféricos corresponde a los **aerosoles**. Un aerosol atmosférico se define como la dispersión de un sólido o un líquido en el aire. La presencia en la atmósfera de una amplia variedad de estos aerosoles (polvo, humo, cenizas, pequeñas gotas de agua con algún ácido o sales solubles) puede modificar negativamente sus propiedades. La importancia cuantitativa de este tipo de contaminación del aire puede llegar a ser muy grande. Se ha estimado, por ejemplo, que la cantidad de partículas de polvo depositadas en la ciudad de Londres es del orden de 300 toneladas/km^2/año.

La presencia de partículas sólidas en suspensión en la atmósfera es el resultado de la contribución de muy distintas fuentes, por lo que dichas partículas presentan una gran diversidad en cuanto a su composición química, tamaño y forma, y son por lo general un material heterogéneo. Atendiendo a su origen, estas partículas pueden ser de carácter antropogénico (es decir, producidas directa o indirectamente por la actividad humana), o natural. Las partículas sólidas son uno de los contaminantes atmosféricos más frecuentes, no sólo en las áreas urbanas o industrializadas, sino en lugares remotos o muy alejados de la influencia directa de fuentes emisoras, en los que por distintos procesos de formación local (caso de la resuspensión de polvo natural) o transporte desde otras áreas, se pueden registrar niveles de concentración en aire nocivos o perjudiciales para la salud humana.

La gran diversidad de características de los aerosoles atmosféricos, en cuanto a composición, forma y tamaño, hacen verdaderamente difícil su control, quizás incluso más que para algunos contaminantes gaseosos. La naturaleza de la fuente (natural o antropogénica), así como la discriminación entre los posibles orígenes dentro de cada uno de estos dos grupos, requiere siempre un detallado estudio, en el que interviene también el conocimiento de factores de tipo local, tanto externos (meteorológicos y climatológicos) como internos (rutas probables de transformación química). Todos estos elementos configuran las características del aerosol atmosférico que puede encontrarse en una determinada zona.

Hasta hace relativamente poco tiempo, la contaminación por partículas atmosféricas se refería sencillamente a partículas totales en suspensión (TSP), y se solía asociar a los valores de otro contaminante del aire (dióxido de azufre) por su relación entre ambos en los procesos de combustión industrial y doméstica basados en la utilización de combustibles fósiles ricos en azufre. Sin embargo, la creciente preocupación por la salud humana ha introducido el concepto de riesgo asociado a estas partículas, basado en el grado de penetrabilidad de las mismas en el sistema respiratorio. Este grado

de penetrabilidad depende del tamaño de la partícula. En general, sólo las partículas menores de 10 micras penetran en el sistema respiratorio (las de tamaño inferior a 2'5 micras pueden penetrar hasta sus rincones más profundos y, por ello, se consideran de alto riesgo); las superiores a este tamaño tienen pocas posibilidades de penetrar en dicho sistema, dado que suelen quedar retenidas en las fosas nasales.

La Directiva Europea sobre Calidad del Aire (30/CEE/1999) establece por primera vez valores límites diarios y anuales para las partículas de tamaño inferior a 10 micras. Cabe señalar que en esta reciente Directiva se establecen también nuevos valores límite para otros contaminantes del aire, tales como el dióxido de azufre, los óxidos de nitrógeno y el plomo. A partir del año 2005, esta Directiva europea es de obligado cumplimiento para todos los países miembros de la Unión.

Los resultados encontrados en algunos trabajos realizados en nuestro país sobre este tema han demostrado que, dadas sus características geográficas, los procesos de generación de aerosoles de origen natural (polvo) y de transporte procedente de regiones áridas y desérticas, pueden contribuir significativamente a los niveles registrados, que superan con relativa frecuencia los límites máximos establecidos en la citada Directiva. En particular, en nuestra zona mediterránea (Comunidad Valenciana), la penetración de vientos cargados de polvo procedente del Sahara es un fenómeno bien conocido por todos.

Los efectos de la presencia de aerosoles en el aire son muy variados. Por ejemplo, los procesos de absorción y dispersión de la luz producidos por aerosoles de humo o cenizas afectan notablemente a la visibilidad (este fenómeno se puede observar muy bien en las zonas más próximas a un gran incendio forestal). La presencia de partículas sólidas en la atmósfera puede producir un aumento en la nubosidad y en la frecuencia de las nieblas. En este caso, los aerosoles actúan como núcleos de condensación de vapor de agua (bajo determinadas condiciones, este proceso puede favorecer la producción de lluvia).

La adsorción gaseosa sobre un aerosol sólido puede constituir un importante medio de introducción de gases tóxicos solubles en los pulmones de las personas que respiran ese aire contaminado, con efectos mucho más intensos que los del propio gas. El depósito de aerosoles de sólidos, sobre todo de hollín, en las calles y edificios de nuestras ciudades es una forma de contaminación muy frecuente, con importantes efectos estéticos y con repercusiones económicas importantes (limpieza de monumentos y edificios, baldeo de las vías públicas, etc.). Como es bien sabido, el depósito de neblinas ácidas (ácido sulfúrico) acelera la corrosión de los metales y deteriora los edificios y monumentos. La bruma de hidrocarburos cancerígenos generados en procesos de combustión produce claros efectos negativos sobre la salud.

3.4. La calidad del aire urbano

Como consecuencia de la gran capacidad de absorción, transformación y transporte de la atmósfera, el aire, y sobre todo el aire urbano, contiene una mezcla mal definida de diversos contaminantes lanzados a la atmósfera en virtud de muy diferentes procesos. De todo ello ya nos hemos ocupado en los apartados anteriores. Sin embargo, en la atmósfera existen, además, otros contaminantes secundarios, no menos importantes que los anteriores, que son creados en su propio seno, y, por si esto fuera poco, a menudo tienen lugar interacciones sinérgicas o de potenciación mutua entre algunos contaminantes.

En consecuencia, no resulta nada fácil, ni sería representativo, expresar la polución del aire por el simple resultado de un **análisis químico** que exprese la concentración correspondiente a cada sustancia ajena a lo que es su composición normal. Los números en cuestión serían poco elocuentes, sobre todo si tenemos en cuenta que una misma concentración de dos contaminantes distintos puede producir efectos muy diferentes, por lo que respecta a su toxicidad, peligrosidad específica o simple sensación de desagrado.

Por ejemplo, de los 300 millones de toneladas de contaminantes gaseosos lanzados cada año a la atmósfera en los Estados Unidos,

160 lo son en forma de monóxido de carbono (54% del total) y tan sólo 36 en forma de anhídrido sulfuroso (12%). Pues bien, se ha estimado que la contribución del primero al deterioro de la calidad del aire es del 4%, mientras que la del segundo es del 27%.

En consecuencia, no es de extrañar que el hombre de la calle, en lugar de cifras que expresen simplemente el resultado de un análisis, lo que desea conocer es cuán deficiente es la **calidad del aire** que respira cotidianamente. En otras palabras, lo que desea es disponer de un índice global de calidad del aire que le permita juzgar por sí mismo, por ejemplo, en qué sentido evoluciona dicha calidad con el tiempo y hasta qué punto las medidas de control que pueda adoptar una cierta Administración son eficaces en el camino de mejorar dicha calidad.

El primer paso para obtener un índice global de calidad del aire consiste en establecer, para cada contaminante, un valor estándar que corresponda a aquella concentración de cada uno de ellos que produce efectos equivalentes. Como es natural, esta decisión no es fácil, dado que cada contaminante produce efectos diferentes. Por ejemplo, las partículas sólidas en suspensión en el aire, además de perjudicar el sistema respiratorio de las personas, disminuyen la visibilidad y afectan muy negativamente a los valores estéticos de monumentos y viviendas. El anhídrido sulfuroso, aparte de su característico olor a huevos podridos, afecta a los bronquios y corroe los metales. Los oxidantes (agentes contaminantes del aire producidos por reacciones fotoquímicas de óxidos de nitrógeno con hidrocarburos, en las que se origina ozono, óxidos de nitrógeno, radicales libres, etc.) producen irritación en los ojos y destruyen ciertos tipos de vegetación.

En consecuencia, cuando se escogen los citados valores estándar hay que tener en cuenta, por lo menos, tres tipos de efectos nocivos diferentes: sanitarios, económicos y estéticos. Estos efectos deben contemplarse desde el punto de vista colectivo y no individual. Evidentemente, los valores estándar ambientales o de inmisión a los que nos estamos refiriendo ahora no deben confundirse con los de

emisiones (que son la causa de los valores de inmisión) y que corresponden a criterios relativos a los focos, dado que ahora lo que tratamos de expresar es lo que realmente se observa en el aire que respiramos, cuando nos situamos en un lugar generalmente alejado de los focos emisores.

Los llamados **niveles estándar de calidad** suelen definirse como aquellas concentraciones por encima de las cuales se observan efectos adversos o nocivos de cualquier tipo, es decir, que afectan a la salud, en el sentido amplio que la Organización Mundial de la Salud da a este concepto (bienestar físico, psíquico y social). Lógicamente, podría parecer que dichos niveles deberían ser los mismos en todos los países y establecerse para todos los contaminantes conocidos. Sin embargo, dado que nuestro conocimiento actual sobre los efectos sobre la salud de dichos contaminantes todavía no es completo, la legislación de los diferentes países muestra notables diferencias entre sí. En este sentido, tampoco podemos olvidar que la sensibilidad de las correspondientes Administraciones (y, en última instancia, de sus ciudadanos) respecto a los temas medioambientales tampoco es uniforme en todo el mundo, ni mucho menos.

A título indicativo, mencionaremos que la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) establece los siguientes niveles estándar medios para los cinco contaminantes urbanos más significativos (todos ellos expresados en microgramos por metro cúbico cada veinticuatro horas): productos oxidantes 60, partículas materiales 150, óxidos de azufre 270, óxidos de nitrógeno 400 y monóxido de carbono 8.000. Estos valores límite no se deberían superar más de una vez al año. Los valores establecidos en la legislación española son del mismo orden de magnitud, aunque un tanto más elevados.

En general, los efectos nocivos de cada agente contaminante se expresan no tanto por su concentración en la atmósfera, sino por la relación entre dicha concentración y los citados niveles estándar. Sin embargo, para tener una idea correcta sobre la calidad del aire hay que tener en cuenta los efectos conjuntos de todos sus contaminantes, al menos de los más importantes, dado que los efectos perjudiciales

de cada uno de ellos son aditivos dentro de ese conjunto. Por esta razón, se ha propuesto la utilización de índices compuestos que, de una forma u otra, contemplen los posibles efectos sinérgicos o de mutua potenciación de todos los agentes contaminantes presentes en el aire.

Con este objeto, muchas ciudades americanas utilizan un índice conocido con el nombre de **ORAQUI** (iniciales de Oak Ridge Air Quality Index), que no es otra cosa que la suma ponderada de la contribución de los cinco contaminantes más importantes del aire atmosférico, introducida en una ecuación matemática sencilla desarrollada con dicho fin. En esta ecuación aparecen unos factores numéricos elegidos de forma tal que la ecuación en cuestión conduzca a un valor igual a 10 cuando el aire esté limpio y puro (en este caso, las concentraciones de los diferentes contaminantes corresponden a unos determinados valores de fondo, perfectamente establecidos en las normas). La ecuación proporciona un valor de 100 cuando el aire se considera muy contaminado, es decir, cuando los valores de las concentraciones de los cinco contaminantes considerados igualan los índices estándar antes mencionados (límites máximos permisibles). En consecuencia, en condiciones "normales", el valor del índice ORAQUI estará comprendido entre 10 y 100. En casos excepcionales, este índice puede superar el valor 100.

La utilización de este índice compuesto o global para medir la calidad del aire en zonas urbanas permitió realizar estudios comparativos sobre esta cuestión en distintas ciudades americanas, así como evaluar las contribuciones parciales de cada contaminante en el índice compuesto. Así, por ejemplo, Chicago, con un índice 90, tiene su problema más grave en el monóxido de carbono (33) y en los óxidos de azufre (27). Los Ángeles alcanza un índice de 88, debido sobre todo a la elevada contribución de productos oxidantes en el aire (32); estos productos son los causantes del "smog" fotoquímico que suele afectar a esta ciudad, producido como consecuencia de su fuerte insolación. Filadelfia, con un índice de 57, tiene su principal problema en las partículas materiales (17).

La aplicación del índice ORAQUI a algunas ciudades españolas conduce a resultados sorprendentes. Por ejemplo, en el caso de Madrid, los valores medios anuales se acercan a 100 o superan incluso ampliamente este valor. Los valores más elevados corresponden a los meses invernales, una época del año en la que son relativamente frecuentes las condiciones climatológicas de estancamiento y se producen al mismo tiempo elevados niveles de contaminación del aire debidos a un uso generalizado de las calefacciones.

En términos generales, el binomio formado por el monóxido de carbono y los productos oxidantes (hidrocarburos) contribuye con más del 50% al problema de la polución urbana. Como ya hemos indicado repetidamente, el origen de estos contaminantes es la intensa circulación rodada existente en estos medios.

3.5. Condiciones climatológicas y contaminación

Es un hecho bien conocido que las condiciones climatológicas influyen de modo determinante en la distribución de la contaminación atmosférica.

La Organización Meteorológica Mundial estableció hace ya bastante tiempo que para cualquier distribución de los focos de contaminación, la difusión de las impurezas está gobernada por los cambios de viento y de temperatura existentes en la capa de aire más inmediata sobre una determinada zona geográfica. Esta capa de aire se conoce como "capa ambiental".

De los diferentes factores meteorológicos a considerar, probablemente el **viento** es el más importante. Téngase en cuenta que el viento puede dispersar los agentes contaminantes emitidos en una zona determinada e incluso transportarlos hasta grandes distancias de su zona de emisión.

Sin embargo, como es bien sabido, la dirección y velocidad de ese viento dependen de los cambios que experimenta la **temperatura**. En consecuencia, el conocimiento de la temperatura es fundamental a la hora de estudiar o predecir la evolución de la contaminación atmosférica de una cierta zona.

Otros factores meteorológicos influyen asimismo en la contaminación de la atmósfera. Concretamente, la **radiación solar** es el agente natural responsable de la formación del "smog" (reacciones fotoquímicas), una especie de neblina que se produce, con mayor o menor frecuencia, en muchas grandes ciudades.

La **humedad** juega un papel fundamental en la transformación del trióxido de azufre en ácido sulfúrico, un producto de efectos corrosivos devastadores. La humedad elevada y la presencia de núcleos de condensación (contaminación del aire) favorecen la formación de nieblas más o menos intensas. Las características nieblas londinenses, cuya imagen resulta familiar en muchas películas cuya acción se sitúa en tiempos más o menos pasados, tenían este origen. Afortunadamente, esta imagen tan peculiar ya no es tan frecuente en la actualidad.

El conocimiento de todos estos factores, desde el punto de vista de la microclimatología, es indispensable para el estudio de los niveles de polución de la capa ambiental de los núcleos urbanos e industriales. De ahí que para el estudio de la difusión de contaminantes en un entorno urbano (por ejemplo) sea necesario un perfecto conocimiento de climatología existente en ese lugar, conocimiento que se consigue mediante la existencia de una red de estaciones distribuidas a lo largo y a lo ancho del espacio a estudiar, que funcione paralelamente a las que miden regularmente las concentraciones de los diversos agentes contaminantes.

La meteorología aporta, de día en día, una mayor ayuda en la lucha contra la contaminación atmosférica, mediante el conocimiento de los períodos de calma o de cambios generadores de contaminaciones y en el terreno de la ordenación del suelo y de la planificación urbanística, evitando los emplazamientos urbanos en zonas que por su situación se verían expuestos a la polución (por ejemplo, la originada por una zona industrial próxima).

3.6. La contaminación del aire y la salud

Sin duda alguna, el efecto de la contaminación ambiental sobre la salud de las personas es un aspecto de enorme importancia en

cualquier exposición sobre el medio ambiente. A la vista de la amplia variedad de agentes medioambientales que hay que considerar en ese contexto (contaminación del aire, contaminación de las aguas, contaminación acústica, etc.), no resulta sorprendente el hecho de que los efectos de estos agentes sobre la salud sean también enormemente variados. En consecuencia, y por razones metodológicas, los correspondientes efectos serán tratados por separado al estudiar cada uno de estos agentes, tras un análisis de sus características más importantes.

Sin embargo, y para facilitar dicha exposición, nos ha parecido conveniente presentar en este apartado, a modo de introducción sobre esta cuestión, algunas consideraciones básicas sobre el tema de la **evaluación de riesgos ambientales**, que consideramos de interés general.

Para empezar, es necesario recordar que la relación existente entre el medio ambiente y la salud se conoce desde hace mucho tiempo. La medicina hipocrática ya consideraba que el aire y el agua eran elementos sumamente importantes para la aparición de muchas enfermedades. En el mismo sentido, cabe recordar también que durante el siglo XIX se desarrollaron en Europa los denominados movimientos sanitaristas, basados en la idea de que el hacinamiento urbano, la falta de agua potable, el mal estado de los sistemas de saneamiento o el consumo de alimentos en malas condiciones eran factores que, en tiempos pasados, habían facilitado la expansión de determinadas enfermedades epidémicas.

En la actualidad, es un hecho admitido por todos que existe un vínculo muy estrecho entre medio ambiente y salud. Los resultados de los numerosos estudios realizados al respecto así lo demuestran. En muchos aspectos, la salud de una persona es, frecuentemente, el resultado de su interacción con el medio ambiente que lo rodea. Es importante recordar de nuevo que, de acuerdo con la definición de la Organización Mundial de la Salud, la **salud humana** debe considerarse como un estado de completo bienestar físico, mental

y social, concepto que va mucho más allá de lo que supondría una referencia a la presencia o ausencia de enfermedades, en el sentido más convencional.

La estrecha relación que existe entre las personas y el medio en que viven se comprende muy bien en el caso de las ciudades. Desde el momento en que se produce el auge de las ciudades, a lo largo del siglo XIX, se es consciente de que la planificación urbanística de estos espacios está íntimamente relacionada con la salud pública de sus habitantes. Por citar casos muy próximos a todos nosotros, la historia reciente de las grandes ciudades valencianas nos pone de manifiesto con extraordinaria claridad la existencia de una relación muy estrecha entre las obras de infraestructura sanitaria (red de agua potable, saneamiento, eliminación de residuos, abastecimiento de alimentos, etc.) y la incidencia de determinadas enfermedades (tales como el cólera, la hepatitis o la fiebre tifoidea, en el pasado). También las condiciones de las viviendas, de los edificios y de los espacios públicos tienen mucho que ver con la facilidad con que se transmiten algunas enfermedades por vía respiratoria como, por ejemplo, la tuberculosis.

Pero hay más aún. De la misma forma que hay personas enfermas, también podemos hablar de comunidades enfermas. El estado de salud de una comunidad, es decir, su estado de bienestar, no es una constante. El diagnóstico de este estado es una de las tareas fundamentales de lo que ahora llamamos Salud Pública. Cuando una comunidad está organizada aumenta su confianza en la capacidad que posee para responder con eficacia a las amenazas que pueden afectar a sus miembros. En este sentido, los riesgos ambientales son un tipo importante de tales amenazas (aunque, por supuesto, no la única). Las condiciones de las viviendas, la contaminación del agua destinada al consumo, la contaminación del aire o el ruido ambiental urbano pueden afectar, de forma diferente, a la salud de sus habitantes. Bajo condiciones extremas, el estado de salud de una comunidad se manifiesta claramente a través de la enfermedad o incluso la muerte de un número más o menos elevado de sus miembros, pero,

en la mayoría de los casos, el impacto del medio ambiente sobre la salud de los residentes urbanos es sumamente sutil y difícil de identificar y evaluar. Sin embargo, en otras ocasiones, el hecho de que una cierta comunidad pueda estar sufriendo las consecuencias de unas condiciones ambientales negativas puede resultar totalmente evidente, incluso a los ojos de un observador casual.

Como es natural, en un principio, la preocupación de los expertos sobre los **riesgos ambientales** se limitaba a aquellos factores más fácilmente identificables como perjudiciales para la salud. Sin embargo, a medida que iba aumentando el nivel de conocimiento general sobre el medio ambiente (naturaleza, causas, etc.) se iba reconociendo también el papel de los diferentes factores medioambientales en relación con la salud humana.

Durante mucho tiempo, la medicina tradicional en general, y la salud pública en particular, se centraban, sobre todo, en lo que podríamos llamar microambiente (que sólo tiene en cuenta las condiciones medioambientales más inmediatas de una determinada comunidad). No obstante, durante estas últimas décadas, un mejor conocimiento de la naturaleza global de nuestro medio ambiente ha llevado a la constatación de que la calidad de "nuestro" medio ambiente puede resultar también seriamente afectada por lo que acontece, en ocasiones, a miles de kilómetros de nosotros. Sin minusvalorar la importancia que las condiciones ambientales más próximas a una comunidad tienen para la salud de sus miembros, no deberíamos olvidar nunca que, en muchos aspectos, la contaminación ambiental no reconoce fronteras y que los efectos de un desastre ambiental importante se pueden poner también de manifiesto, con mayor o menor gravedad, en zonas muy alejadas del lugar en el que se ha producido.

La mejora de las condiciones sociales y económicas de una colectividad es una preocupación común para todos los países del mundo, sin excepción. En principio, nadie discute que el desarrollo social y económico de las respectivas sociedades es esencial para alcanzar esa meta. A lo largo de la década de los años sesenta, la economía mundial creció a un ritmo superior al 5% anual (por supuesto, con fuertes diferencias regionales). Sin embargo, este crecimiento supuso

también un alto coste, materializado por la degradación del medio ambiente (en principio, una consecuencia no esperada) que acompañó dicho crecimiento y que, sin duda, supuso una agresión importante, a corto o largo plazo, para la salud de millones de personas en todo el mundo.

Los riesgos clásicos de la **época preindustrial** incluían el consumo de agua contaminada, el saneamiento deficiente, la falta de higiene en la manipulación de alimentos, la contaminación del aire interior de las viviendas como consecuencia del humo originado en la combustión de carbón o leña, y los accidentes laborales en la agricultura, construcción, minería o pesca. Gradualmente, muchos de estos riesgos tradicionales han sido sustituidos por otros riesgos de carácter más moderno, tales como la contaminación atmosférica urbana, el uso de nuevos compuestos químicos en la industria, la utilización de plaguicidas en la agricultura, el ruido ambiental, los riesgos derivados de la eliminación de residuos, la exposición accidental o cotidiana a diferentes radiaciones, o, en un sentido más global y a largo plazo, los efectos del cambio climático. Por supuesto, todos estos nuevos riesgos, al igual que sucedía con los antiguos, pueden producir efectos negativos sobre la salud humana, de mayor o menor relevancia según la naturaleza del riesgo y las condiciones específicas que puedan darse en un contexto concreto.

En la actualidad, en todas las **sociedades desarrolladas**, se ha alcanzado ya un elevado nivel de conciencia entre las administraciones y los ciudadanos sobre la naturaleza e importancia de los riesgos ambientales, aunque todavía existen, como es natural, muchas lagunas en los correspondientes conocimientos técnicos y diferencias notables entre unas colectividades y otras. Sin embargo, en muchos casos, las respuestas que los responsables de la salud pública o los científicos son capaces de dar ante ciertas situaciones no satisfacen en absoluto a los ciudadanos afectados, generando su desconfianza.

Los motivos que pueden explicar esta situación son muy diversos. Sin duda alguna, entre ellos, hay que reconocer que las dificultades

que presenta en muchos casos una correcta **evaluación de los riesgos** para la salud que representa un determinado factor ambiental, pueden ser verdaderamente grandes.

De entrada, habría que recordar que la realización de estudios toxicológicos con humanos, sometiéndolos a riesgos potenciales en experiencias de laboratorio, está absolutamente descartada por motivos éticos. Por lo tanto, la investigación sobre los posibles efectos de los riesgos ambientales se ha de llevar a cabo con animales o basándose en estudios epidemiológicos realizados sobre determinadas poblaciones (estos estudios se suelen realizar comparando las respuestas entre un grupo de riesgo y otro de control).

En el primer caso, se plantea siempre la dificultad de extrapolar a los seres humanos los resultados obtenidos en experiencias con animales. En cuanto a los estudios epidemiológicos, hemos de tener en cuenta algunas cuestiones clave. En primer lugar, en el caso de que una cierta comunidad sufra algunas enfermedades, y dado que en el medio ambiente existe actualmente una amplísima variedad de sustancias y productos químicos artificiales, resulta muy difícil establecer cuál de ellos ha sido el posible agente causal. Por otra parte, algunos de estos agentes contaminantes están ya tan extendidos sobre la tierra que es muy difícil encontrar poblaciones de "control" libres de exposición a los tóxicos. Otro problema deriva del hecho de que muchas enfermedades, como por ejemplo el cáncer, pueden tener un período de latencia bastante largo, lo cual hace que sólo se puedan diagnosticar años después de recibir la correspondiente exposición. Por mencionar todavía una dificultad más, sin ánimo de ser exhaustivos, diremos también que la medida de la exposición de las personas a los factores ambientales es extraordinariamente difícil, dado que su vida cotidiana se suele desarrollar en ámbitos de características muy diferentes (hogar, trabajo, transporte, etc.).

En este contexto, y por lo que se refiere específicamente a la **contaminación atmosférica**, cabe recordar, ante todo, que este fenómeno (conocido desde hace mucho tiempo) atrajo poderosamente la atención de los medios científicos y de toda la sociedad

desde el momento en que, en las primeras décadas del siglo XX, se produjeron varios episodios muy importantes en varios países desarrollados, entre los que cabe destacar de forma especial la catástrofe acaecida en Londres en el año 1952, que ya hemos tenido ocasión de mencionar anteriormente.

Estas situaciones excepcionales se tradujeron en un aumento tan notable de la mortalidad y la morbilidad en esos lugares que no dejaron ninguna duda acerca de la relación causal existente entre los altos niveles de contaminación atmosférica y el aumento de las muertes prematuras. Por ejemplo, en el ya citado episodio, una densa niebla o "smog" cubrió toda el área del Gran Londres durante cuatro días, exactamente desde el 5 al 8 de Diciembre de dicho año. El número de muertes atribuidas a este episodio se estimó en una cifra del orden de 4.000. Esta evidencia comportó la adopción de políticas de control muy estrictas de la contaminación atmosférica, especialmente en Europa Occidental y en los Estados Unidos, unas políticas que han producido una disminución sustancial de los niveles de polución atmosférica existentes previamente en muchas ciudades de estos países.

Como ya hemos indicado anteriormente, los contaminantes atmosféricos detectados generalmente en las atmósferas urbanas provienen básicamente de los vehículos de transporte, de fuentes fijas de combustión (industrias y calefacción, sobre todo) y de los procesos de eliminación de residuos (plantas incineradoras). Generalmente, la contaminación característica del invierno es diferente de la que se produce durante el verano. Durante el invierno, los episodios de contaminación más graves suelen tener lugar bajo condiciones de estancamiento del aire, cuando los contaminantes procedentes de las citadas fuentes se acumulan en la atmósfera. Los principales productos contaminantes son el dióxido de azufre y las partículas en suspensión. Durante el verano, los episodios más graves de contaminación suelen tener lugar en los días más soleados, cuando las reacciones fotoquímicas de los óxidos de nitrógeno y de los hidrocarburos conducen a la formación de ozono y de otras sustancias tóxicas.

Los **efectos sobre la salud** de la polución atmosférica son de naturaleza muy diversa. Los efectos más frecuentes consisten en enfermedades respiratorias (afecciones broncopulmonares). Entre los diferentes contaminantes estudiados, las partículas en suspensión de muy pequeño tamaño son las que muestran una mayor toxicidad, por su capacidad de afectar gravemente a los pulmones y generar allí una respuesta de tipo inflamatorio que puede llegar a desencadenar incluso la muerte de origen cardiorespiratorio en individuos particularmente sensibles, como pueden ser las personas de edad avanzada con enfermedades respiratorias o cardíacas. El óxido de azufre es un gas irritante que, en concentraciones elevadas en individuos normales y mucho más bajas en individuos que padezcan asma, puede producir broncoconstricción y otros problemas de tipo respiratorio. Se ha apuntado también la posibilidad de que este agente contaminante juegue un papel más complejo en el desarrollo de ciertas enfermedades crónicas, aumentando de este modo el riesgo de enfermedades respiratorias en los niños, con la posibilidad de que aparezcan síntomas respiratorios negativos en la etapa adulta.

Anteriormente hemos mencionado que algunos aerosoles atmosféricos, por su naturaleza química, pueden ejercer importantes efectos nocivos sobre la salud humana. Las especiales propiedades físicas de estos aerosoles pueden producir irritación en las membranas internas del aparato respiratorio. Por otra parte, muchos de los gases que transportan estos aerosoles son solubles en la capa acuosa que recubre las mucosas del tracto respiratorio. Los gases muy solubles quedan por completo retenidos en estas superficies antes de llegar a los pulmones, pero las partículas más pequeñas son transportadas a las zonas pulmonares más profundas y pueden desprenderse allí de los gases adsorbidos. Se ha demostrado también que la inhalación de ciertos aerosoles acuosos (por ejemplo, las nieblas de ácido sulfúrico producido por oxidación del dióxido de azufre presente en el aire) puede ocasionar trastornos respiratorios de mayor o menor gravedad.

La denominada "contaminación del verano" se relaciona sobre todo con la contaminación originada por las reacciones fotoquími-

cas de los hidrocarburos y los óxidos de nitrógeno, estimuladas por la luz solar intensa. Se considera que el ozono es el contaminante biológicamente más activo de este proceso. El umbral inferior de percepción por el hombre se sitúa en una concentración del orden de 0'02 mg/kg. La irritación de las fosas nasales y de la garganta se produce para concentraciones del orden de 0'05 mg/kg. La sequedad de las mucosas de las vías respiratorias superiores aparece para concentraciones de ozono del orden de 0'1 mg/kg. Para concentraciones relativamente elevadas, se pueden desencadenar ataques más o menos agudos de asma, especialmente entre las personas especialmente sensibles a este contaminante atmosférico, sobre todo niños y personas mayores.

Todos los efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud que hemos mencionado anteriormente se han puesto de manifiesto en diferentes estudios llevados a cabo en varias ciudades de todo el mundo. En particular, cabe mencionar que un grupo de investigadores de la **ciudad de Valencia** está estudiando desde hace algún tiempo los efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud de sus habitantes. Entre otros resultados, en estos trabajos se ha podido observar que, en los días en que la contaminación por partículas aumenta considerablemente, se produce también un incremento en el número de muertes. Por ejemplo, se ha observado una asociación positiva entre los incrementos de anhídrido sulfuroso SO_2 en la atmósfera con el número de las admisiones hospitalarias por enfermedades respiratorias (bronquitis crónica y asma). En este caso, un incremento como el citado anteriormente para el ozono, motiva un incremento del 25% en los ingresos hospitalarios. Finalmente, en dichos estudios se ha encontrado que los días en que los niveles de ozono, dióxido de nitrógeno y monóxido de carbono en el aire son altos, el número de urgencias por asma y enfermedad pulmonar obstructiva crónica se incrementa en un 20%.

Por supuesto, además de controlar la contaminación atmosférica "exterior", es necesario valorar también de forma adecuada los **ambientes interiores** de los edificios (viviendas, comercios,

escuelas, oficinas, hospitales, centros de trabajo, locales de espectáculos, etc.), en los que los residentes de nuestras ciudades pasan la mayor parte de su tiempo. En este sentido, son bien conocidos los riesgos para la salud que puede suponer la presencia en nuestro medio ambiente más inmediato de determinados agentes biológicos (virus, legionella), químicos (radón, monóxido de carbono) o físicos (radiaciones, ruido).

4. LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS

4.1. Introducción

El agua constituye algo más del 70% de la superficie terrestre y es, sin duda alguna, el recurso natural más importante de nuestro planeta. Sin este recurso, la vida en la Tierra no existiría. El agua es un elemento esencial para la vida de todos los seres que pueblan el llamado planeta azul.

El agua es el principal componente del protoplasma celular y representa los dos tercios del peso total de las personas y hasta nueve décimas partes del peso de los vegetales. El hombre puede subsistir con 3 litros de agua diaria; de hecho, ciertas poblaciones nómadas de la zona sahariana se contentan con bastante menos que esa cantidad durante largos períodos de tiempo. Sin embargo, en las sociedades modernas, incluyendo los aspectos de higiene personal y doméstica, se calcula que el consumo medio de agua asciende a una media de 40-50 litros por persona y día. A ello hay que sumar las necesidades de agua en la industria, la agricultura y la ganadería, entre otros usos, lo que supone en ciertos países y regiones un consumo de hasta 500 litros diarios por habitante. Estas cifras ponen de manifiesto, de cara a un futuro no demasiado lejano, la existencia de un grave problema para la humanidad, dado que las reservas de agua dulce en nuestro planeta (limitadas) se calculan tan sólo en algo más de 24 millones de km^3 y que la contaminación disminuye día a día la calidad de muchas de estas aguas.

Algunas estimaciones indican que unos 1.500 millones de personas en todo el mundo carecen de agua para beber de calidad

suficiente. Al menos 5 millones de personas mueren cada año a causa de enfermedades producidas por el consumo de agua en malas condiciones.

Aun cuando los humanos reconocen la **importancia del agua** en sus vidas, parecen olvidar por completo este hecho cuando contaminan los ríos, los lagos y los mares. Con su insensato comportamiento, el hombre está dañando a nuestro planeta de forma lenta e implacable, hasta el punto de que muchos seres vivos están muriendo como consecuencia de ello. Pero no sólo es esto. El agua que todos consumimos cotidianamente se ha visto también afectada por este hecho, como lo ha sido nuestra capacidad de utilizar agua para otros fines vitales para nuestra supervivencia (agricultura) o simplemente recreativos.

El problema de la contaminación del agua se conoce desde hace mucho tiempo. Uno de los primeros testimonios históricos sobre este tema lo constituye el relato de las Sagradas Escrituras sobre una de las diez plagas de Egipto (Éxodo, 7, 14-25), en el que se describe la transformación en "sangre" de las aguas del río Nilo. Dicho fenómeno fue sin duda debido a la contaminación biológica producida por microorganismos (algas y bacterias). Con el aumento de la población mundial y el crecimiento continuado de la actividad industrial en gran número de países, la contaminación de las aguas continentales y de los mares se ha ido incrementando constantemente en el curso de los últimos tiempos.

Como es natural, la **contaminación del agua** ha sido definida de muchas maneras, tanto directa como indirectamente. En su conjunto, estas definiciones afirman que la contaminación del agua se produce como consecuencia del vertido de residuos sólidos o líquidos, el depósito de materiales o cualquier otra acción susceptible de deteriorar su calidad natural. Este deterioro se pone de manifiesto por la modificación de sus características físicas, químicas o biológicas, que puede hacer perder al agua su potabilidad para el consumo diario o la posibilidad de utilización para actividades domésticas, industriales, agrícolas o de otro tipo. En particular, según la Organización Mundial de la Salud, se dice que un agua está contaminada cuando su com-

posición o su estado están alterados de tal modo que dicha agua ya no reúne las condiciones exigibles para el conjunto de utilizaciones a las que se hubiera destinado en su estado natural.

Al hablar de la contaminación del agua hemos de tener en cuenta tanto la provocada por causas naturales como la debida a las actividades humanas. Las alteraciones que pueden sufrir las aguas como consecuencia del aporte a las mismas de sustancias extrañas se pueden clasificar a grandes rasgos en físicas, químicas o biológicas.

Las **alteraciones físicas** son todas aquéllas que modifican el color, olor, sabor y temperatura del agua. Por ejemplo, el agua de los ríos suele contener sustancias sólidas indeseables, o lleva productos de la erosión que provoca su discurrir sobre la tierra y, en consecuencia, transporta por arrastre, en suspensión o disolución, una gran variedad de productos, con lo que adquiere mayor o menor turbiedad. Por otra parte, todas las aguas presentan una determinada radiactividad natural, aunque, como consecuencia de las actividades nucleares realizadas en muchas sociedades desarrolladas, puede registrarse también un incremento más o menos importante de los niveles de dicha radiactividad. Finalmente, la presencia de detergentes sintéticos origina la formación de grandes cantidades de espuma. Hemos de tener en cuenta que la mayor parte de los detergentes sintéticos están formados por dos componentes principales: el detergente propiamente dicho (un agente tensoactivo, que actúa disminuyendo la tensión superficial del agua) y una mezcla de sales sódicas que parecen ser las causantes de los graves trastornos atribuidos al vertido de ciertos tipos de detergentes, puesto que estos productos inhiben el poder autodepurador de las aguas.

Las **alteraciones químicas** producidas por componentes químicos vertidos a las aguas son quizás las más importantes y comunes, tanto por sus efectos directos como por las funestas consecuencias que acarrean. En particular, las debidas a productos orgánicos son muy complejas y, por lo general, dan al agua un carácter reductor, debido a su capacidad para combinarse con el oxígeno y transformarse, en último término, en agua y dióxido de carbono. En general, las

alteraciones causadas por productos inorgánicos suponen la aparición de nuevas propiedades o el cambio de las antiguas. La contaminación por mercurio y cobre, por ejemplo, representa un grave problema en muchos lugares del mundo.

Las **alteraciones biológicas** pueden suponer, por una parte, la presencia de bacterias patógenas o virus capaces de producir enfermedades y, por otra, la ausencia de animales o plantas (por ejemplo, en ríos o lagos), originada por la inexistencia de una cantidad suficiente de oxígeno disuelto en el agua. En general, el agua que contenga menos de 4 mg/litro de oxígeno disuelto no es apta para el desarrollo de la vida. Cabe recordar que muchos productos contaminantes de las aguas contienen nutrientes tales como nitratos y fosfatos. Un contenido elevado de este tipo de sustancias en las aguas de un río, por ejemplo, favorece el crecimiento de las plantas acuáticas y algas presentes en ellas, un hecho que dificulta el libre curso del río, incrementa el consumo del oxígeno disuelto y reduce la llegada de la luz hasta las aguas más profundas.

Cabe recordar también que, siempre que hablamos de la contaminación de las aguas, la relación entre la **contaminación térmica** (una alteración física) y la vida acuática ocupa un lugar muy destacado. Los ecólogos consideran que la temperatura es el factor principal de la vida en la tierra. Dado que no pueden regular su temperatura, los peces de sangre fría son particularmente sensibles a los cambios que se producen en su entorno (aunque los peces pueden adaptarse a las variaciones estacionales de temperatura, no son capaces de asimilar sus cambios bruscos). Por consiguiente, existe una especial preocupación sobre la elevación de temperatura de determinados medios acuáticos como resultado de las actividades humanas, sobre todo, la descarga de aguas residuales calientes, tras haber sido utilizadas para fines de enfriamiento industrial.

Concretamente, la cantidad de agua caliente que las centrales generadoras de electricidad (térmicas convencionales o nucleares) vierten actualmente a los cursos de agua es sencillamente fabulosa. Estas instalaciones son las principales causantes de dicha contami-

nación térmica. Hay muchos casos en que ninguna estrategia de desagüe de los vertidos hará que el agua resultante sea segura para la vida acuática, particularmente en el caso de que varias centrales o industrias utilicen el mismo curso de agua para fines de enfriamiento (un caso no infrecuente en la actualidad en las sociedades altamente industrializadas).

En aquellos países en los que los ríos son de escaso caudal, no hay más remedio que recurrir a **torres de enfriamiento**, en las que el calor se disipa por evaporación. En estas instalaciones, el efluente caliente pasa al interior de unas enormes torres de más de 100 metros de altura y el agua, al caer sobre una serie de compuertas, se atomiza, formando un vaho que se evapora muy fácilmente, lo cual produce un enfriamiento sumamente rápido. El único inconveniente de este proceso (aparte del elevado coste de construcción de las mencionadas torres) es la gran cantidad de agua que va a parar a la atmósfera, y que en días muy fríos se condensará, produciendo una espesa bruma o hielos en las proximidades de la central. Para subsanar este inconveniente, frente a este tipo de torres "húmedas", en algunos casos se ha recurrido a instalar torres "secas", en las que el calor pasa del agua directamente al aire, a través de un cambiador de calor adecuado, muy similar al existente en los radiadores de los automóviles, aunque, como es natural, con unas dimensiones (y coste económico) considerablemente mayores.

Puede ser interesante mencionar también que algunos autores distinguen entre dos **tipos diferentes** de contaminantes del agua, conocidos como fuentes puntuales y fuentes no puntuales. Las fuentes puntuales son aquéllas en las que el vertido de las sustancias contaminantes se realiza directamente desde la fuente al agua. Por ejemplo, el vertido accidental y directo de crudo al mar por parte de un buque petrolero correspondería a esta categoría. En cambio, el suministro de contaminantes por parte de una fuente no puntual tiene lugar de forma indirecta. Un ejemplo de esta última categoría lo tenemos en el fertilizante procedente de una explotación agrícola que es arrastrado por la lluvia para alcanzar finalmente las aguas de un río o un lago.

Es muy importante señalar que, hoy en día, disponemos de la tecnología y de las normativas necesarias para controlar adecuadamente las diferentes fuentes puntuales de contaminación del agua, aunque, en la práctica, los intereses políticos o económicos imperantes en cada situación concreta pueden complicar bastante la resolución de los problemas planteados. En cambio, las fuentes no puntuales no son tan fáciles de controlar. Esta circunstancia es preocupante sobre todo si tenemos en cuenta que la contaminación originada por este segundo tipo de fuentes constituye, con mucho, el contribuyente más importante de la polución de los ríos y lagos.

Quizás la principal razón para llevar a cabo un gran esfuerzo para evaluar y controlar la contaminación de las aguas a escala mundial haya que buscarla en el hecho de que muchas de las formas de contaminación de las aguas no reconocen las fronteras de los diferentes Estados. Los ejemplos más claros en este sentido los tenemos en las aguas de algunos grandes ríos o en los mares y océanos. La realización de importantes vertidos de muy diversa índole por parte de todos los países ribereños de nuestro mar Mediterráneo (prácticamente cerrado) debería constituir un motivo de especial preocupación para todos nosotros.

La primera gran **conferencia internacional** que se ocupó en profundidad del tema de la contaminación del agua tuvo lugar en Estocolmo, Suecia, en 1972. Esta conferencia, organizada por las Naciones Unidas, fue sumamente conflictiva, debido a que muchos países no desarrollados temían que el establecimiento de un marco de protección medio ambiental demasiado estricto podía ser utilizado como una herramienta en manos de los países más industrializados para mantener a los países en vías de desarrollo en una posición subsidiaria desde el punto de vista económico. Uno de los logros más importantes de esta conferencia fue la creación del Programa para el Medio Ambiente de las Naciones Unidas. Cuando se creó este programa, tan sólo once países de todo el mundo contaban con agencias gubernamentales referidas al medio ambiente. Diez años más tarde, este número superaba ya el centenar, y la mayoría de tales agencias correspondían a países en vías de desarrollo.

No podemos concluir esta introducción sin mencionar que el problema del agua es España es especialmente importante. Nuestro consumo es del orden de los 35.000 hm^3/año, es decir, una cifra de unos 900 m^3 por habitante y año (una de las más altas de Europa). El porcentaje más importante, un 80% de dicha cifra, corresponde a usos agrícolas, seguido por un 14% para usos domésticos, y un 6% para usos industriales. Los desequilibrios existentes entre los recursos disponibles y la demanda (con fuertes oscilaciones estacionales) son muy frecuentes.

Los problemas que plantea esta situación (especialmente en ciertas zonas, azotadas por frecuentes sequías) han sido objeto de atención por parte de las diferentes administraciones desde hace algún tiempo. El Plan Hidrológico Nacional que se aprobó en 1998 pretendía solucionar esos problemas con la realización de transvases y construcción de embalses en las diferentes cuencas hidrográficas. Sin embargo, ese proyecto no sólo ha originado duros enfrentamientos políticos e importantes tensiones entre algunas de las regiones de nuestro país, sino que ha sido contestado fuertemente por los colectivos ecologistas, que rechazan de plano la construcción de dichas infraestructuras y que se decantan más bien por aplicar criterios de racionalidad y eficiencia como mejor instrumento para satisfacer las necesidades presentes y futuras de agua en nuestro país. Por muchas razones, se trata de un tema no cerrado del todo, que, sin duda, provocará grandes problemas en los años venideros.

4.2. Productos contaminantes

Las sustancias que contaminan las aguas, así como su origen, son muy diversas. Por otra parte, la naturaleza de estas sustancias varía constantemente con el tiempo, a medida que se desarrollan nuevos productos industriales o se introducen nuevos procesos de fabricación.

En cualquier listado de **productos contaminantes** de las aguas dulces de un país desarrollado aparecerían centenares de productos diferentes del agua. A los muchos problemas que plantea su origen múltiple hay que agregar el que representa la presencia de las nume-

rosas combinaciones químicas que se producen entre ellos. En estas relaciones encontramos productos sólidos de muy diverso origen, como ácidos (tóxicos en la mayoría de los casos), hidróxidos (poco tóxicos, en general), sales de cobre (tóxicas a dosis relativamente elevadas), sales de zinc (tóxicas), sales de mercurio (muy tóxicas), sales de plomo (tóxicas), sales de arsénico (tóxicas), cromatos y dicromatos (muy tóxicos), sales de hierro (sin peligro), cianuro sódico (muy tóxico), sulfuro sódico (tóxico), hidrocarburos (poco tóxicos), aceites vegetales (sin efectos notables), aceites minerales (poco tóxicos) y fenoles (muy tóxicos en concentraciones altas).

En general, los niveles de contaminación del agua se determinan mediante métodos analíticos de diferente naturaleza (físicos, químicos y biológicos). Como es natural, los **índices** que expresen dicha contaminación deben ser elegidos en función del origen del agua a analizar y, sobre todo, del destino que se vaya a dar posteriormente a dicho líquido. Los índices más importantes que recomienda la Organización Mundial de la Salud para medir la calidad de las aguas son 1) la concentración de oxígeno disuelto, 2) la concentración de materia oxidable por vía biológica (DBO), 3) la concentración de amonio, 4) la salinidad, 5) la temperatura, 6) la presencia de bacterias nocivas, 7) la concentración de materia oxidable por vía química (DQO) y 8) la presencia de nitratos. Otros factores a tener en cuenta en este sentido son la turbiedad (materias en suspensión), la presencia de grasas, la presencia de detergentes y la presencia de fosfatos.

En particular, la **demanda bioquímica de oxígeno** (DBO) sirve para medir el peso (por unidad de volumen de agua) del oxígeno disuelto utilizado en el curso del proceso biológico de degradación de materias orgánicas. Los valores de este índice varían entre 1 mg/litro (en aguas naturales y puras) y 300-500 mg/litro (en aguas residuales domésticas no depuradas).

Cuando la concentración de sustancias contaminantes es muy elevada, su degradación agota el oxígeno disuelto en el agua, pudiendo producir asfixia a gran número de animales acuáticos. A partir de ese instante, la acción de las bacterias aerobias (organismos que



Figura 11.- Imagen de elefantes en África. La conservación de la biodiversidad es un factor de importancia capital para el medio ambiente de nuestro planeta, en el que viven miríadas de virus y bacterias, así como millones de especies animales y vegetales de todo tipo.

necesitan del oxígeno del aire para vivir), que son las que en condiciones normales mantienen la capacidad autodepuradora del agua, es sustituida por la intervención de bacterias anaerobias (organismos que pueden vivir en ausencia total de oxígeno), que contribuyen a la putrefacción del agua.

Aunque la contaminación de las aguas puede ser accidental, la mayor parte de las veces es el resultado de vertidos no controlados de origen muy diverso. Las tres fuentes más importantes de la contaminación de las aguas corresponden a los vertidos realizados por las ciudades, las industrias y la agricultura. Vamos a tratar de describir brevemente a continuación los casos más importantes.

Aguas de origen urbano. Estas aguas residuales contienen los vertidos colectivos de la vida cotidiana en medios urbanos. Sus fuentes más importantes son los vertidos de las viviendas, comercios, hostelería, pequeñas industrias y sector sanitario, entre otros. Su volumen

está en constante aumento, alcanzando en algunas ciudades cifras de hasta 500 litros por persona y día, lo cual supone, por ejemplo, alrededor de 50 kg de materias sólidas por habitante y año.

Tradicionalmente, el único objetivo de las plantas depuradoras de aguas residuales de origen urbano ha consistido en la disminución del contenido en estas aguas de sólidos en suspensión, compuestos orgánicos, compuestos inorgánicos y bacterias peligrosas, antes de su eventual vertido a ríos o mares. Sin embargo, desde hace algunos años, la preocupación de los correspondientes técnicos ha ido derivando hacia la disposición y posibles usos de los residuos sólidos que se producen en grandes cantidades en dichas plantas depuradoras. Más adelante volveremos a ocuparnos de este tema.

Aguas de origen industrial. Los vertidos industriales constituyen la fuente de contaminación más importante de las aguas. La mayoría de industrias utilizan el agua en cantidades muy variables en diferentes procesos de fabricación. Los principales sectores contaminantes de la industria son el petróleo, el carbón, las industrias químicas y las derivadas de la celulosa.

En general, existen varias posibilidades para controlar las aguas residuales de origen industrial. Por ejemplo, estas aguas se pueden tratar completamente en la propia planta antes de proceder a su vertido en un curso de agua superficial. Hay también la posibilidad de someter dichos vertidos industriales a un simple tratamiento previo y enviarlos a continuación a un curso de agua para someterlos más tarde a una depuración mucho más rigurosa, junto con los vertidos de otras industrias. Por último, los vertidos en cuestión pueden depurarse en la propia planta industrial, aprovechando las aguas depuradas para atender al consumo de sus instalaciones (reciclado).

Aguas de origen agrícola. La contaminación de las aguas superficiales por vertidos de origen agrícola consiste fundamentalmente en la presencia de una extensa serie de productos químicos utilizados actualmente en agricultura (tales como plaguicidas o fertilizantes) y de residuos de origen animal (procedentes, por ejemplo, de granjas

de cerdos o aves). Los contaminantes pueden ser orgánicos o inorgánicos. En particular, los residuos de origen animal son importantes agentes consumidores de oxígeno en las aguas superficiales y suelen contener una alta cantidad de agentes patógenos.

La importancia de los **efectos de los productos contaminantes** depende de su naturaleza y de su concentración. Por supuesto, sabemos que el poder de biodegradación de las aguas es muy grande (gracias a la acción de las bacterias aerobias), pero si la concentración de sustancias orgánicas y químicas supera ciertos límites, las aguas ya no son capaces de regenerarse. En este caso, la vida desaparece de ellas, y los ríos y lagos se convierten en verdaderas cloacas.

En particular, los productos de origen industrial vertidos en los ríos causan grandes estragos en las comunidades acuáticas. Sus efectos se aprecian con toda claridad en los peces que viven en ellos. Se ha podido comprobar que muchas sustancias ácidas, sulfuros, amoniaco, etc., paralizan las reacciones bioquímicas y pueden provocar la muerte de estos animales. El aumento de la temperatura de las aguas, que supone al mismo tiempo un aumento en el consumo de oxígeno, puede amenazar también seriamente la vida acuática. La creciente utilización de agua por parte de muchas industrias en los países desarrollados (siderúrgicas, papeleras, energía, etc.) aumenta cada día más este peligro.

El problema de la contaminación de las aguas continentales no sólo afecta al hombre y a los animales acuáticos, sino que constituye también un motivo de preocupación creciente para las propias industrias, que, en ocasiones, tienen la necesidad de utilizar aguas que ya han sido contaminadas río arriba, y que pueden ser inadecuadas para ciertos usos. Por lo tanto, las mismas industrias que contaminan las aguas pueden ser a su vez unas de sus víctimas.

Entre los agentes contaminantes que pueden producir efectos tóxicos de mayor o menor gravedad en el organismo humano cabe destacar los siguientes:

Microorganismos. La presencia de determinados microorganismos en el agua puede ser sumamente nociva para la salud humana.

Entre estos elementos se incluyen las bacterias, los virus y ciertos protozoos. Sabemos, por ejemplo, que la presencia de bacterias en el agua dedicada al consumo humano puede producir diferentes enfermedades gastrointestinales, endémicas o epidémicas, tales como las fiebres tifoideas, el cólera o la disentería, entre otras.

Es importante recordar también que los virus son los agentes causantes de enfermedades tan graves como la hepatitis epidémica. La presencia de virus en las aguas destinadas al baño puede producir también inflamaciones cutáneas y de los ojos de las personas.

Estos contaminantes pueden proceder de las aguas residuales procedentes de las ciudades, los vertidos de instalaciones ganaderas, las escorrentías de las aguas de lluvia, o las filtraciones de las fosas sépticas, entre otras fuentes.

Nitratos. Aunque su presencia en las aguas superficiales es generalmente inferior a 5 mg/litro, estos compuestos pueden estar



Figura 12.- Refinería de CEPSA en Santa Cruz de Tenerife. La contaminación del aire que producen estas instalaciones (con emisión de ingentes cantidades de diferentes gases tóxicos) ha originado innumerables quejas y protestas por parte de los residentes en dicha ciudad.

presentes en cantidades sensiblemente mayores a la citada en las aguas subterráneas (importante o única fuente de abastecimiento en muchas ciudades). El consumo humano de agua contaminada con un elevado porcentaje de nitratos puede dar lugar a la presencia de metahemoglobina en la sangre (este producto aparece como consecuencia de una oxidación incompleta de la hemoglobina).

Fluoruros. A dosis bajas, los fluoruros desempeñan un importante papel en la prevención de la caries dental. Sin embargo, la ingestión de agua con altas concentraciones de estos compuestos puede producir fluorosis endémica crónica, cuyos síntomas son la presencia de manchas de color amarillento, pardo o casi negro en los dientes, sobre todo en los niños.

Metales tóxicos. Aunque el arsénico ha sido encontrado en algunas aguas de consumo en América Latina, su presencia en las aguas superficiales es, en general, muy débil. El mercurio puede estar presente, en ocasiones, en las aguas dulces, aunque generalmente en débiles concentraciones. El selenio, en ciertas zonas seleníferas, puede llegar a alcanzar concentraciones de hasta 300 mg/litro y sus efectos son nocivos en los animales y en el hombre. El plomo puede estar presente en las aguas dedicadas al consumo humano en proporciones de 0’01 a 0’03 mg/litro; su presencia en estos casos puede ser debida a la utilización de cañerías construidas con este metal. En relación con el cadmio, se han medido concentraciones comprendidas entre menos de 1 mg/litro y más de 10 mg/litro en aguas destinadas al consumo humano; su presencia en estas aguas puede estar relacionada con vertidos industriales o la utilización de cañerías de plástico.

Plaguicidas. Estas sustancias (ampliamente utilizadas en la actualidad en agricultura) desempeñan un papel muy importante en la contaminación de las aguas continentales y pueden ser sumamente perjudiciales para la salud tanto de personas como de animales.

Hidrocarburos. Numerosos hidrocarburos, como el 3-4 benzopireno**,** son frecuentes en las aguas contaminadas como consecuencia de ciertos vertidos industriales, embarcaciones de motor y

accidentes diversos. Aunque estas sustancias son poco solubles en el agua, se disuelven fácilmente en presencia de otras sustancias, tales como los detergentes. Muchos de estos hidrocarburos son agentes cancerígenos.

Detergentes aniónicos. Los vertidos que contienen detergentes sintéticos y que producen grandes cantidades de espuma en algunos ríos, tienen efectos muy nocivos sobre las comunidades acuáticas. Afortunadamente, la introducción en estos últimos años de detergentes biodegradables ha contribuido a disminuir notablemente este riesgo.

Radiactividad. La existencia de radiactividad natural en el agua de ríos o corrientes subterráneas (como consecuencia de su contacto con rocas radiactivas) no ejerce por lo general efectos negativos sobre la salud humana. Por el contrario, la contaminación por residuos radiactivos (procedentes, por ejemplo, de un vertido accidental de una central nuclear) puede tener efectos graves para la salud.

Los efectos de la polución de las aguas sobre la salud humana (tema sobre el que volveremos de nuevo más adelante) preocupan cada día más en todos los países, desarrollados o no desarrollados. En consecuencia, existen numerosos criterios y normas internacionales que regulan la potabilidad de las aguas. Las **Normas Internacionales** para el agua potable, promulgadas hace algunos años por la Organización Mundial de la Salud, establecen diferentes regulaciones para los contaminantes de tipo biológico, contaminantes radiactivos, sustancias tóxicas, sustancias químicas nocivas para la salud y las características físicas.

Concretamente, cabe señalar que, desde el punto de vista bacteriológico, no se admite la presencia de ningún microorganismo coliforme en muestras de 100 mililitros de agua tratada con cloro u otros procedimientos. Para aguas que no hayan sido tratadas, ninguna muestra de 100 mililitros debe contener bacterias de origen fecal, aunque, ocasionalmente, se puede tolerar la presencia de hasta 3 microorganismos coliformes en dicho volumen.

Para las sustancias químicas tóxicas y otros productos peligrosos para la salud, la Organización Mundial de la Salud ha fijado los

límites máximos tolerables en aguas destinadas al consumo humano. Por ejemplo, la concentración máxima admisible para el arsénico es de 0'05 mg/litro, para el plomo 0'1 mg/litro y para el mercurio 0'001 mg/litro. La concentración máxima admisible para nitratos es de 45 mg/litro. Como es natural, los anteriores límites se dan con un carácter indicativo, dado que los valores que aparecen en las diferentes legislaciones estatales y aún locales presentan muchas diferencias entre si.

4.3. Contaminación de las aguas superficiales

Tras alcanzar el importante avance que representó el suministro de agua corriente a los hogares de los países más desarrollados (un logro no tan lejano), se planteó el problema de cómo eliminar las aguas residuales que estos mismos hogares generaban. Todos recordamos haber visto en alguna película de época la escena en la que alguien, tras dar un aviso a los ciudadanos que paseaban por las calles, arrojaba por las ventanas dichos residuos. Con el tiempo, en las ciudades se construyeron complejos sistemas de alcantarillado que recogían los residuos en cuestión y los vertían a las masas de agua más próximas.

De este modo, las aguas residuales se transferían desde las calles de las ciudades a las aguas que suministraban pesca, a los lugares donde los residentes solían tomar el baño o, simplemente, a las zonas costeras marinas. En muchos de los casos, las consecuencias fueron desastrosas para el medio ambiente acuático, con repercusiones muy negativas para los animales y plantas de tales medios.

En general, siempre que las aguas residuales de origen industrial o urbano se vierten en un río o en un lago provocan una alteración en los equilibrios físicos, químicos y biológicos de sus aguas. Como es natural, si dichas aguas residuales han sido previamente tratadas o depuradas, los efectos serán menores y tanto más cuanto más completo haya sido dicho tratamiento. De hecho, la naturaleza del proceso de depuración debe considerar no sólo las características de las aguas a tratar, sino también las del cauce receptor, teniendo en cuenta aspectos tales como el estado previo de las aguas del receptor

o la relación de caudales entre receptor y vertido. Las características del cauce en la zona posterior al vertido es también un factor importante a valorar; por ejemplo, es evidente que la presencia de rápidos y cascadas en un curso fluvial facilita considerablemente la aireación natural y oportuna regeneración del agua.

Vamos a ocuparnos ahora del caso concreto de la **contaminación de los ríos**. En un río contaminado, de cierta longitud y caudal, podemos distinguir cuatro zonas bien definidas, correspondientes a otras tantas fases importantes de este problema. En primer lugar, existirá una zona de degradación, en la que se inicia la descomposición de la materia orgánica que transportan las aguas del río, como consecuencia de la actividad bacteriana; en esta zona o tramo, el agua presenta un aspecto sucio y el contenido de oxígeno ha disminuido sensiblemente respecto al valor de saturación. En segundo lugar, tenemos una zona de descomposición activa, con desprendimiento de gases y ausencia de oxígeno disuelto; las aguas presentan aquí un aspecto sucio y un olor desagradable. En tercer lugar, tenemos una zona de recuperación, en la que el agua va recobrando poco a poco su aspecto normal; la oxigenación del agua se va también recuperando, tanto por aireación natural, como por la acción fotosintética de los vegetales verdes existentes a lo largo del cauce. Finalmente, tenemos una zona de aguas limpias, en la que el agua ha recuperado ya totalmente sus propiedades iniciales, existiendo de nuevo en su seno vida animal y vegetal en condiciones normales, al subsistir sólo la polución natural o geoquímica.

La **contaminación de los lagos** presenta algunos aspectos singulares. En la década de los sesenta y años posteriores, los ribereños de numerosos lagos americanos, suecos, franceses y suizos, comenzaron a inquietarse a causa de los olores pestilentes que procedían de algunas de esas aguas. Los correspondientes análisis demostraron la presencia de productos químicos indeseables, debidos a la recepción de residuos de origen urbano e industrial que motivaban que los lagos evolucionaran a un estado eutrófico, en el que la desaparición del oxígeno puede llegar a ser total, con la consiguiente desaparición de las especies piscícolas que requieren oxígeno. En consecuencia,



Figura 13.- Instalaciones de los Altos Hornos de Vizcaya, en Baracaldo. La presencia de este importante complejo en esta zona industrial de Vizcaya ha condicionado su vida, su economía y su medio ambiente durante casi un siglo (aproximadamente, entre 1880 y 1970).

poco a poco, las truchas y otros salmónidos van siendo sustituidos por los barbos y las percas, a los que, finalmente, suceden las ranas y otras especies animales propias de las charcas.

En condiciones favorables, los procesos que conducen a la eutrofización o envejecimiento son muy lentos, y la vida de un lago podría compararse a una era geológica, pero, en otras condiciones, algunos lagos han pasado de "jóvenes" a "viejos" en menos de medio siglo, debido a la gran cantidad de polución humana que han recibido. La única forma de luchar contra tal envejecimiento consiste en reducir estas aportaciones indeseables por debajo del nivel crítico. En cualquier caso, resulta evidente que, en el curso de unas pocas décadas, el hombre ha provocado cambios sumamente importantes en algunos lagos que, en condiciones naturales, sólo habrían ocurrido a lo largo de varios siglos.

4.4. Contaminación de las aguas subterráneas

El 95% de toda el agua potable que existe en el planeta Tierra es de origen subterráneo. En general, las aguas subterráneas se

encuentran en formaciones geológicas naturales, capaces de almacenar y conducir el agua (corrientes), y que se encuentran a mayor o menor profundidad bajo el suelo. Estas formaciones, conocidas con el nombre de acuíferos, son de importancia vital para el consumo humano. Por ejemplo, más de la mitad de la población de Estados Unidos se abastece de aguas subterráneas, como suministradoras de agua potable. Por razones obvias, esta proporción es particularmente elevada en las zonas rurales. En gran medida, las aguas subterráneas se contaminan como resultado de la polución de las aguas superficiales, ya que cuando éstas llegan a zonas de fácil penetración, se mezclan con aquéllas, afectando a los acuíferos. Este hecho debe tenerse muy en cuenta cuando se procede a la captación de aguas potables en el subsuelo (mediante la perforación de pozos más o menos profundos).

A pesar de todo, en general, las **aguas subterráneas** son más aptas para su uso que las superficiales, ya que sufren una filtración natural a su paso a través del terreno, con la consiguiente eliminación de bacterias y organismos patógenos. En terrenos de aluvión, constituidos por elementos finos, la circulación del agua es lenta, con lo cual se realiza una filtración muy eficaz; si además dicho aluvión es arenoso y está recubierto por otros suelos arcillosos, la protección de las aguas es excelente y se consiguen aguas de buena calidad incluso a escasa profundidad.

Hay muchas ciudades o comunidades en todo el mundo que cubren todas sus necesidades de agua recurriendo a fuentes subterráneas. En otros casos, el abastecimiento se hace a partir de aguas superficiales (ríos o lagos). El recurso a todas estas fuentes de forma simultánea es también muy frecuente. Las opciones elegidas dependen sobre todo de la disponibilidad y proximidad de unas u otras fuentes de suministro. Con todo, en bastantes casos, es necesario transportar este recurso vital a lo largo de grandes distancias, utilizando costosas infraestructuras.

Todas estas opciones presentan una característica común. Cualquiera que sea el origen del agua que abastece una ciudad, al margen de que ésta sea grande o pequeña, hay que controlar muy

severamente su calidad (de acuerdo con los estándares establecidos al respecto). Las administraciones locales suelen ser las responsables de realizar este control. En la mayoría de los casos, y por razones de salubridad, es necesario someter toda el agua destinada al consumo humano a un **tratamiento adecuado** que garantice su potabilidad (ausencia de productos tóxicos y gérmenes).

Una iniciativa muy generalizada en este sentido consiste en proceder a la cloración de las aguas, más o menos enérgica según las condiciones existentes en cada momento concreto. Sobre este particular, en Agosto de 2000, tuvimos ocasión de leer en la prensa la noticia de que, en un estudio realizado en varias ciudades de nuestro país por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas y el Instituto Municipal de Investigación Médica de Barcelona, se había puesto de manifiesto que el **agua de consumo doméstico** contiene sustancias que pueden desencadenar algún tipo de enfermedad cancerosa. En dicho estudio se hablaba concretamente de los trihalometanos (THM), unos compuestos químicos que se forman cuando la materia orgánica que suelen contener las aguas a depurar entra en contacto con el cloro que se utiliza en las plantas potabilizadoras. El estudio en cuestión llegaba a la conclusión de que los trihalometanos y otros residuos de la cloración pueden ser responsables de unas 600 muertes anuales en España. El problema que estamos apuntando es más grave en el caso de aguas procedentes de los ríos que en el de las aguas subterráneas, dado que, en el primer caso, el contenido de materia orgánica suele ser mayor.

La solución a este problema no consiste en beber agua embotellada, entre otros motivos porque los citados trihalometanos son sustancias volátiles que no sólo entran en el cuerpo humano por vía digestiva, sino también por la respiración o a través de la piel (aseo personal). Consumiendo agua embotellada, se podría reducir nuestra exposición a este producto en un 30% o 40%, pero no más.

Según los autores del citado estudio, el problema tiene solución en dos frentes diferentes. El más importante consistiría en reducir la materia orgánica que se vierte a los ríos: si se depuran mejor los vertidos de origen agrícola, industrial y urbano, el agua de los ríos

estará más limpia y, por lo tanto, bastará menos cloro para potabilizarla y se formarán menos trihalometanos. En este caso, la factura correría a cargo de quienes contaminan tales ríos. El segundo frente se encuentra en las plantas potabilizadoras, donde es técnicamente posible sustituir el cloro por otros productos (por ejemplo, ozono), que, aunque sean más caros, generen una menor cantidad de producto tóxico. Por supuesto, el coste de esta opción recaería en los consumidores. La cuestión de fondo es que el agua que bebemos



Figura 14.- Cascada de la sierra Juárez, en México. El agua es el recurso natural más importante de nuestro planeta. La presencia de aguas superficiales no contaminadas (ríos y lagos) no sólo es deseable desde el punto de vista paisajístico, sino que puede ser vital para las personas que viven en su entorno.

es barata y las vías que garantizan su calidad no lo son. Tal vez la solución final estriba en que estemos dispuestos a pagar más por el agua que bebemos.

4.5. Contaminación de los mares y océanos

Desde siempre, el mar ha sido considerado como un vertedero natural. En realidad, durante milenios, los ciclos biológicos naturales aseguraban la absorción de los desperdicios y la autodepuración del agua de los mares. Por el contrario, en la actualidad, asistimos con frecuencia a un desequilibrio del medio marino debido a diversos factores químicos, físicos y biológicos.

Ciertamente, el mar posee una elevada **capacidad autodepuradora** y, en general, sus aguas son un medio poco favorable para el desarrollo de la mayoría de los microorganismos patógenos. Sin embargo, los vertidos incontrolados de las aguas residuales provenientes de zonas urbanas y de industrias convierten a las aguas costeras en un medio sumamente idóneo para la supervivencia de muchas bacterias patógenas.

Aunque dichos microorganismos no presentan, por lo general, un elevado peligro para las personas que se bañan en las playas (salvo en el caso de que exista una fuerte polución fecal), suponen un peligro importante para aquellas personas que ingieren moluscos que viven o se cultivan en aguas costeras. Como es sabido, la presencia de abundante materia orgánica favorece el crecimiento y desarrollo de las poblaciones de moluscos comestibles, pero junto a dicha materia orgánica estos animales ingieren también y retienen numerosos **microrganismos patógenos** para el hombre. Este mecanismo explica la relativa frecuencia con que se produce salmonelosis y otras enfermedades provocadas por la ingestión de moluscos tales como ostras, mejillones o almejas. Cabe recordar aquí que en una fecha tan reciente como 1973 se produjo en Italia una epidemia de cólera bastante grave cuyo vehículo de transmisión fueron los mejillones. Los sucesos episódicos de este tipo son relativamente frecuentes en nuestras latitudes.

Las consecuencias de dicha contaminación pueden ser también apreciables en los peces, lo que además de tener repercusiones en

el rendimiento de la pesca, puede ser igualmente peligroso para las personas.

La contaminación química de los mares y océanos reviste mucha mayor importancia que la polución bacteriana. Numerosos detergentes y pesticidas arrastrados por las aguas fluviales tienen efectos nocivos sobre las aves y otros organismos costeros, y en varias zonas de deltas y estuarios, consideradas como reservas de la fauna, se han podido apreciar en más de una ocasión los efectos desastrosos de dichos contaminantes.

Otros productos de origen industrial pueden tener efectos catastróficos sobre las poblaciones costeras. El caso más dramático sucedió hace ya bastantes años en la **bahía de Minamata**, en Japón, y fue debido a un derivado de mercurio (dimetilmercurio) contenido en las aguas residuales de una fábrica de acetaldehido que las vertía, sin depurar, en el mar. El primer caso de intoxicación por consumo de crustáceos, moluscos y peces provenientes de la zona contaminada, se observó en abril de 1956. En febrero de 1971 el número de afectados se elevaba a 121, de los cuales 22 casos eran congénitos. El 40% de las personas afectadas, en su mayoría familias de pescadores del lugar, fallecieron víctimas de lesiones cerebrales. El contaminante de mercurio estaba presente en el fitoplancton y el zooplancton, y se había concentrado finalmente en los moluscos, crustáceos y peces consumidos posteriormente por estas personas.

Desgraciadamente, los **productos petrolíferos** son un contaminante muy frecuente de nuestros mares y océanos. De tiempo en tiempo, los diferentes medios de comunicación nos informan sobre algún vertido accidental de miles de toneladas de crudo transportadas por un gran petrolero o procedentes de alguna plataforma de extracción marina de petróleo o de alguna gran instalación de almacenamiento o procesamiento del mismo. En particular, se ha estimado que por cada millón de toneladas transportado por los grandes petroleros, se vierte una tonelada de crudo al mar. Esta cifra es muy importante, dada la ingente cantidad de petróleo que se transporta diariamente por nuestros mares.

Concretamente, se ha estimado que los vertidos de petróleo al mar sólo durante la década 1991-2000 ascienden a un millón de toneladas. Aunque esta cantidad tiene un carácter aproximado (dado que los datos utilizados para realizar el correspondiente cálculo son muy imprecisos, por razones fáciles de adivinar), su cuantía es tremendamente preocupante. Los daños que dichos vertidos producen sobre las costas, los pájaros, los peces y las plantas marinas son incalculables. Todos hemos podido conocer a través de los medios de comunicación los terribles efectos que tales vertidos de crudo producen, puestos de manifiesto a través de imágenes tremendamente impactantes.

Como caso especialmente importante, podemos mencionar el accidente del petrolero **Torrey Canyon**, que tuvo lugar en Marzo de 1967, en las cercanías de Land´s End (un lugar situado en el extremo sur occidental de Inglaterra), que ocasionó el derramamiento al mar de unas 150.000 toneladas de petróleo bruto, y que contribuyó decisivamente a una toma de conciencia a nivel mundial sobre la importancia del problema de la contaminación marina por hidrocarburos. En esta ocasión, las corrientes marinas derivaron el petróleo vertido hacia las costas francesas y británicas, formando la tristemente célebre "marea negra" que se abatió sobre una gran extensión de playas y zonas costeras de estos dos países.

En Marzo de 1989, el petrolero **Exxon Valdez** encalló en las costas de Valdez, en Alaska, derramando al océano unas 42.000 toneladas de petróleo. Los efectos de este accidente fueron especialmente devastadores para esta región, de alto interés ecológico. Miles de nutrias envenenadas y miles de pájaros muertos fueron sólo algunos de los muchos efectos negativos de este vertido. La compañía Exxon gastó unos 2.000 millones de dólares en la limpieza del crudo derramado y otros 1.000 millones de dólares en satisfacer las demandas civiles y criminales originadas por el caso. Este grave accidente, cuyas secuelas todavía subsisten en la actualidad, ha vuelto de nuevo a la luz a raíz de los planes de explotación de los importantes recursos petrolíferos y naturales de esta región geográfica, un tema ahora en discusión en los Estados Unidos.

En Enero de 1993, el petrolero **Braer** sufrió un grave accidente similar junto a las islas Shetland, al norte de Escocia. A pesar de la rápida ayuda prestada por los servicios de rescate, que consiguió salvar a toda la tripulación, el buque encalló en la costa y empezó a verter al mar unas 95.000 toneladas de petróleo. Seis aviones se dirigieron rápidamente al lugar para tratar de combatir este vertido con productos químicos dispersantes, pero el mal tiempo reinante



Figura 15.- Niña de la India transportando agua para el consumo doméstico. Se ha estimado que más del 20% de las personas que viven actualmente en nuestro planeta no pueden acceder con facilidad a agua no contaminada. Los efectos de esta situación sobre su salud son sumamente graves.

impidió el éxito de la operación. Afortunadamente, la misma tormenta que dificultó esta iniciativa, ayudó a paliar en parte el problema: se estima que un 70% del petróleo vertido al mar se evaporó o dispersó por medios naturales.

En nuestro país hemos vivido recientemente una de estas experiencias. En Noviembre del 2002, el petrolero **Prestige**, después de verter al mar unas 12.000 toneladas de fuel (a través de una gran brecha en su casco), se partió en dos y se hundió a unas 130 millas del cabo Finisterre, frente a Galicia, llevándose hasta el fondo del mar unas 80.000 toneladas más de fuel. Este hecho provocó una gran marea negra que no sólo se extendió a lo largo de las costas gallegas (donde produjo daños especialmente importantes), sino que afectó igualmente a toda la costa cantábrica de nuestro país e incluso llegó hasta el suroeste de Francia. Este episodio despertó tremendos enfrentamientos entre las diferentes fuerzas políticas del país, cuyos ecos todavía no se han apagado del todo en la actualidad.

Desgraciadamente, los accidentes a los que nos acabamos de referir no constituyen más que unos pocos ejemplos de un problema que, con el tiempo, ha ido adquiriendo una magnitud verdaderamente gigantesca. A través de Internet se puede obtener mucha más información sobre este tipo de desastres ecológicos. Los **hidrocarburos** esparcidos por los mares y océanos provienen sobre todo de los petroleros que limpian sus depósitos en alta mar y vierten en cada uno de sus viajes en torno al 1% de los productos que transportan. Esta práctica generalizada (aunque ilegal) supone, al cabo de los años, cifras del orden de varios millones de toneladas de productos petrolíferos vertidos al mar.

Entre las zonas más gravemente contaminadas figura el mar Mediterráneo, frecuentado por los grandes petroleros provenientes del Oriente Medio, el mar del Norte, el canal de la Mancha y los mares cercanos a Japón.

Los perjuicios ocasionados al medio marino por el vertido de estas enormes cantidades de hidrocarburos son variados y muy importantes. En primer lugar, hay que tener en cuenta que el petróleo

arrojado al mar dificulta la oxigenación de las aguas y consume el oxígeno que necesita para su propia degradación. Por otro lado, la contaminación por hidrocarburos impide la fotosíntesis indispensable para el desarrollo del fitoplancton, una pieza clave para el medio ambiente de nuestro planeta. Finalmente, muchos animales resultan directamente intoxicados.

En particular, las aves marinas resultan muy afectadas por estos vertidos. En algunas publicaciones especializadas se cita como ejemplo de este hecho que, en el año 1965, como consecuencia del accidente del buque **Ger-Maersk**, en la desembocadura del Elba, se vertieron al mar 8.000 toneladas de petróleo. Este vertido accidental supuso la desaparición de unas 500.000 aves pertenecientes a 19 especies diferentes. Se ha calculado que, sólo en Gran Bretaña, el número de aves víctimas de la contaminación marina de hidrocarburos se eleva anualmente a 250.000 individuos. Sin embargo, las aves no son los únicos animales afectados. Los moluscos y mariscos costeros, así como los peces, son también víctimas de la contaminación por productos químicos derivados de los hidrocarburos, como el benzopireno, de conocidas propiedades cancerígenas para el hombre.

Ante todas estas amenazas, han surgido numerosas iniciativas tanto a nivel nacional como internacional para impedir la contaminación marina y luchar contra la misma. Por ejemplo, ya en una fecha tan temprana como 1962, tuvo lugar una reunión internacional en Londres, en la que participaron 55 naciones, en la que se acordó extender los límites de prohibición de vertidos de productos petrolíferos. El **Convenio de Oslo**, celebrado en 1972, como fruto de la voluntad de cooperación de doce países ribereños del Atlántico en esta materia, estableció claramente la prohibición de que los buques o las aeronaves viertan en el mar, entre otros, productos tales como compuestos orgánicos halogenados, compuestos orgánicos de silicio, sustancias varias de carácter cancerígeno, mercurio y sus compuestos, plásticos y otras sustancias sintéticas persistentes.

4.6. Tratamiento de las aguas residuales

Hasta hace relativamente poco tiempo, el poder autodepurador natural de los ríos, lagos o mares permitía el vertido directo de las

aguas residuales urbanas o industriales a estos sumideros, sin que, en general, se produjeran perjuicios de especial gravedad. Sin embargo, dada la cuantía y la naturaleza de los vertidos, esta capacidad autodepuradora ha sido ampliamente superada en la mayoría de los países desarrollados y en la actualidad es totalmente necesario el tratamiento de cualquier vertido que pueda ocasionar daños al medio.

Como es natural, la transición entre una situación y otra no ha sido brusca. A medida que avanzaba el problema de la contaminación de las aguas, y se iba tomando plena conciencia de su peligrosidad, se fue desarrollando una tecnología adecuada de anticontaminación para reducir el problema a los niveles mínimos y restituir el medio ambiente a su situación original. De hecho, hoy en día ya es relativamente frecuente hablar en ocasiones de "vertidos cero", para preconizar un reciclado prácticamente total del agua dentro de cada zona industrial o núcleo de población, como única solución para conseguir un medio satisfactorio a un coste económico razonable.

Naturalmente, las cosas no siempre han sido así. En líneas generales, las tecnologías de **tratamiento de aguas residuales** utilizadas entre 1880 y 1940 sólo eran capaces de eliminar los residuos sólidos visibles y los microorganismos patógenos contenidos en estas aguas de una forma relativamente efectiva. Hacia los años sesenta, ya existían muchas plantas depuradoras que eran capaces de eliminar también la materia orgánica. Sin embargo, los métodos usados hasta entonces fallaban en la extracción del nitrógeno y fósforo contenido en las aguas residuales. Es interesante recordar que estos dos elementos son indispensables para la vida humana y que su presencia es muy significativa en los residuos líquidos de origen humano. Por consiguiente, estos contaminantes eran vertidos en ríos, lagos u océanos en cantidades enormes, sin ninguna consideración sobre el daño que su presencia en estas aguas pudiera producir.

Como cualquier agricultor o jardinero sabe, el nitrógeno y el fósforo son dos ingredientes esenciales de los fertilizantes utilizados en agricultura. Las plantas acuáticas reaccionan ante estos nutrientes exactamente igual a como lo hacen los naranjos, los tomates o las

rosas, es decir, crecen más deprisa. En particular, cuando la concentración de estos nutrientes en las aguas es baja, los organismos que constituyen el fitoplancton son muy escasos y las aguas aparecen claras y transparentes. Sin embargo, si la situación no es ésta, la presencia de fitoplancton se multiplica de forma casi explosiva, coloreando las aguas con distintos tonos de verde, marrón y rojo (según la naturaleza de los correspondientes pigmentos). Este crecimiento se traduce en un aumento muy considerable de la presencia de materia orgánica en los respectivos ecosistemas acuáticos, un proceso que se conoce con el nombre de eutroficación. La gravedad de este proceso en muchos lagos de Europa o Estados Unidos no se reconoció plenamente hasta las décadas de los años cincuenta y sesenta.

El proceso citado es grave porque su existencia supone una disminución notable del contenido de oxígeno en las aguas, tal vez hasta un punto tal que en que esa disminución provoca la muerte de los peces y otros animales acuáticos. Hasta tal punto ello es así que decimos que los ríos o lagos en que se produce este fenómeno están muriendo. Hasta hace apenas veinte años, se creía que los mares eran prácticamente inmunes a este problema, dado que las cantidades de aguas residuales vertidas a ellos no representaban mucho más allá que de lo que supone una simple gota en una gran balsa. Hoy en día ya se sabe que las cosas no son exactamente de este modo. De ahí la necesidad de que los procesos de depuración de aguas residuales sean lo más completos posible.

Los **tratamientos** existentes en la actualidad para conseguir este objetivo último son muy variados y se suelen aplicar siguiendo un proceso secuencial. En general, en el tratamiento de aguas contaminadas podemos distinguir tres fases o etapas diferentes. En el tratamiento primario, se pretende simplemente eliminar un porcentaje elevado de sólidos en suspensión y productos inorgánicos. El objetivo del tratamiento secundario es reducir el contenido de la materia orgánica disuelta, lo cual se consigue acelerando los procesos biológicos naturales. Finalmente, en el tratamiento terciario se pretenden eliminar todos aquellos contaminantes que no hayan sido retenidos en los procesos anteriores, especialmente los contami-

nantes presentes en forma de sólidos disueltos. Esta tercera fase es necesaria cuando se pretende volver a utilizar las aguas depuradas (por ejemplo, para usos industriales o agrícolas). En condiciones ideales, se puede llegar a eliminar hasta un 99% de los productos contaminantes contenidos en las aguas a depurar. Existe también la posibilidad de aplicar un tratamiento de desinfección de las aguas depuradas, que tiene por objeto la destrucción selectiva de bacterias y virus patógenos. Además de todos los citados, se pueden aplicar también ciertos tratamientos especiales (procesos de oxidación y reducción, precipitación, etc.), cuyo objetivo último es la eliminación de algún elemento concreto.

La forma de **evacuación de las aguas depuradas** depende de factores tan diversos como su volumen, la proximidad de corrientes de agua o la dispersión de la población en la zona considerada. En consecuencia, los sistemas a utilizar son muy diferentes y pueden consistir en la evacuación a un curso de agua, a un pozo negro o fosa séptica, o en su vertido directo al suelo o al mar. Hay que tener en cuenta que, sea cual sea la forma de evacuación elegida, siempre aparecerán fenómenos de contaminación, cuya gravedad dependerá del grado de depuración a que hayan sido sometidas previamente tales aguas.

El mantenimiento de la calidad de las aguas de un río que, en la mayoría de las ocasiones, es el medio natural utilizado como evacuante, depende, dentro de ciertos límites, del volumen de agua residual vertida, del caudal del río al que se realiza el vertido, de la concentración de sustancias contaminantes del efluente, y de otros factores físicos y climáticos de la corriente de agua.

Cuando se pretende evaluar las consecuencias de un vertido de las aguas procedentes de una estación depuradora a un río, es necesario también tener en cuenta la forma en que los procesos de autodepuración o depuración natural de estas corrientes de agua afectarán a la "asimilación" de dicho vertido. Recordemos que estos procesos afectan fundamentalmente al contenido de oxígeno disuelto en las aguas del río. Cabe recordar también que, por un

lado, en estas aguas tendrá lugar siempre un cierto consumo de oxígeno, debido a la oxidación biológica de las materias orgánicas carbonadas o nitrogenadas, la descomposición de los depósitos del fondo y la respiración de las plantas acuáticas y de los organismos vivos presentes en tales aguas. Por otro lado, esas mismas aguas reciben una aportación de oxígeno, principalmente, a través de la fotosíntesis y procesos de aireación. En consecuencia, el contenido de oxígeno disuelto en las aguas de un río evoluciona a lo largo de su curso. Todos estos factores deben analizarse con el mayor cuidado en cada caso concreto.

Con todo, el control de la calidad de las aguas depuradas y las condiciones del medio al que éstas van a ser vertidas no es el problema más importante que tienen planteadas las depuradoras de aguas residuales. En muchos casos, la gestión de los **lodos de las depuradoras** es mucho más difícil. En relación con la de otros tipos de residuos, esta gestión presenta la peculiaridad de que ciertos usos y posibilidades de reciclaje están regulados por normas específicas muy severas, dado que existe la posibilidad de utilizarlos como abonos y enmiendas orgánicas de uso agrícola.

En este sentido, resulta oportuno mencionar la existencia de la **Directiva Europea** 86/278/CEE, relativa a la protección del medio ambiente y en particular de los suelos en relación con la utilización de lodos procedentes de depuradoras de aguas residuales con fines agrícolas. Esta Directiva regula las condiciones en que estos lodos especiales pueden ser aplicados a los suelos agrícolas. Como es natural, estas condiciones tienen en cuenta el posible efecto nocivo de los lodos en cuestión sobre las aguas, el suelo, la vegetación, los animales y las personas.

La citada Directiva prohibe el empleo de lodos sin tratar, salvo en los casos de inyección directa o enterramiento en el suelo, y ello siempre que estas últimas posibilidades estén autorizadas por los Estados miembro (en España no lo están). Asimismo, y con el fin de proteger la salud, la Directiva prohibe la aplicación de dichos lodos en determinados cultivos, al tiempo que establece plazos para su aplicación en los autorizados. La citada Directiva señala también

que la utilización de los lodos en agricultura debe hacerse teniendo en cuenta las necesidades de nutrientes para las plantas. Por otro lado, limita los contenidos en metales pesados y exige la realización de análisis periódicos en los suelos y lodos. Finalmente, establece la exigencia de un control estadístico de los lodos producidos en cada planta depuradora, las cantidades destinadas a uso agrícola, la composición y características de los lodos, los tipos de tratamiento a que han sido sometidos, y el destinatario y el lugar de utilización. La Directiva que estamos comentando fue transpuesta al derecho de nuestro país por el Real Decreto 1310/1990. En todo caso, cabe señalar que esta Directiva y sus posibles insuficiencias ambientales están sometidas actualmente a un proceso de valoración global.

Con toda seguridad, en España se producirá un aumento importante en la **generación de lodos** de depuradoras de aguas residuales en los próximos años, debido al considerable incremento en la depuración de aguas domésticas que se producirá como consecuencia del elevado número de estaciones de depuración construidas en los últimos años o en fase de construcción en la actualidad. Hoy en día, se dispone de muy pocos datos cuantificados sobre la generación de estos lodos en nuestro país. La descentralización de la oportuna gestión (actualmente en manos de las Comunidades autónomas) no facilita precisamente las cosas. Se sabe, por ejemplo, que, en 1998, en la Comunidad de Madrid se produjeron más de 160.000 toneladas de estos lodos, en tanto que en Cataluña se produjeron más de 240.000 toneladas.

A partir de los datos disponibles sobre esta cuestión, se ha estimado que en dicho año 1998, la cantidad total de lodos procedentes de la depuración de aguas residuales en España superó las 800.000 toneladas, cantidad referida a la materia seca de dichos lodos. Se ha estimado también que un 20% aproximadamente de estos lodos se deposita en vertederos, un 50% de ellos se destina a la producción de abonos para usos agrícolas (compost), un 10% es incinerado y el 20% restante se vierte al mar. En todo caso, no vale la pena que nos extendamos mucho más sobre este tema, dado que la situación está variando significativamente de día en día, tanto por lo que se

refiere a la construcción de nuevas plantas depuradoras de aguas residuales como a la utilización de nuevas técnicas de procesamiento y gestión de los lodos producidos en ellas.

4.7. Efectos sobre la salud

Como ya hemos indicado anteriormente, desde el punto de vista evolutivo, ecológico o fisiológico, el agua es imprescindible para todas las formas de vida. De este hecho se desprende que la disponibilidad de agua apta para el consumo, la preparación de alimentos, la higiene personal y doméstica, la agricultura o la producción de energía, es un factor esencial para garantizar la salud y el bienestar de los seres humanos.

En general, la **disponibilidad de agua** abundante permite establecer un cuadro higiénico que evita o limita la propagación de enfermedades infecciosas, tanto en los seres humanos como entre los animales. Sin embargo, el agua es también un importante vehículo de transmisión de muchas enfermedades que han afectado a la humanidad durante siglos. Algunas de estas enfermedades se manifiestan en graves epidemias, pero otras son endémicas y producen efectos crónicos y debilitantes. Tanto el exceso de agua (en caso de inundaciones) como la escasez y su calidad deficiente, pueden afectar a los seres humanos.

Los recursos hídricos, tanto los superficiales como los subterráneos, se están volviendo cada vez más escasos como consecuencia del aumento mundial de la población y de la acción del ser humano sobre el medio ambiente. En este proceso, los recursos hídricos del planeta han sido profundamente afectados, tanto en lo que respecta a su calidad como a la cantidad disponible.

Si bien los sistemas de recogida de **aguas residuales** han disminuido el riesgo para la salud pública en los centros urbanos, hay que tener en cuenta que con esta práctica sólo se transportan los desechos recogidos a algún destino elegido, donde, con suerte, se aplica algún tratamiento antes de descargarlos en el suelo, el mar o alguna corriente de agua adecuada. La densidad y variedad de agentes patógenos para los humanos que se descargan en este

último caso están relacionadas con la población atendida por el sistema de recolección de aguas residuales, el carácter estacional de determinadas enfermedades y el grado de las infecciones de una comunidad dada en un momento dado. Tampoco hemos de olvidar que las escorrentías pluviales y las inundaciones son la causa principal del deterioro transitorio de la calidad del agua en los recursos hídricos. Por otro lado, la repercusión de las escorrentías pluviales en la calidad del agua está relacionada con los usos de la tierra en toda la cuenca hidrográfica que estemos considerando. Estas escorrentías en las zonas rurales pueden dar lugar a una contaminación importante de las aguas por diferentes microorganismos patógenos (tales como los *giardia*, *cryptosporidium*, *campylobacter* y *yersinia*) provenientes de la fauna silvestre y del ganado que pueda vivir en dicha cuenca, así como de granjas o corrales de engorde de diferentes tipos de mamíferos y aves.

Los rellenos sanitarios indebidamente ubicados, mal diseñados o con un funcionamiento deficiente que reciben basuras, desechos de animales y lodos de las plantas de tratamiento de aguas también pueden contribuir con una descarga significativa de agentes patógenos a las aguas subterráneas y superficiales.

Los residuos sólidos urbanos (basuras) no sólo contienen desperdicios de alimentos, plásticos, telas, cartón, estiércol y piedras, sino que también pueden contener agentes patógenos. A todo ello se unen las heces de roedores y aves que hurgan en los vertederos en busca de alimentos.

Los estudios realizados al respecto ponen de manifiesto que el número de personas, animales domésticos y fauna silvestre que pueden resultar infestados por estos agentes patógenos varía entre el 1% y el 25% de la población total para un tipo dado de animal de sangre caliente.

El hacinamiento humano tanto en las ciudades antiguas como modernas, sumado al desarrollo no reglamentado de las comunidades satélites, puede ejercer una presión excesiva sobre las oportunas infraestructuras de saneamiento (abastecimiento y distribución de agua potable, recogida y tratamiento de aguas residuales, disposición de

residuos sólidos). Si a estos problemas agregamos la gran movilidad actual de muchas personas (incluso a escala internacional), resulta evidente que las enfermedades producidas por la contaminación del agua pueden alcanzar proporciones epidémicas en sitios muy alejados entre sí.

En las aguas destinadas al consumo humano se han detectado numerosos agentes patógenos. Todos estos microorganismos pueden clasificarse en cuatro grandes grupos: bacterias, virus, protozoos y helmintos.

Nos parece importante indicar también que, desde el punto de vista de la salud pública, las **enfermedades relacionadas con el agua** se suelen clasificar en cuatro grandes grupos, correspondientes a las transmitidas directamente por el agua, las vinculadas con la falta de higiene, las producidas por contacto con el agua y las transmitidas por vectores de hábitat acuático. A los grupos anteriores se añade un quinto grupo, relativo a las enfermedades diseminadas por el agua, cuya importancia se comienza a reconocer en los países desarrollados.

Las enfermedades vinculadas con la **falta de higiene** se caracterizan por la escasez o la difícil accesibilidad del agua para la higiene personal y doméstica. Dondequiera que ocurra esto hay siempre una alta incidencia de enfermedades diarreicas, y generalmente una incidencia igualmente elevada de enfermedades cutáneas tales como la tiña y el impétigo, así como enfermedades oculares tales como el tracoma y la conjuntivitis, y también la sarna, pediculosis y el tifus. La incidencia de todas estas enfermedades disminuye drásticamente en cuanto se dispone de un abastecimiento adecuado de agua. La cantidad de agua disponible es un factor esencial en este sentido, incluso aunque la calidad de la misma no sea la óptima, dado que la desinfección de los suministros de agua tiene un efecto sanitario positivo pero limitado.

Las enfermedades que se producen por **contacto con el agua** ocurren cuando ésta ha sido contaminada por heces, o bien sirve de hábitat a los agentes patógenos o a los huéspedes intermediarios. Estas enfermedades se producen cuando las formas larvarias infeccio-

sas se ponen en contacto con los seres humanos, mientras éstos se sumergen, se bañan o nadan en el agua, o como consecuencia de la ingestión de moluscos, crustáceos o peces infestados. La desinfección de los abastecimientos de agua potable no influye en la incidencia de estas enfermedades.

Cuando hablamos del tema del agua y la salud, no podemos olvidar que el agua proporciona un hábitat o un área de reproducción favorable para los insectos vectores de determinadas enfermedades. Como ejemplos de estas enfermedades podemos mencionar la malaria (transmitida por mosquitos), la filariasis, el dengue, la fiebre amarilla y la encefalitis. También cabe citar en este sentido a la mosca transmisora de la oncocercosis (ceguera de los ríos). La desinfección de los abastecimientos de agua tampoco influye en la ocurrencia de estas enfermedades.

Como hemos dicho anteriormente, el agua es un **factor de diseminación** de muchas enfermedades. Este grupo de enfermedades está adquiriendo cierta importancia en los países desarrollados, donde los agentes patógenos infectan a los seres humanos a través de las vías respiratorias. Por ejemplo, los trofozoitos de las amebas *Naegleria fowleri* y *Acanthamoeba culbertsoni*, que habitan en las aguas dulces templadas, pueden establecerse en las mucosas de las personas que se bañan en estas aguas, proliferando en ese medio y llegando a causar con relativa frecuencia una meningoencefalitis mortal.

En particular, la **legionelosis** fue descrita por primera vez en el año 1976 con motivo de una grave epidemia que se produjo en un hotel de Pensilvania (Estados Unidos), donde afectó a los asistentes a una convención de la legión americana. El agente causante de esta enfermedad, la *legionella pneumophila*, era una bacteria desconocida hasta esa fecha. La *legionella* habita de manera natural en el agua, sin representar ningún peligro para la salud humana a menos que pase al ambiente en forma de aerosol (en estas condiciones se forman gotas muy pequeñas que pueden ser respiradas por las personas e introducir el germen en los pulmones). Esta situación puede darse con cierta facilidad en las conducciones de agua de consumo (por ejemplo, en

las duchas), en las torres de refrigeración de los acondicionadores de aire, en los humidificadores o en las fuentes públicas, etc. Se sabe que la legionelosis afecta con mayor frecuencia a las personas de más de cincuenta años, varones, fumadores y con problemas de salud. Pueden aparecer casos esporádicos o presentarse en forma de brotes, como los ocurridos en los años 2000/2001 en nuestro país (en Alcoy, Barcelona, Navarra o Murcia) y que se han repetido con alguna frecuencia en los años siguientes. La enfermedad empieza manifestándose con dolores de cabeza, dolores musculares y fiebre. En poco tiempo aparecen escalofríos y tos. La legionelosis afecta sobre todo a los pulmones en forma de neumonía y puede llegar a producir la muerte. Una vez identificada la fuente de donde procede la bacteria, para controlar el brote se utiliza hiperclorato y calor en los depósitos y conductos del agua contaminada.

El agua puede actuar también como un simple **agente transmisor de enfermedades**. Estas enfermedades se transmiten por la ingestión de agua que ha sido contaminada por microorganismos patógenos, principalmente a través de heces humanas. La ingestión puede ser directa, por agua potable, o indirecta, a través del consumo de alimentos o bebidas que hayan sido preparados con agua contaminada; La ingestión puede ser también accidental y producirse durante la práctica de la natación u otras actividades recreativas.

Para concluir, es importante destacar que casi la mitad de la población de los países en desarrollo padece enfermedades transmitidas por el agua. Entre ellas destacan el cólera, la disentería, la fiebre tifoidea, la giardiasis, la hepatitis A y el rotavirus. En particular, las enfermedades diarreicas son la causa principal de mortalidad y morbilidad infantil en los países en desarrollo. Se calcula que del total de defunciones mundiales vinculadas con las diarreas, más del 90% ocurren en niños menores de 5 años de edad. Se calcula que los niños sufren un promedio de tres episodios de diarrea por año, aunque en ciertas zonas se pueden producir hasta nueve episodios anuales. Cada uno de estos procesos contribuye a reducir el estado de nutrición de los pacientes, frenando en gran medida el crecimiento y obstaculizando el desarrollo mental.

5. ENERGÍA Y MEDIO AMBIENTE

5.1. Introducción

La energía es uno de nuestros conceptos más familiares. La gente habla con frecuencia de la energía que despliegan los niños, de la energía producida por el sol, de la energía de los vientos o de los volcanes. Todos tenemos una idea más o menos aproximada sobre la naturaleza, las características o la cuantía de la energía asociada a un automóvil en marcha, al péndulo de un reloj mecánico, o a la explosión de una bomba nuclear. En cualquier libro de termodinámica, podemos leer que la energía de un sistema representa su capacidad de realizar trabajo. De acuerdo con la mecánica relativista, la energía de un cuerpo equivale al producto de su masa por el cuadrado de la velocidad de la luz en el vacío.

La **energía** es todo eso y mucho más. La energía es calor, luz, electricidad y capacidad de realizar trabajo. La energía es también materia. Esta última faceta es precisamente la que nos permite afirmar que la energía es la esencia última del universo. Sin embargo, el conocimiento de este hecho y sus implicaciones es muy difícil de comprender para el hombre de la calle. Desde el punto de vista práctico, es mucho más importante que todos seamos conscientes de que la energía es, en última instancia, lo que permite producir los alimentos que consumimos, lo que nos facilita el transporte de un lugar a otro, o lo que proporciona unas elevadas cotas de confort a nuestros hogares. En realidad, la energía tiene un papel capital en las sociedades desarrolladas. Sin la disponibilidad de energía no se podrían edificar nuestras viviendas, fabricar los muebles y utensilios

que necesitamos, utilizar los modernos medios de transporte, producir la mayoría de nuestros alimentos, editar un libro o un periódico, escuchar la radio, ver la televisión o hablar por teléfono, entre otras muchas actividades ligadas a nuestra vida cotidiana.

Cuando el suministro de energía está en peligro, todo lo que depende de dicho suministro está también en peligro. No sólo nuestra forma de vida, sino la vida misma. En cierto sentido, podríamos considerar incluso que la pobreza, el hambre o la escasez de agua, presentes en unas u otras regiones del planeta, están relacionadas con las dificultades para el **suministro de energía**. Ahora bien, este suministro debe llevarse a cabo sin perjudicar los grandes sistemas naturales de la Tierra de los que depende el balance energético y el clima, y sin dañar en lo más mínimo a la biosfera de la que el propio hombre forma parte.

El temor a la escasez de la energía ha dominado la historia mundial durante estas últimas décadas. Este temor se agravó considerablemente a raíz de los trabajos del Club de Roma. Sin embargo, es interesante recordar que, a lo largo de la historia, el temor a la escasez de energía ha llevado siempre a la búsqueda de nuevos recursos, que siempre se han encontrado. En un tiempo, la fuente de energía predominante fue el carbón (sustituyendo a la madera). Más adelante, apareció el petróleo. A continuación, llegó la energía nuclear. Tal vez en el futuro, las fuentes predominantes sean las renovables, encabezadas por la energía solar. El hombre ha pasado así sucesivamente de una fuente de energía a otra, de la misma forma que ha evolucionado de una civilización a otra.

Para entender mejor esta situación, bastará recordar los profundos cambios que ha experimentado la humanidad a lo largo del último siglo y medio de su historia y el importante **papel de la energía** en el mundo moderno. En 1850, la energía que consumía el hombre procedía en gran parte de sus propias manos y de la ayuda ocasional que le prestaban algunos animales de labor. Siglo y medio más tarde, la situación ha experimentado un vuelco total: más del 95% de la energía que consume hoy en día la humanidad es de origen mecánico.

Vamos a estudiar con mayor detenimiento esta cuestión, refiriéndonos en particular a los sistemas de transporte y su evolución temporal. A lo largo de casi toda la historia de la humanidad, las personas no han contado con otra cosa que sus propios músculos para transportarlos o, si acaso, con la ayuda de algunos animales. Tengamos en cuenta, por ejemplo, que, hasta bien entrada la Edad Media, todas las necesidades de la vida diaria podían ser cubiertas con recursos que se encontraban, en principio, al alcance prácticamente inmediato de todos sus habitantes. Los mercados, los comercios, los lugares de trabajo y las viviendas estaban agrupados en espacios relativamente pequeños, fácilmente accesibles para todos. Las ciudades eran prácticamente autosuficientes, y cubrían todas las necesidades de alimentos recurriendo a las cosechas que se obtenían en los campos más próximos o, a lo sumo, procedían de lugares que podían alcanzarse con relativa facilidad viajando con animales y carros durante un par de días.

Más tarde, el hombre supo encontrar nuevas fuentes de energía y utilizarlas para facilitar su transporte. A medida que los sistemas de transporte fueron desarrollándose, el tamaño de las ciudades fue creciendo. En una fecha tan tardía como 1830, los abastecimientos de las poblaciones situadas en los alrededores de Londres eran realizados con medios de tracción animal y estaban limitados a la producción de los campos más próximos. Los nombres de estas poblaciones son los que leemos actualmente a lo largo de las líneas de ferrocarriles de cercanías, que transportan en pocos minutos a los miles y miles de personas que se mueven cada día de un extremo a otro de esta gran área metropolitana.

Hoy en día, la abundancia de energía proveniente del petróleo ha hecho posible que los productos básicos puedan ser transportados a distancias de miles de kilómetros, por carretera o ferrocarril, en muy pocos días. Los barcos permiten acceder a todo el mundo a las zonas ricas en materias primas, alimentos o pesca. Ciertos artículos de lujo no desdeñan incluso el uso del avión para su transporte desde los lugares de producción hasta los lugares de consumo alejados miles de kilómetros. Los modernos sistemas de refrigeración (por

supuesto, basados en el consumo de energía) permiten conservar adecuadamente estos suministros. Una medida del enorme cambio que se ha producido en este sentido lo da el hecho de que una tonelada de petróleo proporciona la misma energía que la que producirían durante una hora 16.000 caballos. Un par de camiones modernos podría sustituir a todo el sistema de transporte con el que contaban algunas de las ciudades más grandes del mundo hace tan sólo un par de siglos.

Con todos los matices y consideraciones que podamos introducir al tratar este tema (desde diferentes perspectivas políticas o sociales), nadie puede negar que la energía es un factor fundamental en el mundo moderno. Cocina nuestros alimentos, hace funcionar nuestros diferentes sistemas de transporte, calienta o refrigera nuestros hogares y mantiene la actividad de un número incalculable de industrias y servicios de todo tipo. En términos generales, podemos afirmar que la energía contribuye sustancialmente al bienestar y calidad de vida de las personas.

El importante papel desempeñado por la energía en la primera revolución industrial es un hecho bien conocido por todos. Junto con otros factores, no hay duda de que la disponibilidad de energía abundante y barata (fundamentalmente, carbón) proporcionó en aquel tiempo las condiciones necesarias para que se produjera dicha revolución en ciertos países de Europa o en los Estados Unidos.

Saltando a una época mucho más cercana, resulta también evidente que la disponibilidad de cantidades ingentes de energía a bajo precio fue uno de los elementos decisivos en el desarrollo de las economías occidentales durante los años cincuenta y sesenta del pasado siglo. La gran estabilidad de los precios del petróleo y su competitividad frente a otras fuentes de energía motivaron un crecimiento enorme en la demanda de este combustible, tanto en términos absolutos como relativos. Concretamente, en los países de la OCDE, el petróleo constituyó el 39% de la energía consumida en 1960 y el 53% de ese total en 1970. En algunos casos muy concretos, el aumento del consumo del petróleo adquirió el carácter

de verdadero despilfarro. En general, la demanda de energía en los países más desarrollados creció a un ritmo muy superior al de sus respectivos productos interiores brutos.

A finales de 1973 se produjo una verdadera convulsión en esta situación. Bruscamente, los países productores y exportadores de petróleo multiplicaron por cuatro el precio del crudo. Esta medida vino acompañada por la aplicación de determinados embargos parciales como arma política (es importante recordar que en Octubre de dicho año estalló la guerra entre Israel y los países árabes). Como es natural, el aumento del precio del petróleo repercutió directamente en el precio de otras fuentes de energía. Se inició así una importante crisis energética.

Entre otras consecuencias, esta **crisis de la energía** puso de manifiesto la tremenda fragilidad de los esquemas de producción y consumo de energía imperantes hasta ese momento en la mayoría de los países del primer mundo. Dada la incidencia directa que el coste de la energía tiene sobre los precios de numerosos productos, la espectacular alza de los precios del petróleo provocó situaciones inflacionistas muy importantes en todos esos países. La canalización de recursos financieros considerables hacia los países productores y exportadores de petróleo, sin que tuvieran lugar las necesarias contrapartidas en la demanda de bienes y productos por parte de estos últimos países, tuvo una fuerte repercusión sobre las balanzas comerciales de los países importadores de crudo y generó grandes desequilibrios económicos en todo el mundo.

En vista de esta situación, fueron muchos los países que comenzaron a plantearse seriamente la necesidad de llevar a cabo un reajuste global de sus economías y pautas de crecimiento. En ciertos casos, se pusieron en vigor algunas medidas puntuales destinadas a reducir sensiblemente los consumos energéticos (restricciones del tráfico, cortes en el suministro eléctrico, etc.). En un sentido más general, se puso de manifiesto la necesidad de esforzarse en buscar modelos de crecimiento menos intensivos en energía. Se empezaron a tomar en consideración las previsiones calificadas hasta ese momento

como pesimistas, y que vaticinaban dificultades muy importantes hacia finales del siglo XX si no se corregían de forma significativa las pautas seguidas normalmente hasta entonces. Concretamente, se hizo patente la necesidad de restringir al máximo el consumo de petróleo e introducir nuevas fuentes de energía a medio plazo. En cualquier caso, la reducción del consumo energético planteó la necesidad de establecer políticas restrictivas en la demanda y, como consecuencia, se generó un notable crecimiento en los niveles de desempleo en muchos países industrializados.

Sin embargo, hay algo en toda esta situación que no se entiende muy bien. Si todos somos conscientes de que en el mundo existe una inmensa cantidad de recursos energéticos, directamente a nuestro alcance o sencillamente potenciales, ¿por qué seguimos hablando del problema de la energía?

Hay tres razones para ello. La primera es que estos recursos necesitan ser extraídos, transportados y convertidos en energía utilizable. Independientemente de su elevado coste, todos estos procesos y la utilización de estos combustibles (esta afirmación se refiere específicamente a los llamados combustibles fósiles, es decir, al carbón, petróleo y gas natural) generan residuos indeseables, que cada vez producen mayores problemas y que en muchos casos son nocivos.

La segunda razón se refiere a la cuantía actual de nuestras necesidades de energía y a sus tasas de crecimiento, un hecho de la mayor importancia en el tema que nos ocupa, y sobre el que volveremos más adelante.

La tercera razón es una consecuencia de la anterior. Los recursos a los que estamos refiriéndonos están muy desigualmente repartidos en el mundo. Por lo tanto, asegurar su aprovisionamiento en cualquier circunstancia es un tema del máximo interés para todos, especialmente para aquellos países que no cuentan con suficientes recursos propios.

Aunque la **situación actual** no es tan dramática como lo fue en la época a la que nos hemos referido anteriormente (principios

de los años setenta) y se han producido muchos cambios en varios sentidos durante estas últimas décadas, no se puede negar que, en términos generales, las condiciones que definieron la crisis energética descrita persisten en la actualidad. Es evidente que no estamos ante una crisis de carácter coyuntural o cíclico, sino ante una crisis muy grave y profunda (tanto si queremos reconocerlo como si no), cuyas características más importantes intentaremos analizar con detenimiento a continuación, aportando algunos datos significativos sobre este problema.

5.2. Producción y consumo de energía

Desde el inicio de la Revolución Industrial, la demanda de energía no ha cesado de crecer en el mundo, y todas las previsiones indican que seguirá creciendo en el futuro. Hoy en día consumimos cuatro veces más energía que hace cuarenta años. Además, al consumo de los países industrializados se va sumando la demanda de los países en vías de desarrollo, que, como es natural, necesitan elevar su nivel de vida. Esta situación contrasta muy claramente con el hecho de que la producción y el consumo de energía, al menos tal como vienen realizándose en la actualidad, son los principales causantes de la degradación de nuestro medio ambiente.

Aunque sea a un nivel puramente intuitivo, todos tenemos la percepción de que las necesidades de energía de nuestro mundo moderno son enormes. En este apartado vamos a tratar precisamente de esta cuestión, aportando algunos datos relevantes. Sin embargo, nos ocuparemos sobre todo de estudiar los diferentes recursos o **fuentes de energía** con que la humanidad cuenta para atender tales necesidades. En general, sabemos que el carbón, el petróleo y el gas natural son las bases de nuestra sociedad industrial, pero hemos de ser conscientes también de que estos recursos están desapareciendo a un ritmo muy rápido. En los últimos treinta años el consumo de carbón en el mundo casi se ha duplicado, en tanto que el consumo de petróleo se ha multiplicado por diez y el del gas natural por veinte (cifras aproximadas). En consecuencia, la cuestión de cuánto tiempo pueden durar todos estos recursos es de una enorme importancia.

Muchas personas son optimistas acerca de las alternativas potenciales a los combustibles fósiles. Las bases para ese optimismo son diversas. Por ejemplo, sabemos que nuestro planeta cuenta con inmensos recursos hidrológicos. Existen importantes cantidades de petróleo en arenas bituminosas, prácticamente sin explotar. Se puede también extraer energía del sol, el viento, las olas del mar, o el interior de la tierra. Otra posibilidad es convertir los desechos orgánicos en gas metano. La energía nuclear es otra alternativa, aunque ésta se presenta llena de incertidumbres. Finalmente, se cuenta con la promesa de la energía de fusión, es decir, el mismo tipo de energía que se produce al explosionar una bomba de hidrógeno, aunque controlada en este caso con fines pacíficos.

Sin embargo, cuando se toman en consideración los diversos recursos de energía de la Tierra es necesario ir mucho más allá de las consideraciones sobre su magnitud absoluta, o su potencial teórico en el caso de que se pudieran desarrollar las técnicas necesarias para lograr su utilización. La disponibilidad práctica de energía está limitada por muy complejas restricciones de carácter geográfico, político, económico, social y técnico. Por ejemplo, el hecho de que Rusia, por ejemplo, posea más del 60% de las reservas mundiales de carbón y que en Oriente Medio esté localizado un porcentaje similar a éste de las reservas mundiales de petróleo son datos importantes a considerar cuando se diseñan las pautas de consumo de estos combustibles en el futuro. En otras palabras, la existencia de un recurso dado no supone que éste sea asequible para todos. El reconocimiento del potencial de la energía nuclear no supone, ni mucho menos, la posibilidad de construir centrales nucleares totalmente seguras.

En el año 2000, el **consumo mundial de energía** ha sido del orden de 20.000 millones de toneladas equivalentes de carbón (Tec). Esta unidad práctica se suele utilizar para expresar los datos de producción o consumo de energía en relación con cualquier tipo de fuente energética. La cantidad citada (cifra obtenida por extrapolación a partir de datos correspondientes a años anteriores) equivale a todo el carbón que cabría en un depósito cúbico de unos 2.200 metros de lado lleno de este combustible. Expresado en otros

términos, se podría afirmar que cada habitante del planeta Tierra consumió durante dicho año unas tres toneladas equivalentes de carbón (aproximadamente).

Sin embargo, en este sentido, las diferencias existentes entre los países desarrollados y los no desarrollados son enormes. Es importante recordar que, en general, existe una correlación muy clara entre los consumos de energía de un país y su producto interior bruto. Por ejemplo, en los países de Europa occidental se consumen de 5 a 10 Tec por habitante y año, en tanto que en muchos países de África apenas se llega a las 0'3 Tec por habitante y año.

El **caso de los Estados Unidos** merece una mención aparte. Su consumo anual de energía es del orden de 30 Tec por habitante, es decir, un valor diez veces superior al valor medio mundial. Vale la pena insistir en el hecho de que en un país donde reside sólo un 3% de la población mundial, se consume el 30% de la energía que se produce en todo el mundo (cifras aproximadas). En particular, el coste de la gasolina en los Estados Unidos es actualmente de unos dos dólares por galón, es decir unos 40 céntimos de euro por litro. Como es natural, este precio (increíble para cualquier europeo) no refleja ni remotamente el coste que representa asegurar los correspondientes suministros (por ejemplo, en gastos militares), los desequilibrios que originan las importaciones de crudo sobre la balanza de pagos, los daños que provocan los gases emitidos en su combustión sobre la salud de las personas y sobre los bienes, ni mucho menos, los efectos nocivos sobre el medio ambiente a largo plazo. La reducción del consumo de combustibles fósiles en este país, con la consiguiente reducción en la emisión de agentes contaminantes a la atmósfera, obligaría a un replanteamiento drástico de toda su política de transporte, cuyas repercusiones sociales y económicas serían sin duda extraordinariamente importantes. Y esto es sólo un ejemplo de lo que podría ocurrir en otros casos.

Por supuesto, los datos y comentarios anteriores no deberían hacernos olvidar la existencia de enormes **diferencias en el consumo** de energía de los habitantes de un mismo país. Alguien se ha referido

a este tema hablando de "abstemios" por obligación y de "borrachos" energéticos. Las diferencias en el nivel de vida repercuten fuertemente en las cifras de consumo individual (transporte, aire acondicionado, etc.). En este sentido, nos limitaremos a dar sólo un elemento de reflexión: cada pasajero del avión Concorde, en un vuelo de Nueva York a París (con una duración de poco más de cuatro horas) consumía los 2/3 de la energía que le corresponde como miembro de la comunidad mundial para todo un año. El hecho de que este modelo de avión ya no esté en servicio en la actualidad no resta ni un ápice de dramatismo a las cifras que acabamos de mencionar.

Un factor clave de esta discusión se centra en el crecimiento experimentado durante estas últimas décadas por el consumo mundial de energía y sus posibles repercusiones futuras. A principios del siglo XX, este consumo aumentaba a razón de un 3% anual (como consecuencia del proceso de rápida industrialización de los países occidentales). Entre 1910 y 1950, el crecimiento fue del 2% anual. Las diferencias existentes entre unos países y otros de todo el mundo se pueden explicar fácilmente en función de las condiciones específicas en que dichos países se encontraban en aquella época. Sin embargo, a partir del año 1950, el consumo energético se dispara y se produce un crecimiento del 5% anual (siempre a escala mundial). ¿Qué significa esta cifra? Sencillamente, que, en los últimos tiempos, el consumo mundial de energía se ha duplicado cada quince años.

Estos datos son aterradores. Y lo son porque, hoy por hoy, este consumo se cubre básicamente mediante el uso de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural). El hecho de que las reservas mundiales de estos combustibles sean enormes (aunque con una distribución muy irregular) no debería de parecernos un elemento suficientemente tranquilizador si tenemos en cuenta que, en todo caso, se trata de existencias limitadas, es decir, no renovables.

Dada su importancia, vamos a insistir un poco más sobre esta cuestión. Se ha estimado que la humanidad, a lo largo de toda su historia, ha consumido un 30% de las reservas de carbón y un 15% de las reservas de petróleo de todo el mundo. Ciertamente, cuando

lo expresamos en estos términos, el problema no parece revestir demasiada gravedad. Sin embargo, el significado de estas mismas cifras adquiere una dimensión mucho más preocupante cuando las contemplamos desde otros puntos de vista. Por ejemplo, podríamos recordar que el consumo de carbón entre los años 1950 y 1980 (sólo tres décadas) fue mucho mayor que en toda la historia de la humanidad hasta entonces. En el caso del petróleo, los datos son todavía más espectaculares: entre 1960 y 1970 (una sola década) el mundo consumió más petróleo que durante los 100 años anteriores, es decir, desde el descubrimiento de este combustible en el año 1859.

En cualquier caso, la tasa de **aumento del consumo de energía** es mucho mayor que la del crecimiento demográfico, lo cual conlleva por supuesto un claro aumento de lo que podríamos llamar "bienestar energético" de la humanidad en su conjunto. Por descontado, hemos de insistir una vez más en el carácter general de esta afirmación y en la falacia que puede suponer el dejar a un lado en todos estos razonamientos cualquier tipo de consideración relativa a los fuertes desequilibrios existentes en la distribución de este bienestar a escala mundial.

Cabe señalar que, durante los últimos años, el incremento más importante en el consumo de energía (en términos relativos) se ha producido en los países en vías de desarrollo, con el fin de aumentar su nivel de industrialización, elevar sus niveles de bienestar y afrontar su espectacular crecimiento demográfico. En este sentido, destacan especialmente China, India o Méjico. Para ilustrar este hecho con cifras, nos parece interesante recordar, por ejemplo, que en el periodo 1980-1985, la población de los países no industrializados aumentó en un 11%, mientras que su consumo de energía lo hizo en un 22%. En los países desarrollados, estos aumentos fueron del 3% y 5%, respectivamente.

Un elemento adicional de información muy importante se refiere a la forma en que ha evolucionado la utilización de unas fuentes de energía u otras a lo largo del tiempo. Por ejemplo, en 1900, el 94% de la energía consumida era carbón y tan sólo un 4% correspondía

al petróleo. En 1940, el 75% de la energía consumida procedía del carbón, el 18% del petróleo y el 5% del gas natural. Finalmente, en 1980, la distribución había cambiado de nuevo: el 30% de carbón frente al 48% de petróleo y el 19% de gas natural. En ese mismo año, la aportación conjunta de la energía hidráulica y nuclear apenas llegaba al 3%. Por supuesto, esta evolución no es un producto de la casualidad, sino una consecuencia directa de imperativos económicos muy fuertes, descubrimiento de nuevos yacimientos, alteraciones en la demanda, innovaciones tecnológicas, etc.

Para concluir este apartado, nos parece interesante reproducir aquí algunos datos relativos al **consumo de energía en España**, correspondientes al año 1998. En dicho año, el consumo de energía primaria en nuestro país ascendió a unos 114 millones de toneladas equivalentes de petróleo (es decir, más de 300.000 toneladas cada día). La fuente de energía más importante corresponde al petróleo, con un 54% de dicho total. A continuación, se sitúan el carbón (16%), la energía nuclear (13%) y el gas natural (10%). En su conjunto, las energías renovables contribuyen con algo más del 6% a la citada cantidad.

5.3. Los combustibles fósiles

Hasta ahora hemos presentado una visión general del problema de la energía (consumo y producción), tanto a escala mundial como de nuestro país. Nuestra intención es proporcionar ahora alguna información adicional sobre las fuentes de energía más significativas, con el fin de que podamos comprender mejor la situación actual y las perspectivas futuras de dicho problema. Por razones metodológicas, agruparemos las fuentes de energía en tres grandes grupos: los combustibles fósiles, la energía nuclear y las energías alternativas.

El **carbón** es un combustible fósil formado por los restos de la vida vegetal de épocas muy remotas. Es, con diferencia, el combustible fósil más abundante. El origen de la hulla se sitúa a mediados de la era Paleozoica (concretamente, en el denominado periodo Carbonífero), hace unos 300 millones de años. Los depósitos posteriores,

producidos en la época del Cretáceo y el Terciario, son el origen de los actuales lignitos y carbones grises.

En la época en que se formó el carbón, el clima de la Tierra era cálido y húmedo y el nivel de dióxido de carbono en la atmósfera era probablemente mayor que en la actualidad. Estas condiciones favorecieron el crecimiento de enormes masas vegetales. Las características del carbón vienen determinadas por los tipos de vegetación que lo han originado y los procesos geológicos subsiguientes que han intervenido en su formación. Su composición varía considerablemente de unos yacimientos a otros. Su contenido en carbono varía entre el 85 y 95%. Otros componentes son el hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre.

Las propiedades de los diferentes carbones determinan sus posibles usos (calefacción, industria siderúrgica, etc.). Muchos de estos usos dependen de la cantidad de azufre que contienen (la riqueza en este elemento es del orden del 0'8%). Cabe recordar que la combustión de carbón con un elevado contenido de azufre produce importantes problemas de contaminación del aire.

A lo largo del tiempo, se han llevado a cabo muchas estimaciones sobre la cuantía de las reservas de este combustible en todo el mundo. Las cifras varían considerablemente de unas fuentes a otras. Algunas de estas estimaciones hablan de una cantidad del orden de 15 billones de toneladas métricas. La mayor parte de estos recursos se encuentran en Rusia (55%), seguida por Estados Unidos (27%), Asia (9%) y Europa (5%). No es fácil estimar qué proporción de estos recursos es explotable. Esto depende fundamentalmente de las condiciones económicas bajo las que tenga lugar la extracción. Por ejemplo, si los costes de explotación son elevados, está claro que sólo se extraerá el carbón que resulte más accesible, a no ser que se produzca un gran incremento en su demanda.

Cuando muchos creían que el carbón estaba a punto de pasar a mejor vida, nuevos desarrollos tecnológicos están permitiendo que esta fuente de energía mantenga toda su vigencia. Concretamente, el carbón cubre hoy en día el 25% del consumo energético mundial.

Sin embargo, la energía producida a partir de la combustión del carbón es la menos aconsejable desde el punto de vista medioambiental, dado que este material produce, por unidad de energía producida, un 17% más de dióxido de carbono que el petróleo y un 43% más que el gas natural. La combustión de este combustible fósil es la principal responsable del vertido a la atmósfera terrestre de ingentes cantidades de gases contaminantes (óxidos de carbono, nitrógeno y azufre). Afortunadamente, en la actualidad, el panorama en este sentido ya no es tan alarmante como lo era hace unos pocos años, gracias al desarrollo de nuevas tecnologías para su combustión (por ejemplo, el llamado ciclo combinado de gasificación integrada), que eliminan grandes porcentajes de estas emisiones, al tiempo que aumentan los rendimientos energéticos de la combustión.

En el año 2000, la producción mundial de carbón ha sido del orden de 5.000 millones de toneladas (se trata de una estimación obtenida por extrapolación a partir de datos reales). Algunos especialistas han estimado que, con las tasas de consumo y las técnicas de extracción actuales, las reservas mundiales de carbón podrían durar, al menos, 250 años. El descubrimiento de nuevos yacimientos y los posibles avances en las correspondientes técnicas de producción podrían elevar este plazo en una cuantía muy importante, tal vez hasta los 1.500 años.

Naturalmente, las cosas son bastante más complejas en la realidad. Basta contemplar los problemas de la minería en Europa para entenderlo. El contexto económico y social, las presiones medioambientales, y la desviación del consumo hacia otras fuentes de energía más asequibles, son factores determinantes a la hora de intentar predecir el futuro de este combustible.

La palabra **petróleo** (literalmente, aceite de roca) se utiliza en la actualidad para designar una gran variedad de hidrocarburos, desde el metano o gas natural hasta los líquidos de variada viscosidad y las parafinas sólidas. El origen y las secuencias de formación del carbón y el petróleo tienen muchos puntos en común, aunque presentan también importantes diferencias. Una de estas diferencias se refiere a la temperatura a la que se encuentran los respectivos

yacimientos. Cabe recordar que muchas sustancias petrolíferas se descomponen a temperaturas tan bajas como 150º C. Esto hace que existan muy pocos yacimientos petrolíferos a profundidades superiores a los 7.000 metros, dado el aumento de la temperatura asociado con la profundidad.

La extracción del petróleo utilizando únicamente la presión natural de los yacimientos se conoce con el nombre de extracción primaria. En un tiempo, los pozos se abandonaban cuando este flujo natural concluía, aunque pronto se descubrió que la inyección de gas o de agua bajo presión permitía prolongar la explotación durante algún tiempo (extracción secundaria). Con todo, la extracción de crudos viscosos en rocas de baja porosidad es muy poco eficiente, con tasas que apenas superan el 20%. Hoy por hoy, aun bajo condiciones óptimas, las tasas de extracción de las explotaciones petrolíferas raramente llegan al 60%.

El dato anterior dificulta extraordinariamente la realización de estimaciones precisas sobre las reservas petrolíferas existentes en el mundo. Por supuesto, éstas pueden variar en la medida en que se descubran nuevos yacimientos o se desarrollen nuevas técnicas de extracción de crudo. Las estimaciones más fiables (incluyendo tanto las reservas probadas como las posibles) nos proporcionan unas cifras del orden de los 2.000 millones de barriles, es decir, unos 270.000 millones de toneladas métricas (recuérdese que 1 barril de petróleo equivale a 137 kilos).

Los principales yacimientos se encuentran en Arabia Saudí (23% del total), Rusia (12%), Kuwait (10%), Irán (9%), Irak (5%) y Estados Unidos (5%). En Europa son destacables las reservas del Reino Unido (2%) y Noruega (1%).

Nuestra actual dependencia de los crudos petrolíferos, de los que luego se obtienen por refino una gran cantidad de combustibles y productos químicos (en algunos casos, mucho más difíciles de sustituir que aquéllos), es absoluta. Como es natural, las cifras de consumo de petróleo resultan especialmente elevadas en los países más industrializados. Desde que en 1959 el consumo de petróleo

superara al de carbón, nuestra "adicción" por este combustible fósil no ha hecho más que crecer. Hoy en día, el petróleo cubre más del 40% del consumo total de energía en el mundo.

Algunos cálculos realizados al respecto hace algunos años indicaban que, al ritmo actual de consumo, las actuales reservas explotables existentes en el mundo se agotarían a mediados del presente siglo XXI. Por supuesto, esta estimación puede modificarse un tanto en función de que se desarrollen nuevas técnicas de extracción o se descubran nuevos e importantes yacimientos (por ejemplo, en el Ártico). En todo caso, el hecho de que un recurso cuya formación ha necesitado muchos miles de años sea consumido por la humanidad en apenas un par de siglos resulta bastante inquietante.

El tercer gran combustible fósil es el **gas natural**, que se suele encontrar asociado a los yacimientos de petróleo. La composición del gas natural es muy variable, aunque su componente principal es el metano (CH_4), que se encuentra en proporciones entre el 85 y 95% del total. El resto es etano, propano y butano. El helio, hidrógeno, y otros gases raros como el argón, están también presentes.

Hasta hace no muchos años, la extracción del gas natural asociado con el petróleo planteaba muchos problemas y dicho gas no se utilizaba. Simplemente, el gas se quemaba en las propias explotaciones de extracción (grandes antorchas), desperdiciándolo por completo. En la actualidad, aunque la situación descrita aún se mantiene en algunos casos, el gas se comercializa.

Se ha estimado que los recursos mundiales de gas natural son del orden de los 70 billones de metros cúbicos, cantidad equivalente a unos 60.000 millones de toneladas de petróleo. La distribución de este combustible es muy desigual en el mundo. Los principales yacimientos de gas se encuentran en Rusia (32%), Irán (13%), Estados Unidos (10%), Argelia (9%), Abu Dhabí (8%), Holanda (4%), Arabia Saudí (2%), Reino Unido (2%) y Canadá (2%).

En la actualidad, los Estados Unidos es el primer productor mundial de gas natural, con un 33% del total, seguido por los territorios de la antigua Unión Soviética, con un 30%.

Los principales consumidores de este gas son los países más desarrollados. Concretamente, en los años 80, los Estados Unidos consumían más del 50% de la producción mundial de este combustible fósil. Hace ya algún tiempo se predijo que las reservas de gas natural existentes en el mundo se agotarán en unos 250 años. Sin embargo, esta estimación hay que tomarla con mucha cautela, puesto que está ligada a las tasas de consumo, que pueden variar apreciablemente en función de la disponibilidad de otros combustibles fósiles (petróleo). Como es natural, el factor económico (precios) juega un papel fundamental en estas estimaciones.

En particular, la estimación anterior resulta muy poco realista si tenemos en cuenta que el gas natural ha alcanzado durante estos últimos años una enorme importancia dentro del conjunto de recursos energéticos del planeta, hasta el punto de que, en la actualidad, este combustible fósil cubre el 20% del consumo energético mundial. De hecho, el gas natural está asumiendo el papel de "energía de transición" desde los combustibles fósiles hasta los sistemas de producción de energía menos agresivos para el medio ambiente.

Desde el punto de vista medioambiental, es importante recordar que el gas natural es mucho más limpio que los otros combustibles fósiles. Contiene, por unidad de energía producida, un 43% menos de carbono que el carbón y un 26% menos que el petróleo, lo que se traduce en una producción sensiblemente menor del dióxido de carbono vertido a la atmósfera. Por otro lado, en la combustión de gas natural apenas se producen óxidos de azufre.

5.4. La energia nuclear

Desde su entrada en la escena energética, hace ya más de 40 años, la energía nuclear no ha dejado de suscitar polémicas y recelos. En el mundo hay, en la actualidad, más de 400 centrales nucleares repartidas por una veintena de países, que proporcionan el 6% del consumo energético mundial. Como gran ventaja de este tipo de instalaciones, se puede argumentar que no contribuyen al cambio climático de nuestro planeta, puesto que en ellas no se produce dióxido de carbono. Sin embargo, su peligrosidad ha quedado claramente

demostrada en varios accidentes, de mayor o menor gravedad, el más importante de los cuales es el que tuvo lugar en la planta de Chernobyl, en la Unión Soviética, en el año 1986. La producción de residuos en las minas de extracción de uranio, la contaminación del agua y las secuelas del transporte y almacenamiento del combustible y de los residuos nucleares son, entre otros, los motivos de su rechazo.

Como es bien sabido, en una central nuclear, los núcleos del combustible nuclear (generalmente uranio-235) sufren un proceso de fisión nuclear, dando lugar a otros núcleos más ligeros y a diferentes partículas y radiaciones. En este proceso de fisión se produce una cantidad muy grande de energía, del orden de 200 MeV por cada núcleo del citado isótopo.

El uranio-235 es un isótopo del uranio natural (de cuya composición forma parte con una riqueza del orden del 0'7%). El uranio-235 es radiactivo, emitiendo partículas alfa, con un periodo de semidesintegración muy grande (7.10^8 años). Este isótopo de uranio posee la propiedad singular de que, cuando se bombardea con neutrones térmicos, se fragmenta en dos o tres núcleos más pequeños. En el proceso se emiten entre dos o tres neutrones, que pueden reproducir el proceso citado, generando así lo que se suele conocer como una "reacción en cadena". Simplificando mucho, podemos decir que cuando ese proceso tiene lugar de forma instantánea, descontrolada, estamos ante una bomba atómica. En cambio, si ese mismo proceso se produce de forma controlada, estamos ante una central nuclear. Naturalmente, tanto en un caso como en el otro, se requiere la concurrencia de determinadas condiciones específicas.

En esencia, un reactor nuclear es básicamente una instalación en la que se "quema" un determinado combustible fisionable. En este proceso se desprende una cantidad considerable de calor y se liberan radiaciones muy penetrantes. El calor producido se extrae del reactor mediante un refrigerante que se hace llegar hasta un circuito de fluido motor que acciona una turbina. A partir de aquí, el funcionamiento de una central nuclear es muy similar al de una

central térmica convencional. En esencia, podemos decir que en una central térmica convencional se consume carbón o petróleo y se produce electricidad. En una central nuclear, se consume uranio-235 y se produce igualmente electricidad.

La primera central nuclear comercial que entró en funcionamiento en el mundo fue la de Calder Hall, en Inglaterra, que empezó a operar en 1956. A partir de dicha fecha, se han construido muchas centrales nucleares. Según datos de la International Atomic Energy Agency (IAEA), en la actualidad existen 439 centrales nucleares en funcionamiento en 31 países diferentes. Estados Unidos (con 104 reactores operativos), Francia (59), Japón (53) Reino Unido (35) y Rusia (29) son los países que cuentan con mayor número de instalaciones de este tipo. A pesar del denominado "frenazo nuclear", en el año 2000 entraron en funcionamiento 6 nuevos reactores (tres en la India y uno en Brasil, República Checa y Pakistán). Actualmente, se están construyendo 31 nuevos reactores en todo el mundo (entre ellos, ocho en China, cuatro en Corea del Sur, cuatro en Ucrania, tres en Japón y tres en Rusia).

Existen muchas clases diferentes de centrales nucleares, atendiendo sobre todo al tipo de combustible, moderador y refrigerante utilizados. Las variedades más frecuentes son las que utilizan uranio enriquecido como combustible y agua ordinaria como moderador de los neutrones y como refrigerante. Dentro de esta modalidad, existen dos tipos básicos de instalaciones, las de agua en ebullición (BWR), desarrollado por la empresa General Electric, y las de agua a presión (PWR), desarrollado por la empresa Westinghouse.

Las diferentes estimaciones de las reservas de uranio realizadas a finales de los años setenta (en plena crisis energética) indicaron que el total disponible de este elemento en todo el mundo era del orden de los 4 millones de toneladas. La mitad de estos recursos se encuentran en los Estados Unidos. Existen también reservas importantes en Canadá, Suecia y Sudáfrica. Se calculó entonces que, al ritmo de consumo de este recurso natural en aquel tiempo y con la tecnología existente a la sazón, las reservas conocidas durarían unos 200 años.

Un dato importante a considerar se refiere al hecho de que el uranio natural que se extrae de estos yacimientos no puede ser utilizado directamente como combustible nuclear. Es necesario someterlo a un proceso de enriquecimiento que incremente la baja proporción de uranio-235 que existe en el elemento natural. Las oportunas plantas de enriquecimiento (de las que existen varias modalidades) son instalaciones sumamente sofisticadas y costosas. Sólo los países más avanzados disponen actualmente de este tipo de instalaciones.

Debe tenerse en cuenta también que la industria nuclear consume una gran cantidad de energía, que se invierte en los procesos de extracción, procesamiento y enriquecimiento del uranio, en la fabricación y reprocesado del combustible, en la construcción de las propias centrales y en su funcionamiento ordinario, así como en la gestión de los residuos nucleares producidos, entre otros factores. Las consideraciones de tipo estrictamente económico (hay que tener en cuenta que la construcción de una central nuclear tiene un coste del orden de los 4.000 millones de euros), la existencia de muchos problemas técnicos sin una solución definitiva (aquí hay que hacer una mención especial al grave problema de los residuos nucleares), la presión de amplios sectores de la opinión pública contrarios a este tipo de energía y, sobre todo, el impacto producido por la catástrofe de Chernobil, en la Unión Soviética, en el año 1986, han motivado un importante frenazo en los planes de construcción de nuevas centrales nucleares en todo el mundo.

En particular, el entusiasmo con que algunas personas o instituciones de nuestro país contemplaban esta fuente de energía hace ya algunos años parece haber disminuido sustancialmente en la actualidad. Por supuesto, siguen habiendo muchas opiniones a favor de iniciar la construcción de nuevas centrales nucleares, esgrimiendo incluso argumentos medioambientales para apoyar tales posiciones (entre los que se suele mencionar el hecho de que estas instalaciones no emiten gases que contribuyen al efecto invernadero). En cualquier caso, este tema no se puede considerar zanjado en absoluto y la polémica al respecto, aunque no tan virulenta como la que tuvo lugar



Figura 16.- En Marzo de 1972, el buque petrolero Amoco Cadiz se hundió en la costa de Bretaña, Francia, vertiendo al mar 227.000 toneladas de crudo. Este episodio es un ejemplo más de un problema de extraordinaria importancia para el medio ambiente de nuestro planeta.

durante la década de los años setenta, mantiene toda su vigencia en la actualidad.

5.5. Las energías alternativas

Cuando hablamos del tema de la energía, resulta evidente que cualquier discusión seria sobre el futuro debe estar basado en un análisis muy riguroso de los diferentes recursos disponibles (naturaleza, distribución geográfica, costes, riesgos, etc.), así como de las oportunas cifras de producción y consumo, y todo ello en el marco de unos determinados modelos de desarrollo de la sociedad.

Las opiniones más autorizadas en este sentido coinciden en señalar que la resolución del problema de la energía exigirá la adopción de iniciativas muy concretas en dos frentes principales. En primer lugar, será necesario esforzarse seriamente en utilizar más racionalmente la energía de que disponemos en la actualidad, y eliminar ciertas situaciones realmente graves de abuso y despilfarro de estos recursos. En segundo lugar, habrá que dedicar una mayor atención

al desarrollo de fuentes de energía alternativas o renovables, que liberen a los países industrializados (y en el futuro, a todo el mundo) de la actual dependencia del petróleo, cuyo agotamiento, como hemos visto, no parece estar muy lejano.

Sin duda alguna, dentro de este tipo de energía, la **energía hidroeléctrica** ocupa un lugar muy destacado. Tengamos en cuenta, entre otras consideraciones, que la energía hidráulica ha sido utilizada por el hombre desde la más remota antigüedad (molinos de agua). En particular, se sabe que los romanos utilizaron la energía hidráulica como un medio de liberar a los caballos utilizados para moler cereales y poder utilizarlos así con fines militares (este no es el único caso en que un avance tecnológico ha sido estimulado por imperativos militares). La presencia de miles de molinos de agua en toda Europa pone de manifiesto la estrecha dependencia entre la economía medieval y la energía hidráulica.

El fin de las ruedas de agua, en cualquiera de sus formas tradicionales, tuvo lugar con el advenimiento de la turbina, un dispositivo desarrollado originalmente en Francia, Inglaterra y Estados Unidos, a lo largo del siglo XIX. Con el paso del tiempo, se construyeron turbinas (con diferentes diseños) capaces de producir enormes cantidades de energía a partir de las corrientes de los ríos. Por ejemplo, en el río Yenisey, en Siberia, existe actualmente una central hidroeléctrica que cuenta con 24 turbinas, cada una de las cuales posee una potencia de 500 megawatios. En los saltos de agua Churchill, en el Canadá, existe una central que cuenta con 11 turbinas de una potencia similar a ésta.

Prácticamente todas las instalaciones de energía hidráulica existentes en la actualidad se destinan a la conversión de energía mecánica en energía eléctrica. Estas instalaciones son altamente eficientes. En cambio, la utilización directa de la energía mecánica producida por el agua (al margen del encanto que puedan tener los antiguos molinos fluviales) era extremadamente ineficiente.

Se ha estimado que el potencial aprovechable de este tipo de energía en todo el mundo es del orden de 3 millones de Megawatios

(es decir, el equivalente a 3.000 centrales nucleares de gran potencia). La producción teórica de energía anual podría alcanzar una cifra del orden de 13 gigawatios-hora. Los países con más recursos potenciales en este sentido son China, Rusia, Estados Unidos, Zaire, Canadá, Brasil, Malasia, Colombia e India, por este mismo orden.

Sin embargo, nos consta que, en la actualidad, apenas se aprovecha un 15% de esta potencia. ¿Qué sucede con el resto? La respuesta a esta pregunta ilustra perfectamente un aspecto clave del tema que nos ocupa: la existencia de grandes desequilibrios geográficos entre las zonas donde están localizados los principales recursos energéticos de producción y los lugares en que se consumen mayoritariamente tales recursos. Por ejemplo, en Europa se está aprovechando en la actualidad un 60% de la potencia hidroeléctrica disponible, en tanto que este porcentaje en Sudamérica es del orden del 20% y en África apenas alcanza el 1%.

Con todo, el desarrollo total del potencial mundial de energía hidroeléctrica es poco probable. El agua es necesaria para otros usos distintos de la generación de electricidad. La irrigación es uno de los más importantes y suele ser imposible combinar estos dos usos. Por otro lado, la utilización de las corrientes de los ríos para la navegación y la pesca resulta irreconciliable con la construcción de presas para la producción de energía. Hay que recordar también que los grandes planes hidráulicos inundan grandes superficies de terreno y ello puede producir enormes pérdidas de tierras fértiles. La creación de grandes lagos puede tener también importantes repercusiones en el paisaje y en el medio ambiente. La financiación puede ser también un serio problema en el sentido que estamos considerando, especialmente en los países poco desarrollados. En este último caso, el consumo de electricidad se mantiene, hoy por hoy, muy bajo, y sabemos que las dificultades de transportar energía eléctrica a grandes distancias de los lugares de producción (para su venta a otros países) pueden ser insalvables con la tecnología actual.

Veamos ahora otra posible fuente de energía renovable, la **energía de las mareas**. La simple observación de la subida y bajada

diaria de las mareas en muchos lugares de la costa puede sugerir la idea de que este fenómeno podría constituir una fuente de energía inagotable. Efectivamente, la energía está allí, y en gran cantidad, pero es extremadamente difícil de obtener.

Históricamente, el desarrollo de molinos basados en el movimiento de las mareas ha sido paralelo al de los molinos basados en la corriente de los ríos, pero las evidentes limitaciones geográficas y las dificultades que entraña su uso han impedido que los primeros se desarrollaran tanto como los segundos. Uno de los primeros molinos de ruedas conocido, basado en las mareas, estuvo operando en Waping (Inglaterra) en una fecha tan temprana como 1233.

El típico molino de mareas estaba situado junto a un estanque del interior, a alguna distancia de la costa. La apertura y cierre de un sistema de compuertas producían alternativamente la entrada y salida del agua al estanque y, con ello, un flujo de agua capaz de mover



Figura 17.- Vista general de la central nuclear de Cofrentes (Valencia). Esta central nuclear, con una potencia del orden de 1.000 megawatios, es una de las nueve instalaciones de este tipo que existen actualmente en España, y con las cuales se produce un 30% de la energía eléctrica que consumimos.

la rueda del molino. Los inconvenientes del sistema son evidentes, dada su dependencia temporal con el movimiento de las mareas. El funcionamiento del molino tampoco puede ser regular, sino que depende, como es natural, de la cantidad de agua embalsada.

Las mismas limitaciones existen en las modernas instalaciones de centrales eléctricas basadas en las mareas. La primera de estas centrales es la instalada en Rance (Francia), con una altura media de marea del orden de los 8 metros. La superficie del embalse de esta central es de 22 km^2 y su potencia máxima es de 240 megawatios. Esta cifra es pequeña si la comparamos con la capacidad de una gran central moderna de producción de energía (por ejemplo, la central nuclear de Cofrentes, en Valencia, tiene una potencia neta de 955 megawatios).

De acuerdo con algunas estimaciones recientes, el desarrollo de todos los emplazamientos apropiados para aprovechar la energía de las mareas en todo el mundo proporcionaría, en el mejor de los casos, una capacidad de generación del orden de los 16.000 megawatios. El hecho de que la cifra sea tan modesta se explica, en parte, por la baja eficiencia de estos sistemas.

Por lo que se refiere a la posible utilización de la **energía de las olas**, los resultados obtenidos hasta ahora son aún más desalentadores. Algunos estudios realizados al respecto hace ya algunos años especulaban con la idea de que un sistema de generadores de una longitud de 900 millas, montado a lo largo de la costa de Inglaterra, podría producir una energía del orden de 30.000 megawatios, una cantidad que equivalía al 50% del consumo de electricidad de este país en aquellos tiempos.

La tecnología necesaria para lograr este fin no era demasiado compleja, en principio. El sistema podría estar constituido por un conjunto de tanques flotantes sobre las aguas, cuyo movimiento periódico (arriba y abajo) podría utilizarse para hacer trabajar a una bomba de presión de agua que, a su vez, haría funcionar una turbina situada en la costa. La idea es ingeniosa, pero, evidentemente, resulta poco práctica y puede plantear muchas e importantes objeciones

(alteración del paisaje, dificultades en el movimiento de buques, peligro de accidentes causado por la rotura del sistema, sensibilidad a las tormentas del mar, etc.). Hoy por hoy, hablar de la utilización de la energía de las olas es simplemente una quimera.

La **energía geotérmica** es, en principio, una posibilidad más interesante. El origen preciso de las altas temperaturas existentes en el interior de la Tierra es todavía objeto de debate. Al parecer, un 80% de esta energía proviene de la desintegración radiactiva del uranio, torio y sus derivados, en tanto que el 20% restante es calor residual de la formación de la Tierra. El flujo natural de este calor hacia la superficie terrestre es muy pequeño: apenas 1'5 watios-hora por metro cuadrado y día. En consecuencia, el problema con la energía geotérmica consiste fundamentalmente en concentrar un flujo de energía muy difuso en cantidades relativamente grandes y, por ello, susceptibles de ser utilizadas.

La utilización de manantiales de agua caliente data de tiempos remotos. Los antiguos romanos usaron de forma sistemática estos recursos naturales con fines medicinales y recreativos, así como para calefacción de las casas. Por lo tanto, no resulta sorprendente saber que los actuales italianos son pioneros en el uso de la energía geotérmica para producir electricidad. La central de Lardarelllo, en el norte de Italia, produjo electricidad en una fecha tan temprana como 1904. En la actualidad, esta central produce unos 400 megawatios.

En el año en que estalló la crisis energética (1973), la producción mundial de energía geotérmica era del orden de los 1.200 Mw. Los emplazamientos estaban muy localizados (Italia, Estados Unidos, Nueva Zelanda, Japón, Méjico e Islandia). Tras un desarrollo intensivo de esta fuente de energía, en los años ochenta se llegaron a conseguir hasta 3.000 Mw.

A la vista de estas cifras, resulta evidente que, hoy por hoy, la importancia de esta fuente de energía es extraordinariamente modesta en términos relativos. Tampoco podemos olvidar que existen serias limitaciones en la utilización de esta energía para la producción de electricidad. Por ejemplo, la alta concentración de minerales en

las aguas de origen geotérmico (algo que puede ser una cualidad interesante desde el punto de vista terapéutico) produce importantes problemas de polución cuando tales aguas son finalmente vertidas a un curso de agua natural. Dado que la temperatura que alcanzan estas aguas es relativamente baja en relación con lo que es usual en una central térmica, las eficiencias de las centrales geotérmicas son bastante bajas, del orden del 10%.

Aunque los estudios y perforaciones de nuevos yacimientos continúan en la actualidad, parece evidente que la energía geotérmica sólo puede ser importante es zonas muy localizadas de nuestro planeta y que, en un contexto global, seguirá siendo en el futuro una fuente de energía de importancia muy secundaria.

La **energía del viento** resulta una fuente mucho más atractiva. El origen de los molinos de viento (una imagen tan entrañable en muchos paisajes) se remonta a la más remota antigüedad. Parece ser que esos molinos fueron ya utilizados por los chinos hace más de 2.000 años. En Occidente, su existencia se menciona en algunos escritos árabes en el siglo IX. Los primeros molinos documentados en el norte de Europa corresponden a Francia (1180) e Inglaterra (1191).

En principio, la tecnología de los molinos de viento derivaba de la utilizada en los molinos de agua. Sin embargo, dado que la densidad del aire es 800 veces menor que la del agua, para capturar la misma cantidad de energía a igualdad de flujo, es necesario utilizar aspas con una superficie 800 veces mayor en el primer caso que en el segundo. Los requisitos de un molino de viento (tamaño, ligereza, robustez y adaptabilidad a las diferentes velocidades y direcciones del viento) fueron siempre un reto para los diseñadores de estas instalaciones.

Las versiones modernas de los molinos de viento aparecen en fechas relativamente recientes. En los años treinta, se construyó en Rusia un molino con aspas de 30 metros de diámetro que suministraba una potencia de 100 kw. En Dinamarca se realizaron interesantes investigaciones sobre esta fuente de energía durante la Segunda Guerra Mundial. Algunos años más tarde, se construyeron en Ingla-

terra varios molinos de 100 kw. En Estados Unidos se construyó un enorme molino, con dos aspas de 52 metros de diámetro, capaz de suministrar una potencia máxima de 1.250 kw. Desgraciadamente, el funcionamiento de algunos de estos grandes prototipos fracasó y el entusiasmo inicial hacia esta fuente de energía desapareció durante bastante tiempo.

Sin embargo, la situación ha cambiado sustancialmente en la actualidad. Aunque los modernos molinos no están exentos de ciertas críticas (impacto sobre el paisaje, peligro para las aves y generación de ruido), la imagen de los llamados parques eólicos empieza a ser familiar en muchos países de todo el mundo.

En este sentido, nos parece interesante mencionar especialmente el caso de Dinamarca, un país relativamente pequeño, que está realizando últimamente un gran esfuerzo para desarrollar este tipo de energía. La particularidad es que los generadores eólicos que se están instalando en este país están situados sobre el mar, en la costa (lo que se conoce como *off-shore*). Se considera que esta opción ofrece bastantes ventajas respecto a los montajes en tierra. Se trata de modelos de enormes dimensiones, con un coste del orden de 300.000 euros por unidad y una potencia de 2 Mw por unidad. Cuando se complete el plan en curso, se confía en que la energía suministrada por este tipo de generadores cubrirá hasta un 40 ó 50% del consumo de energía eléctrica en todo aquel país.

En principio, las perspectivas que ofrece la **energía solar** son enormemente prometedoras. Ciertamente, existen muchos motivos para justificar el optimismo en ese sentido. Por ejemplo, sabemos que el flujo solar sobre las capas altas de la atmósfera es nada menos que 1’4 kilowatios por metro cuadrado. Aunque la absorción y la reflexión reducen sensiblemente esta cifra, se considera que un 50% de dicha energía alcanza la superficie de la Tierra. Se ha estimado que la energía solar que llega a la superficie de la Tierra durante un periodo de tan sólo 20 días equivale a todas las reservas de combustibles fósiles existentes.



Figura 18.- Central hidroeléctrica de Itaipu, situada en el río Paraná, en la frontera entre Brasil y Uruguay. Esta central suministra por si sola el 26% de la energía eléctrica que consume Brasil y el 78% de la consumida por Uruguay. La energía hidroeléctrica ocupa un lugar destacado dentro de las energías renovables.

Veamos otro dato interesante. Las zonas desérticas de nuestro planeta cubren una superficie del orden de los 20 millones de kilómetros cuadrados. Sobre esta superficie de tierra, que no aporta ningún alimento y en la que no vive nadie, la cantidad de radiación solar recibida es trescientas veces mayor que el consumo actual de energía en todo el mundo. En consecuencia, aunque sólo pudiéramos aprovechar una parte muy pequeña de la energía solar que llega a nuestro planeta, todos nuestros problemas energéticos desaparecerían.

La forma más simple de captar la energía solar es el colector plano. En su forma más simple, se trata de una superficie plana y negra por la que se hace circular agua a través de unos conductos. Como es natural, existen infinidad de modelos y variantes de dichos colectores. El destino más frecuente de este tipo de dispositivos es la obtención de agua caliente para usos domésticos. Hoy en día, el uso de esos dispositivos es relativamente frecuente en muchos países, aunque sin llegar a agotar, ni mucho menos, sus posibilidades.

Por supuesto, utilizando colectores focalizadores se alcanzan temperaturas mucho más elevadas. En general, la focalización se consigue mediante espejos cóncavos. Se han construido muchos prototipos de estos "hornos solares" en los que se pueden alcanzar temperaturas de muchos miles de grados en el colector, un logro importante para muchos trabajos de investigación. Sin embargo, este tipo de colectores presenta un inconveniente muy importante. Al contrario de lo que sucede con los colectores planos, es necesario que los colectores focalizadores estén dirigidos constantemente hacia el sol, lo cual exige la utilización de sistemas de seguimiento muy sofisticados.

La posibilidad de usar este tipo de colectores focalizadores como cocinas domésticas (especialmente en los países del tercer mundo) no ha prosperado, tanto por motivos técnicos como sociales. El hecho de que tales cocinas resulten inútiles en días nublados es un serio inconveniente práctico. En cualquier caso, la gente prefiere cubrir sus necesidades cotidianas con los sistemas tradicionales.

Una posibilidad interesante es la utilización de la energía solar para llevar a cabo la destilación del agua (desalinización del agua del mar). Sin embargo, hoy por hoy, las eficiencias logradas en la práctica son bajas y los rendimientos obtenidos en este proceso no justifican las elevadas inversiones económicas necesarias para construir las instalaciones necesarias. En definitiva, los sistemas basados en la energía solar no son competitivos frente a los que utilizan otras fuentes de energía.

La conversión directa de energía solar en electricidad todavía tropieza con muchas dificultades en la actualidad. El rendimiento de conversión fotovoltaica de las células solares todavía es muy bajo y, en consecuencia, el coste de la energía eléctrica producida sigue siendo bastante elevado en comparación con el de otras fuentes de energía. Sin embargo, es muy posible que la mejora sustancial de los rendimientos de estas células (gracias a la utilización de nuevos materiales), el perfeccionamiento de los métodos de producción actuales y el desarrollo de nuevas tecnologías, permitan abaratar considera-

blemente dichos costes en un futuro no lejano. Por el momento, las previsiones realizadas hace una veintena de años de que a finales del siglo XX la energía solar podría llegar a cubrir hasta un 10 ó 15% de las necesidades energéticas del mundo no se han cumplido.

Un problema importante inherente a la energía solar es su variabilidad. No sólo se producen variaciones diarias (su valor es nulo durante la noche y máximo a mediodía) como estacionales (invierno y verano), de carácter regular, sino que hay que tener en cuenta también las fluctuaciones al azar que tienen su origen en las condiciones meteorológicas (las horas de insolación varían considerablemente de unos países a otros). Como es natural, las necesidades de las sociedades modernas no pueden quedar condicionadas por todos estos factores. Es evidente que muchas de las dificultades que afronta hoy en día la energía solar podrían resolverse si se dispusiera de sistemas de almacenamiento adecuados. Por lo tanto, no resulta sorprendente que mucha de la investigación realizada hoy en día al respecto vaya en esa dirección.

A más largo plazo, parece ser que la **energía de fusión** está destinada a jugar un papel fundamental en la demanda de energía de la humanidad. Algunos autores sugieren que ésta será posiblemente la "solución final" del problema de la energía, dado que sus fuentes permitirían cubrir nuestras necesidades durante un tiempo prácticamente ilimitado.

La fusión nuclear consiste básicamente en la unión de núcleos ligeros para dar lugar a otro más pesado, con la consiguiente liberación de energía. En cierto modo, este proceso podría ser considerado como el inverso de la fisión nuclear. La fusión nuclear tiene lugar de forma espontánea en el Sol y en las estrellas, donde las reacciones termonucleares tienen lugar gracias a la alta temperatura existente en estos astros (aproximadamente, un millón de grados centígrados), en virtud de la cual la agitación térmica es lo suficientemente energética como para que los núcleos se aproximen mucho los unos a los otros, superando la repulsión culombiana entre sus cargas eléctricas.



Figura 19.- Parque eólico de la Sierra de la Capelada, en Galicia. Aunque los modernos generadores eólicos no están libres de críticas (impacto sobre el paisaje, peligro para las aves y generación de ruido), la imagen de este tipo de instalaciones es bastante familiar en muchos países de todo el mundo.

Por ejemplo, cuando cuatro núcleos de hidrógeno se fusionan dan lugar a un núcleo de helio (es decir, una partícula alfa) y dos positrones. Cada vez que se produce uno de estos procesos se liberan unos 26 MeV, es decir, una cifra que correspondería a una producción de energía del orden de 10.000 kwh por cada gramo de hidrógeno consumido. A partir de estos datos, sólo nos resta pensar en la ingente cantidad de hidrógeno que existe en nuestro planeta (en el agua de los mares) para completar una imagen sumamente optimista sobre las posibilidades que podría ofrecer esta fuente de energía.

Desgraciadamente, aunque los principios sobre los que se basa esta forma de energía son actualmente bien conocidos, su desarrollo se encuentra todavía en fase de investigación, sin salir de los laboratorios.

Los problemas que plantea la construcción de un reactor de fusión a escala industrial son enormes y, a pesar de los avances importantes que se han llevado a cabo durante estas últimas décadas en los países más desarrollados (Estados Unidos, Alemania, Inglaterra e incluso la

antigua Unión Soviética, entre otros), todo parece indicar que será necesario esperar todavía bastantes años para que esta nueva forma de energía alcance la fase de producción industrial. El esfuerzo constante de un elevado número de científicos y centros especializados en este campo de trabajo y la disponibilidad de inversiones muy importantes para poder desarrollar las complejas técnicas relacionadas con esta forma de energía serán, sin duda, factores decisivos para la consecución del éxito en su desarrollo.

5.6. La situación energética en España

En el año 2000, España consumió un total de 110 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Tep) de energía primaria. Esta cifra supone que cada español consume anualmente, como media, una cantidad del orden de 2'7 Tep de energía primaria. Esta cantidad es similar a la que consume un italiano (2'8 Tep), aunque sólo representa una tercera parte de la que consume un estadounidense (7'9 Tep). El consumo de energía primaria por habitante en nuestro país ha crecido casi en un 45% en el curso de los últimos veinte años y las previsiones es que siga haciéndolo en el futuro.

Para que el sector energético pueda hacer frente a esa demanda, precisa de fuentes de energía, de instalaciones de transformación y de infraestructuras de transporte y distribución. Hoy por hoy, como en el resto del mundo desarrollado, esas fuentes son, fundamentalmente, las energías tradicionales. Sin embargo, España es enormemente deficitaria en combustibles fósiles. Concretamente, en 1997, nuestro país importó el 54% del carbón, el 99% del petróleo y el 98% del gas natural que consumimos. Todos estos datos ponen claramente de manifiesto que nuestra dependencia energética con el exterior es muy acusada.

Por sectores, los mayores consumos energéticos se dan en la industria (con un 39% del total) y en el transporte (con un 40% del total). Nuestro consumo de energía se reparte entre diferentes fuentes energéticas, de las cuales la aportación más importante corresponde al petróleo (con un 53% del total, aproximadamente), seguido por el carbón (16%), la energía nuclear (14%) y el gas natural (10%).

Salvo en el caso del petróleo, la mayor parte de esa energía se destina a la producción de electricidad. En el año 1997, como media, cada español consumió más de 4.000 kwh de electricidad al año. La producción se distribuyó entre las centrales hidroeléctricas (aproximadamente, 20% del total), termoeléctricas (50%) y nucleares (30%). Dentro de las termoeléctricas, el combustible más utilizado era el carbón (34%), seguido a distancia por el petróleo (8%) y el gas natural (8%). Como es natural, estas cifras pueden variar un tanto de año en año dependiendo de varias circunstancias. En cuanto al consumo de esta energía, basta con señalar que tan sólo un 15% del total corresponde al uso doméstico.

Por lo que respecta específicamente a la energía nuclear, cabe recordar que en nuestro país existen en la actualidad nueve centrales en funcionamiento regular: José Cabrera (Guadalajara), Santa María de Garoña (Burgos), Almaraz I y II (Cáceres), Trillo (Guadalajara), Ascó I y II (Tarragona), Vandellós II (Tarragona) y Cofrentes (Valencia). Salvo las dos primeras de estas centrales (con 160 y 460 Megawatios, respectivamente), todas las demás tienen una potencia del orden de 1.000 Megawatios. Por lo tanto, la potencia nuclear total instalada en nuestro país es actualmente del orden de los 8.000 Megawatios. El valor total de los activos de estas instalaciones supera los 12.000 millones de euros. Al menos hoy por hoy, no se prevé la construcción de nuevas centrales nucleares en nuestro país.

En este mismo apartado, hay que citar también la existencia de una fábrica de combustible nuclear (en Juzbado, Salamanca) y un centro de almacenamiento de residuos radiactivos de baja y media actividad (en El Cabril, Córdoba).

Como ya hemos señalado anteriormente, la producción total de energía por parte de las nueve centrales nucleares anteriormente mencionadas cubre el 30% del total de la energía eléctrica que se produce en España, un porcentaje muy alejado del que corresponde a países tales como Francia (76%), Bélgica (57%) o Ucrania (47%), aunque se sitúa muy por encima de otros como Estados Unidos (20%), Rusia (15%) u Holanda (4%).

Para concluir este apartado, puede ser interesante reproducir aquí algunos datos relacionados con la producción de energías alternativas en España. En el año 1998, la producción total de estas energías en nuestro país ascendió a unos 7 millones de toneladas equivalentes de petróleo, una cifra que cubrió algo menos del 6% de nuestro consumo total de energía. Las fuentes más importantes de energías alternativas o renovables, a considerable distancia de las restantes, correspondieron a la biomasa y a la energía hidráulica, con un 51% y 43% del total producido, respectivamente. A estas dos fuentes principales les siguieron, por orden de importancia, la incineración de residuos sólidos urbanos (3%), la energía eólica (2%), y la energía solar (1%). Todos estos datos (aproximados), se refieren conjuntamente a producción eléctrica y térmica.

Veamos algunos datos adicionales sobre esta cuestión. La producción de energía a partir de la biomasa es importante en Andalucía (como contribución de la industria oleícola y alto consumo doméstico de leña entre la población rural) y en Galicia (consumo industrial en los sectores de la madera y la pasta de papel). Aunque en España existen actualmente 22 plantas de incineración de residuos urbanos, únicamente en 9 de estas plantas se recupera energía. De los más de 340.000 m^2 de superficie instalada de colectores solares térmicos, Andalucía es la comunidad autónoma que dispone de mayor superficie de colectores solares (aproximadamente, un 23% del total), gracias a sus singulares condiciones climatológicas y el apoyo decidido de la correspondiente administración para fomentar esta fuente alternativa. La generación de energía solar fotovoltaica (con una producción total del orden de 1.300 toneladas equivalentes de petróleo) tiene alguna importancia relativa en las regiones de Andalucía, Castilla - La Mancha, Cataluña y Valencia. Las comunidades autónomas con mayor producción de energía eólica son Navarra, Andalucía, Canarias, Aragón y Galicia, de acuerdo con el potencial eólico existente en estas regiones y al carácter pionero de sus instalaciones. Hay que llamar la atención sobre el hecho de que nuestro país está viviendo actualmente un momento de intenso desarrollo de esta energía, hasta el punto de que algunas declaraciones oficiales al respecto han llegado

a afirmar que, en el curso de pocos años, la energía producida por el viento cubrirá hasta un 10% de nuestro consumo total de energía. Para finalizar, y aunque su importancia es casi testimonial, puede ser interesante mencionar también que la comunidad autónoma en la que más se aprovecha la energía geotérmica es Murcia, donde se obtienen con este recurso unas 3.000 Tep cada año.

5.7. Consideraciones finales

En la actualidad, la mayor parte de la energía que consumimos procede de fuentes que, además de tener un carácter limitado (carbón, petróleo y gas natural), provocan un gran impacto en el medio natural. Un sector fuertemente consumidor de energía, el transporte, es el mayor responsable de las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera, el gas relacionado con el efecto invernadero y el cambio climático. Los vehículos a motor se han convertido también en la principal fuente de emisiones de óxidos de azufre y nitrógeno,



Figura 20.- Imagen de la ciudad de Los Ángeles, en Estados Unidos. Debido a sus especiales condiciones (situación entre el mar y las montañas, fuerte insolación, etc.), el aire de esta ciudad presenta en ocasiones unos niveles de contaminación muy superiores a los deseables.

inductores de la lluvia ácida y de la formación del ozono troposférico que envenena nuestras ciudades.

Cuando se descubre, además, que un estadounidense medio consume 16 veces más energía que un africano medio, es lógico que todos los expertos, desde perspectivas conservadoras o progresistas, muestren su preocupación por lo que sucedería en nuestro planeta si el consumo energético de los países en vías de desarrollo alcanzara los mismos niveles que en los países más desarrollados.

Muchos especialistas en esta cuestión apuestan decididamente por prestar una atención inmediata y prioritaria al aumento de la eficiencia en el consumo de energía, introduciendo las tecnologías necesarias para ello, en el convencimiento de que este camino permitirá disminuir considerablemente la cantidad de energía que se necesita para producir un nivel dado de bienes y servicios, y retardar de este modo el agotamiento de los recursos de que disponemos en la actualidad, proporcionando de este modo el tiempo necesario para que se desarrollen nuevas fuentes de energía en el curso de las próximas décadas.

El reto al que nos enfrentamos en la actualidad es muy claro: proporcionar a toda la humanidad una energía limpia y segura. Los problemas que esto plantea son sumamente complejos, y su resolución exigirá la previsión global de todas sus implicaciones desde perspectivas muy diversas (geopolíticas, económicas y medioambientales). En particular, será necesario establecer las bases para que se produzca una amplia cooperación internacional que corrija progresivamente las profundas diferencias que existen hoy en día entre los países ricos y los países pobres, dentro de un modelo social más justo.

6. LA CIUDAD COMO ESPACIO ECOLÓGICO

6.1. Introducción

Las ciudades se forman por el asentamiento de un número más o menos grande de personas en un lugar propicio para desarrollar su vida y actividades. La creación y el crecimiento de una ciudad suponen en todo caso una conquista del espacio. En este sentido, este hecho es una de las más grandes aventuras de la humanidad. Los seres humanos construyen edificios, calles, plazas y murallas. En el espacio físico limitado que ocupa una ciudad es donde se ponen de manifiesto con mayor claridad sus creaciones, sus aspiraciones y sus conquistas técnicas, pero, sobre todo, es en ese espacio donde se establecen sus relaciones sociales más directas e inmediatas con sus semejantes.

Crear una comunidad urbana, aproximar a sus gentes, proporcionar lugares para la relación, son probablemente los aspectos más importantes de una ciudad. El hecho principal y más significativo de una ciudad es que ésta funciona como un órgano especializado de comunicación. Sin embargo, llega un momento, cuando su expansión está gobernada básicamente por intereses económicos y de poder, en que paralelamente a la desintegración social que le sobreviene, la ciudad se convierte también en un lugar hostil para el medio en que se encuentra situada. La ciudad empobrece su entorno, arrasa las tierras más inmediatas, envenena las aguas y degrada o destruye las zonas de vegetación más próximas. En ella se consumen cantidades ingentes de alimentos, agua y materiales que la naturaleza más cercana es incapaz de ofrecerle. La desintegración social y la insos-

tenibilidad de las grandes aglomeraciones urbanas son dos hechos que discurren paralelos. Cuando se traspasa ese límite, se produce inevitablemente la muerte de la ciudad, en una dirección y con unos límites difíciles de prever con antelación.

El **proceso de urbanización**, es decir, el proceso de concentración de la población en ciudades de muy distintos tipos y tamaños, es un fenómeno creciente a escala planetaria, aunque con rasgos diferentes según las distintas zonas de la Tierra en función de su grado de desarrollo, de su pasado cultural y de su posición en el actual contexto de globalización de la economía mundial.

El hecho de que a mediados del siglo XIX la población urbana representaba apenas el 2% de la población mundial, mientras que en 1950 esa población era ya del 21% y en el 2000 se acerca al 50%, es un claro indicador de la importancia de este proceso. Hay que tener en cuenta que, aunque en los dos últimos siglos la población total de nuestro planeta se ha multiplicado por 6, la población urbana (incluso si consideramos sólo a las ciudades con más de 20.000 habitantes) se ha multiplicado por 23. Según unos pronósticos recientes de las Naciones Unidas, en el año 2030, más del 60% de la población del mundo residirá en zonas urbanas y el número de ciudades con más de 10 millones de habitantes habrá aumentado de forma realmente espectacular.

El proceso de crecimiento espacial y demográfico de las ciudades ha estado acompañado tradicionalmente de importantes cambios en las relaciones sociales y en los comportamientos de las comunidades. El propio concepto de urbanización hace referencia a un proceso muy complejo que encierra diferentes aspectos demográficos, sociales y territoriales. Hoy en día no se puede hablar de un proceso de urbanización unidimensional, sino de muchos procesos diferentes cuya complejidad exige abordar su estudio de forma multidisciplinar, dado que el mismo concepto de ciudad está unido a imágenes tan diferentes y contrapuestas como el progreso social, la calidad de vida, las oportunidades de empleo, la contaminación ambiental, la alienación o el consumo, entre otras muchas.

6.2. El proceso de urbanización

Generalmente se considera que la urbanización de la población del planeta comienza con la revolución neolítica y se limita durante un largo período de tiempo a casos muy concretos. Los **primeros asentamientos** con categoría de ciudades aparecen en el VIII o VII milenio a.C. en Asia Menor y Oriente Medio, vinculados siempre a circunstancias que favorecían una mayor concentración de población, tales como un adecuado abastecimiento de agua, facilidades defensivas o buenas comunicaciones. La presencia en estos núcleos de una población relativamente numerosa y estable que, poco a poco, favorece la aparición de nuevas formas de vida, como las que representa la aparición de la ganadería o el desarrollo de la artesanía, actúa como factor desencadenante de las transformaciones sociales y técnicas y como motor del propio crecimiento urbano.

Sin embargo, hasta que se producen los avances tecnológicos relacionados con la **revolución industrial**, parece existir un impedimento para el crecimiento de las ciudades que el proceso de urbanización no puede superar. En consecuencia, y durante mucho tiempo, el porcentaje de población urbana en la mayoría de los países ha sido extraordinariamente bajo, alcanzando apenas un 2 ó 3% del total y no superando la cifra del 20% en los países más avanzados. Hay que tener en cuenta que, hasta finales del siglo XVIII, las ciudades eran un medio malsano y el riesgo de enfermedades era allí mayor que en el campo, debido tanto a carencias en la alimentación, como a las deficiencias en el abastecimiento de agua, a la baja calidad de las viviendas y al hacinamiento de los residentes, que facilitaba la propagación de epidemias. Sólo las clases más pudientes podían encontrar en las ciudades mejores condiciones de vida, ya que sus recursos les permitían resolver con relativa facilidad las carencias propias de la vida urbana.

La **revolución industrial**, coincidente en el tiempo y en el espacio con la aparición de cambios muy profundos en la agricultura, la higiene, la sanidad, la educación y las comunicaciones, entre otros aspectos de la sociedad, supone el inicio del proceso de urbanización

contemporáneo. Desaparecen entonces los frenos para el crecimiento de las ciudades, mejorando las condiciones de vida en su interior y convirtiéndolas en polos de atracción para el resto de la población. Es precisamente en esta época cuando empiezan a aparecer las primeras aglomeraciones urbanas y las grandes metrópolis.

No resulta pues sorprendente que, desde la revolución industrial hasta una época relativamente reciente, se haya mantenido vigente el binomio formado por los procesos de industrialización y urbanización, mientras que en la actualidad existen modelos de desarrollo industrial que no tienen por qué estar asociados con el proceso de urbanización. Es importante señalar también que el **crecimiento urbano** experimentado en los países más desarrollados obedece a imperativos económicos y sociales muy específicos, en tanto que el modelo de urbanización existente en los países del Tercer Mundo presenta características diferentes y responde a condiciones igualmente diferentes a las de los primeros.

A comienzos del siglo XX sólo una de cada 8 personas vivía en un área urbana. En el año 1950, la población urbana representaba sólo el 21% de la población mundial. A partir de esta fecha, la población del mundo no sólo ha crecido enormemente, sino que se ha urbanizado a un ritmo sin precedentes en la historia, de forma que, cuando estamos iniciando el tercer milenio, casi la mitad de la población mundial vive en ciudades. Como dato adicional, es importante recordar también que dos tercios de la población mundial reside actualmente en los países del Tercer Mundo, creando en estos países una intensa presión sobre los correspondientes mercados de trabajo, caracterizados generalmente por sus elevadas cotas de desempleo y subempleo. El incremento de la demanda de viviendas y servicios, ya muy insatisfactorios con anterioridad, se ha disparado en muchas de estas ciudades, creando una situación muy grave en las condiciones sociales y medioambientales de esos entornos.

Es muy importante señalar que, hacia mediados del pasado siglo, en todos los países desarrollados, el proceso de urbanización se ralentiza notablemente y adquiere nuevas características y significa-

dos. En términos generales, se pone de manifiesto incluso una clara tendencia a la disminución de la población urbana en dichos países, o más bien a su desconcentración en áreas suburbanas, aunque sin que eso suponga necesariamente que los valores asociados al proceso de urbanización, incluidos los de orden cultural, hayan dejado de expandirse. En tales países, el crecimiento de las ciudades es cada vez más lento, aunque, al mismo tiempo, crece el número de personas que adoptan los estilos y formas de vida que hasta fechas relativamente recientes se consideran típicamente urbanos, entre los que se incluyen aspectos tan significativos como la vivienda, el consumo y el ocio.

En todo caso, a partir de esos mismos años, el crecimiento urbano que se produce en los países subdesarrollados se manifiesta a un ritmo muy superior al de los tiempos anteriores y es también significativamente mayor al que se produce en los países más desarrollados, por lo que a principios del tercer milenio la mayor parte de la población urbana vive en ciudades del Tercer Mundo.

Unos pocos datos nos ayudarán a comprender algo mejor esta situación. En primer lugar, es importante tener presente que, al iniciar el siglo XXI, todos los países desarrollados siguen estando fuertemente urbanizados, hasta el punto de que algo más del 70% de su población reside en zonas urbanas. En este sentido, la situación en esos países sigue contrastando fuertemente con la existente en los países subdesarrollados, en los que solamente un 30% de su población vive en ciudades. Con todo, cuando la contemplamos más de cerca, la realidad existente en uno y otro caso muestra rasgos muy diferentes.

Concretamente, en el año 1950, las diez **mayores ciudades del mundo** eran, por este orden, Nueva York, Shangai, Londres, Tokio, Beijing, París, Tianjin, Buenos Aires, Chicago y Moscú. La más populosa de estas ciudades era Nueva York, que contaba con algo más de 12 millones de habitantes. En el año 2000, las diez mayores ciudades del mundo son México, Sao Paulo, Tokio, Nueva York, Calcuta, Bombay, Shangai, Teherán, Yakarta y Buenos Aires. La más

populosa de estas ciudades es México, en la que viven actualmente más de 24 millones de personas. Según las predicciones de las Naciones Unidas, en el año 2025, nueve de las diez mayores ciudades del mundo estarán en países del Tercer Mundo. En particular, se prevé que, en esta fecha, la ciudad de México contará con una población del orden de 35 millones de habitantes.

El vuelco de la situación ha sido espectacular. Pero no sólo es esto. Cabe recordar también que, por ejemplo, en el curso de los citados cincuenta años, la ciudad de Londres ha pasado de tener 10'3 millones de habitantes en el año 1950, a 10'6 millones en el año 1990, y 10'8 millones en el año 2000. Durante ese mismo período, la población de la ciudad de México ha pasado de los 4 millones de habitantes (1950), a los 19 millones (1990) y los 24 millones (2000). En el curso de los últimos cincuenta años, ciudades como México, Sao Paulo, Tokio, Calcuta, Bombay o El Cairo han experimentado un crecimiento impresionante, lo cual ha supuesto la aparición de innumerables problemas de toda índole, problemas cuya resolución parece imposible.

Dentro del tema que estamos tratando, nos parece interesante estudiar con algún mayor detalle las **diferencias geográficas** de los procesos de urbanización en el mundo, subrayando especialmente las diferencias existentes en este sentido entre los países desarrollados y subdesarrollados.

Para empezar, habría que recordar que, a mediados del siglo XX, la tasa de crecimiento medio anual de la población urbana en los países desarrollados era del orden del 1'6%. También es importante saber que en la década de los años ochenta la citada tasa había disminuido hasta el 1'1% en tales países. En cambio, en este tiempo, en los países subdesarrollados, dicha tasa oscilaba entre algo más del 5% en África y cifras superiores al 3% en el resto de los continentes.

En la década de 1990, el 74% de los habitantes de los países desarrollados vivían en ciudades. En cambio, en los países subdesarrollados, sólo el 32% de sus habitantes vivía en ciudades. La diferencia es considerable.

En este sentido, el declive del peso de la población urbana europea merece una atención singular. Como ya hemos indicado, el proceso de urbanización en **Europa** se intensifica hace ya bastantes años, estando vinculado a la revolución industrial, especialmente entre 1850 y 1900, para entrar en un período de cierta estabilidad entre 1900 y 1920, relacionada tanto con la caída de la natalidad y la disminución del éxodo rural hacia las ciudades, como con la situación creada por la Primera Guerra Mundial. Tras la Segunda Guerra Mundial, y especialmente a partir de los años cincuenta, el lento crecimiento natural de la población europea, unido a una crisis muy importante de las viejas ciudades industriales, origina una disminución general en el ritmo de crecimiento de las ciudades europeas y, por lo tanto, un retroceso de su peso demográfico en el contexto mundial.

Con todo, se ha estimado que, en los inicios del presente siglo XXI, casi el 80% de la población europea vive en ciudades. En este sentido, hay que recordar también que en muchas de estas ciudades europeas se ha producido durante estos últimos años un importante proceso de inmigración (procedente sobre todo de las antiguas repúblicas socialistas y del continente africano), que está dando un evidente carácter multicultural a dichas ciudades, al tiempo que puede revitalizar en gran medida su actual demografía.

Prácticamente todos los países europeos alcanzan actualmente unas tasas análogas de urbanización, dado que en todos aquéllos en los que el proceso de industrialización ha sido más tardío (como es, por ejemplo, el caso de España) el proceso de urbanización ha sido más rápido e intenso y, en algunos casos, se ha producido en íntima vinculación con otros factores, tales como el turismo.

En el resto del mundo, si nos movemos a escala continental, observamos que tanto **América del Norte** (Estados Unidos y Canadá) como algunos grandes países de Oceanía (básicamente, Australia y Nueva Zelanda), han experimentado procesos de urbanización muy similares a los europeos, aunque sin sus inercias históricas y con fechas bastante más recientes en su intensificación. Porcentajes de población urbana del orden del 75% colocan a los mencionados países entre los más urbanizados del planeta.

El fuerte crecimiento de la urbanización en **América Latina**, acompañado por unas altas tasas de crecimiento demográfico, colocan a esta parte del mundo (por su nivel de urbanización) a la cabeza de las áreas en vías de desarrollo: algo más del 70% de su población vive actualmente en ciudades. Sin embargo, los datos al respecto deben ser manejados con un cierto cuidado, dado que los criterios manejados en algunos países para considerar a un asentamiento como urbano suelen ser muy diferentes a los que se utilizan en la mayoría de los países desarrollados (por ejemplo, el simple hecho de tener luz eléctrica o agua corriente puede ser una variable determinante en algunos países de esta región geográfica a la hora de calificar como urbana una zona determinada).

Por supuesto, hay países en América Latina en los que existen ciudades desde la más remota antigüedad (centros ceremoniales mayas o incaicos). Cabe recordar también que países como Argentina, Brasil o México conocen ya un cierto proceso de urbanización antes de la Segunda Guerra Mundial, pero sin el paralelismo de una industria desarrollada. Su acelerado proceso de urbanización es ya posterior a 1950. Según previsiones de las Naciones Unidas, en el 2025, América Latina será probablemente la zona de la Tierra con un mayor porcentaje de población urbana (por encima del 80%), con todos los problemas económicos, sociales y medioambientales que ello supone.

Tampoco hay que olvidar el hecho de que dentro de América Latina existen fuertes contrastes en el tema que estamos tratando. Allí encontramos países como Argentina, Chile y Uruguay, con más del 80% de población urbana, y otros como Haití y Guyana, que con un 30% de población urbana se sitúan hoy entre los de más bajo nivel de urbanización del mundo.

Es particularmente interesante observar que **África**, el continente de más intenso crecimiento demográfico del mundo en las últimas décadas, está también experimentando en la actualidad un importante proceso de urbanización, aunque partiendo de índices extremadamente bajos y con una tradición urbana muy escasa, en

general. Si en 1970 tan sólo el 23% de su población vivía en ciudades, en la actualidad este porcentaje supera ya el 40%. El proceso de urbanización alcanza su máxima intensidad en los países del norte y del sur del continente (el máximo corresponde a Libia, con un 76% de población urbana). En general, este proceso no cuenta con un adecuado soporte industrial, lo que unido a la rapidez e intensidad de su crecimiento, plantea toda una serie de problemas graves, al igual que sucede en muchas ciudades del Tercer Mundo.

En África se sitúan también algunos de los países menos urbanizados del planeta, como sucede con Ruanda, Burundi o Uganda, en los que los porcentajes de población urbana apenas llegan al 10%. La situación política de muchos de estos países actúa como un elemento disuasorio determinante para la emigración desde las zonas rurales a los núcleos urbanos, hasta el punto de que en algunos casos se está manifestando incluso un descenso de la población urbana.

Finalmente, **Asia**, con un 30% de población urbana, es el continente menos urbanizado del mundo, pese a que en él se desarrollaron algunas de las primeras civilizaciones urbanas de la historia. En todo caso, se trata de un continente con fuertes contrastes tanto de tipo económico como demográfico, que se reflejan muy claramente en su nivel de urbanización. Así, Japón, tiene actualmente un 77% de población urbana; en buena medida, el crecimiento de sus ciudades se ha vinculado a su espectacular desarrollo industrial y económico. En el otro extremo de la escala, tenemos a países como Omán, Bután o Nepal, que, con menos del 10% de población urbana, se sitúan dentro de la categoría de los países menos urbanizados de nuestro planeta.

Es importante recordar también que en Asia están los países más poblados del mundo, por lo que su situación actual y las perspectivas de evolución revisten una gran importancia a la hora de valorar el futuro del proceso de urbanización de nuestro planeta. Concretamente, es importante recordar que China, el país más poblado del mundo, con un 21% de población urbana, ha moderado últimamente su crecimiento demográfico (tasa anual 1’4%), y parece querer controlar

también el desmesurado crecimiento de sus ciudades, pese a lo cual se prevé que en el año 2025 Shangai y Beijing van a ser dos de las diez ciudades más pobladas del mundo. En esa misma fecha, tres ciudades de India, Bombay, Calcuta y Madras, van a estar también entre las diez ciudades más populosas del mundo.

En términos generales, el futuro de la población urbana en los mencionados países va a marcar el del conjunto del planeta. No en vano, Asia es, en cifras absolutas, el continente con más población urbana de la Tierra. En la actualidad, se estima que unos 1.300 millones de asiáticos viven en ciudades, de un total de unos 3.000 millones de personas en todo el planeta.

La problemática situación económica de los países subdesarrollados o en vías de desarrollo justifica en muchos casos la existencia de grandes déficits en infraestructuras, viviendas y servicios urbanos, precisamente en unos momentos en que se está produciendo un notable crecimiento de las respectivas ciudades, deteriorando gravemente la calidad de vida de sus habitantes. Esta situación produce también un empeoramiento en la situación ambiental de estas grandes aglomeraciones urbanas. En cualquier caso, no podemos olvidar que este tipo de problemas no existen únicamente en las ciudades del Tercer Mundo. Los guetos de pobreza y de marginación existentes en todas las grandes ciudades del primer mundo, sin excepción, son una buena de ello.

Para concluir este apartado, nos gustaría hacer una reflexión final. En la actualidad, los avances tecnológicos y las redes informáticas permiten un control centralizado de la producción, pero hacen posible una gran descentralización del propio proceso productivo, que ya no necesita estar localizado como hasta ahora en ciudades importantes, ni tan siquiera en ciudades, por lo que se pueden buscar otras localizaciones más económicas o, para ciertas actividades, recurrir incluso al llamado teletrabajo. Se podría tal vez aventurar la hipótesis de que se produzcan procesos de urbanización no espaciales (en cierto sentido), una posibilidad que no hace demasiado tiempo nos hubiera parecido pura fantasía.

En otras palabras, estamos aventurando la idea de que tal vez el modelo de **ciudad del futuro** (probablemente en un futuro no lejano) sea totalmente diferente al actual. Gracias a los continuos avances de la ciencia y la técnica, las personas, con independencia de su lugar de residencia, se pueden convertir en miembros de determinadas comunidades de intereses que no estén necesariamente definidas en términos de territorio. En este sentido, algunos autores han especulado con la posibilidad de que las nuevas tecnologías nos conduzcan algún día a vastas y dispersas regiones metropolitanas, e incluso a la disolución de la ciudad tal como la conocemos en la actualidad. Sin embargo, hoy por hoy, los vínculos territoriales y la dimensión espacial de los procesos de urbanización convencionales todavía dejan huellas muy profundas en los estilos y calidad de vida de la población mundial.

6.3. Ciudades, arquitectura y urbanismo

Al hablar de la relación existente entre ciudad, arquitectura y urbanismo, habría que subrayar en primer lugar las profundas diferencias que se observan entre las distintas zonas del planeta, en todos los sentidos. Evidentemente, las **diferencias** existentes entre una gran ciudad del mundo desarrollado occidental (en Europa o Estados Unidos) y una gran ciudad de los países en desarrollo (en África, Asia o Latinoamérica) pueden resultar realmente abismales. El origen de esta situación hay que buscarlo, sobre todo, en factores económicos, pero también en factores de índole cultural y social. Por otra parte, en el mundo desarrollado, se observan también importantes diferencias entre unas ciudades y otras. Estas diferencias se ponen de manifiesto, por ejemplo, cuando comparamos una gran ciudad europea mediterránea con otra de los países nórdicos, de población equivalente. Esas diferencias pueden ser enormes incluso dentro de un mismo país. Para entender mejor esto, basta con comparar, por ejemplo, una ciudad de tamaño medio andaluza con otra gallega, sobre todo en el caso de que ambas hayan conservado sus rasgos más característicos hasta nuestros días.

Tampoco habría que olvidar, al tratar este complejo tema, la arquitectura o urbanismo no convencionales, de las formas de vida relacionadas con aquello que conocemos generalmente como **arquitectura popular**, en contraposición a la que denominamos "arquitectura culta". Aunque con escasa incidencia cuantitativa, esta arquitectura popular puede proporcionar numerosos ejemplos de construcciones o sistemas urbanos mucho más respetuosos y sostenibles con el medio que los convencionales. Por ejemplo, ciertas comunidades humanas que todavía no han perdido del todo su cultura (muchos aborígenes de Australia o Centroamérica, por ejemplo) mantienen un contacto muy directo y respetuoso con la naturaleza. Son conscientes de que forman parte de ella, viven de ella y necesitan conocerla y no dañarla. Y aunque habitan espacios creados por el hombre, en esas comunidades continua vigente el sentimiento de que son "hijos de la tierra".

En general, los autores de la llamada arquitectura popular utilizan en gran medida los medios naturales que puede ofrecer cada lugar. En consecuencia, este tipo de construcciones responde a la economía, la comodidad y el funcionamiento interno de los correspondientes edificios. Por otra parte, el hecho de estar creadas por arquitectos anónimos acentúa la transmisión tradicional del saber y disminuye la necesidad de originalidad. Algo, esto último, que también caracteriza a muchas de las realizaciones de la arquitectura "culta" actual.

Cuando se habla del tema de la integración entre arquitectura y naturaleza, resulta inevitable hacer una referencia a las **villas renacentistas** italianas, unas construcciones suburbanas erigidas en dicho país a lo largo de los siglos XV, XVI y XVII. Estas edificaciones estaban destinadas básicamente al ocio. Fuertemente entroncadas en la cultura renacentista italiana, estas villas adoptaron la grandeza como norma y una tipología de jardín que se extendía a los pies de la villa y que consistía en un sistema de parterres y pequeñas parcelas con plantaciones bajas y recortadas, con ejes de simetría y perspectivas rectas e iguales a ambos lados de los ejes. La edificación que dominaba todos estos espacios se asemejaba, por sus dimensiones

y decoración, a un palacio. En el conjunto, la arquitectura era el elemento dominante de todo el espacio, regulando y ordenando la naturaleza. El contraste de estos conjuntos con las ciudades que se levantaban en su proximidad era más que evidente, dado que éstas mantenían su carácter medieval, irregular, con sus quiebros y espacios diferentes, abiertos o cerrados, grandes o pequeños. Al estar ubicadas en el campo, estas villas renacentistas presentaban también un acusado contraste con el paisaje que las rodeaba, lleno de accidentes naturales, de laderas y llanuras, donde se sucedían los colores y las formas distintas, con las montañas, valles, ríos o bosques.

En relación con esta cuestión, puede ser interesante también recordar que las obras de remodelación del **palacio y jardín de Versalles** empezaron en 1669. En este lugar, Luis XVI encontró lo que no había podido tener en París, es decir, un escenario digno de sus imperativos políticos. Un ambiente grandioso en el que la mano del hombre pudiera diseñar a su gusto, a gran escala, para satisfacer los placeres y dictámenes del rey, que necesitaba de un gran espacio donde poder organizar todo el complejo y sofisticado mecanismo burocrático de su gobierno y, a la vez, mostrar la omnipotencia de su mandato, la monarquía absoluta. En París esto no era posible, puesto que estaba ya construido y su estructura medieval no le permitía llevar a cabo estos deseos. Como contraste, Versalles era un espacio prácticamente virgen. Gozaba, además, de una cierta tradición, ya que era el lugar de placer, caza y veraneo de sus antecesores. No era necesario transformar lo ya realizado, sino continuar estas obras, pero con un mayor esplendor y maestría.

En Versalles, los jardines forman parte del palacio, y todo ello está sujeto a un ceremonial que se extiende desde la puerta de entrada del palacio hasta las escalinatas que caen sobre el jardín, y desde éstas hasta mucho más allá, pues continua con cinco grandes avenidas que se adentran en el gran bosque, el cual se encuentra al fondo de un ancho valle y sube por las suaves montañas laterales a éste. Versalles era como una ciudad a juzgar por la cantidad de gente que allí vivía. Una buena parte de la administración se trasla-

dó desde París a Versalles, para estar cerca del monarca. Con todo el aparato funcionarial, la nobleza vino también a residir en este mismo lugar, a uno de los lados del palacio. En el otro lado, ninguna construcción interceptaba la vista sobre el vasto jardín del monarca. El gran jardín había dejado de ser naturaleza, pero tampoco hubiera podido ser nunca una ciudad. Se había convertido en lo opuesto de lo uno y lo otro.

En un principio, en la **Inglaterra** de este tiempo se implantó con fuerza la moda de los jardines italianos. Sin embargo, pronto surgió una cierta crítica hacia la moda francesa y, algo más tarde, se tomaron posiciones claramente en contra. Aunque se admiraba el jardín renacentista y barroco, se apuntaba a la necesidad de "seguir a la naturaleza", abriendo así el camino hacia un arte más sencillo y natural. Escritores y filósofos de la época se dejan llevar por la belleza de los paisajes cotidianos y tratan de incorporarla, en la medida de lo posible, a los jardines personales, diferenciándose así claramente del gran modelo de Versalles, repetidamente imitado en otros países europeos.

La defensa de los nuevos principios encerraba, en el fondo, una postura ética. La libertad de la naturaleza tenía un paralelismo con la libertad del individuo. El saber y poder disfrutar de una naturaleza sin artificios, en sus niveles más simples, era algo que cubría de grandeza e inteligencia al ser humano. En este tiempo, se pusieron también de moda en Inglaterra las villas del tipo diseñado por Palladio en las proximidades de la Venecia en el siglo XVI (de las que todavía se conservan muchas en las proximidades de esta ciudad) y que propugnaba una relación equilibrada con el entorno natural en el que tales villas se asentaban. Estas grandes villas rurales ponían de manifiesto una admiración sincera de sus promotores por la naturaleza, una mayor comunicación y respeto hacia ésta. Por otra parte, tanto en Italia como en Inglaterra, las villas en cuestión cumplían dos funciones diferentes, dado que eran a la vez lugares de residencia y centros de explotaciones agrícolas más o menos extensas.

Dando un salto en el tiempo de más de tres siglos, nos parece necesario subrayar aquí el hecho de que **la ciudad actual** en los países de nuestro entorno ha vuelto la espalda, en muchos aspectos, tanto a la ciudad medieval como a la ciudad media típica de culturas no occidentales (en este sentido, nos referimos sobre todo a aquellas ciudades cuyas economías todavía no han experimentado el zarpazo de la industrialización y que todavía comparten con las antiguas ciudades medievales una cierta interrelación de costumbres, funciones y clases sociales).

Estas características se han perdido prácticamente por completo en todas las ciudades modernas. En primer lugar, con el fortalecimiento de la clase media y su enriquecimiento, éstas fueron creando sus propias áreas residenciales. Ya en la segunda mitad del siglo XIX empezaron a definirse algunas barriadas de las ciudades, relativamente importantes desde el punto de vista de su extensión, que eran verdaderos cotos privados para la gente con sólidos recursos económicos. Al mismo tiempo, en los suburbios o zonas deprimidas de esas mismas ciudades, se fueron creando verdaderos guetos para los obreros e inmigrantes pobres.

Aunque esta situación nos parezca algo muy natural en las ciudades de hoy en día, las cosas no siempre han sido así. Aunque, con anterioridad al siglo XIX, en las ciudades existieran zonas mejor urbanizadas y otras más insalubres o en perores condiciones, todo el conjunto estaba habitado por gentes de diferentes orígenes sociales y posibilidades económicas. Todavía podemos contemplar hoy en día cómo, en general, en los centros de las ciudades se ubicaban las grandes iglesias y catedrales, y junto a ellas existía siempre una agrupación de pequeñas casas, muy humildes, que parecían acogerse al amparo de estas edificaciones. De forma similar, la sede del poder político atraía los despachos de los juristas, los hombres de negocios o los centros económicos. Si leemos hoy los censos de población de una ciudad de tiempos pretéritos, podemos comprobar que en una misma calle vivían las personas de linaje con sus familias, junto a sus servidores, el tabernero, el herrero o el comerciante.

Por supuesto, el uso de las calles estaba abierto a toda la comunidad. De hecho, las calles y plazas de cualquier ciudad cumplían una función de relación social muy importante. Las personas mayores todavía recuerdan la costumbre que existía en las ciudades de sacar las sillas de la casa a la calle, para charlar con los vecinos y mantener una estrecha relación con ellos (una costumbre que todavía podemos contemplar hoy en muchos pueblos de nuestro país). La búsqueda de sociabilidad era un hecho muy común entre los ciudadanos. Por supuesto, las cosas han cambiado radicalmente en la actualidad. La proliferación del tráfico rodado es uno de los factores (no el único) que ha contribuido a este cambio.

La zonificación según los diferentes usos es otro factor significativo en la estructura de las grandes ciudades modernas. Nos parece importante recordar que el arquitecto francés **Le Corbusier** (1887-1965) fue uno de los defensores más vehementes de la necesidad de dividir las ciudades en zonas, dependiendo de las actividades humanas. Advertimos que estamos hablando de los años cuarenta del siglo pasado. Así, por ejemplo, según este autor, en las ciudades debería existir una zona dedicada al trabajo, otra a la vivienda, otra al comercio y servicios y otra al ocio. Según las ideas de este arquitecto, las viviendas deberían estar separadas de las grandes vías de circulación. Las viviendas se deberían construir en sus propios medios (nunca junto a una calzada por la que discurre el tráfico), donde los ciudadanos pueden disfrutar de sol, aire puro y silencio.

Anteriormente, Le Corbusier había propuesto que los centros de trabajo no deberían estar en el interior de los complejos urbanos. En este sentido, este autor no sólo se refería a las grandes instalaciones fabriles o grandes almacenes, que por sus proporciones, ruidos, olores y contaminación que suelen provocar nunca deberían estar en el centro de las ciudades, sino que incluía también en esta misma propuesta a las pequeñas industrias, los talleres artesanales, los locales de la administración o los comercios.

Finalmente, Le Corbusier dictaminaba también que los lugares destinados al ocio, excepto los de pequeño tamaño, debían estar constituidos por grandes instalaciones situadas en zonas destinadas

específicamente a estos fines, siempre suficientemente alejadas de las zonas estrictamente residenciales.

Todas estas ideas, cuando se han llevado a la práctica, han supuesto un grave error para las ciudades modernas. La **división de las ciudades en zonas** según los diferentes usos ha producido la desintegración de los barrios, ha creado mayores problemas de circulación, y ha empeorado la calidad de vida de millones de ciudadanos. Aunque no discutamos su buena voluntad, Le Corbusier planteó de forma bastante miope lo que él creía que era la solución al caos de muchas ciudades modernas. Los ensayos realizados en este sentido (caso de alguna *new town* inglesa) han sido fuertemente criticados con posterioridad, dado que nos conducen a lo que algunos expertos han denominado "anticiudades". De hecho, cuando la citada zonificación se aplica rigurosamente se favorece la creación de guetos seccionados de la salvia de la vida, vida que transcurre siempre a lo largo de las veinticuatro horas del día y los siete días de la semana, alternando los períodos de actividad con los de descanso.

Los efectos perversos de estas propuestas los conocemos hoy en día en las llamadas ciudades dormitorio y zonas residenciales suburbanas, por ejemplo. Las primeras destinadas a las clases más modestas y las segundas a las clases más pudientes. Estos dos tipos de ciudades presentan numerosos problemas y tienen grandes carencias. Tampoco para el tráfico rodado esta "solución" resulta positiva. La circulación en las respectivas vías de acceso es agobiante, sobre todo a determinadas horas punta. Las distancias que las personas residentes en este tipo de ciudades deben recorrer para llegar todos los días a sus lugares de trabajo son a menudo excesivas; este hecho repercute, en horas y en esfuerzo, sobre el propio trabajo diario de estas personas. Los ejemplos de esta situación, más o menos próximos a todos nosotros, son bien conocidos por todos.

En cualquier caso, la consecuencia negativa más importante de todos estos planteamientos se concreta fundamentalmente en la paulatina degradación de los barrios tradicionales de muchas gran-

des ciudades. Esta degradación se pone de manifiesto, sobre todo, en las zonas más sensibles de estas ciudades, como son sus centros históricos, carentes ya de las funciones que los caracterizaban en el pasado y que han visto desaparecer de su seno a muchos residentes e infinidad de pequeños talleres y comercios. La escasa sensibilidad de las administraciones responsables hacia estas cuestiones ha contribuido, en muchos casos, a acelerar los procesos de degradación urbanística y social de estas zonas.

El uso mixto de las zonas urbanas, en la línea de favorecer tanto la mezcla y coexistencia de sus habitantes como la de las diferentes actividades comerciales e industriales, naturalmente en condiciones adecuadas, permite conservar el carácter de las ciudades, integrando las zonas residenciales y las de producción. Por otra parte, estos planteamientos reducen el número e importancia de los desplazamientos diarios realizados mediante medios de transporte, un hecho que produciría evidentes ventajas para el medio ambiente urbano, en general.

6.4. Los espacios públicos en las ciudades

De unos años a esta parte, se viene hablando con mucho mayor énfasis que en tiempos pasados de un "regreso a lo verde", como una postura esencial para un desarrollo urbano armónico. De entrada, aún reconociendo la importancia de un enfoque tecnológico de las zonas verdes y de los espacios libres en las ciudades, habría que insistir en la idea de que los espacios verdes en una ciudad no son útiles más que si la Naturaleza puede aparecer en el interior de los perímetros urbanos en una cierta medida y con la mayor conexión posible con los espacios naturales que puedan existir en los exteriores de las ciudades.

Como criterio básico, los **espacios públicos urbanos** deberían planificarse e inscribirse necesariamente en períodos de larga duración dentro de la vida de las ciudades (cosa que no siempre se cumple). Toda doctrina espacial es una obra que se dilata en el tiempo. En este sentido, las normas estándar marcadas por la vigente Ley del Suelo en nuestro país se encuentran ciertamente muy superadas. La idea

de partida, consistente en establecer unos mínimos de necesidades cuantificables para los habitantes, tales como pueden ser los puestos escolares o de atención sanitaria no es obsoleta; sin embargo, en el aspecto de espacios libres, y si lo que verdaderamente se busca es el bienestar de los ciudadanos, las disposiciones legales vigentes en nuestro país se encuentran bastante lejos de ser realmente útiles. Concretamente, la situación existente en muchas de nuestras ciudades sigue estando muy alejada de los 9 m^2 de zonas verdes por habitante que recomienda la Organización Mundial de la Salud.

Las previsiones de nuestra Ley del Suelo para modificar esta situación son muy elementales, remitiéndose a los llamados Planes Especiales (a través de los correspondientes planes de saneamiento, planes de reforma interior, etc.), los cuales resultan con mucha frecuencia claramente insuficientes. Parece fuera de duda que, en función de las características específicas de los diferentes enclaves urbanos, habría que promover instrumentos de intervención nuevos, como podría ser un Plan de Mejora del Paisaje Sonoro Urbano o un Plan de Mejora del Confort Ambiental del Entorno, de la misma forma con que se plantean, por ejemplo, los Planes Especiales relativos a ciertas mejoras en las infraestructuras urbanas.

La reglamentación de las dimensiones de las zonas verdes o espacios libres, en función del número de viviendas existentes o de la superficie construida (a través de los oportunos planes generales o parciales de ordenación urbana) plantea muchos problemas en la práctica. Entre otras consideraciones, por ejemplo, no hay que perder de vista la existencia de importantes cambios de mentalidad en los habitantes de las ciudades, cuyas exigencias sobre un mayor confort ambiental, tanto en la propia ciudad como en sus hogares está creciendo de día a día. Es un hecho bien conocido, por ejemplo, que muchos de nuestros jardines públicos (en general, de pequeñas dimensiones) se encuentran a merced del ruido producido por el tráfico rodado, están saturados de polvo, su aire está bastante contaminado y carecen de zonas umbrosas de cierta entidad. Por lo tanto, no debería extrañar a nadie que estos jardines no cuenten con demasiados visitantes, sobre todo en nuestros calurosos veranos.

Cabe recordar que los espacios urbanos no construidos están destinados a desarrollar, en las ciudades modernas, unas funciones medioambientales mucho más complejas que las tradicionales (espacios de esparcimiento y relación social). En definitiva, se trata de que constituyan también un verdadero filtro contra la contaminación atmosférica que atenaza estas ciudades, favorezcan la retención de las aguas atmosféricas, posibiliten una cierta atenuación de los niveles sonoros elevados que suelen existir en todas las zonas urbanas, o puedan servir como asentamiento para determinados equipamientos o infraestructuras necesarias para una ciudad. Todos estos criterios deben tenerse en cuenta a la hora de planificar tales espacios, como contrapunto a los espacios edificados, que en nuestro país suelen caracterizarse por su alta densidad.

Resulta esencial que la política de **planificación de los espacios públicos** de una gran ciudad considere a estos espacios como un objeto de demanda social primordial. De hecho, los parques y jardines urbanos deberían ser sus elementos centrales, alrededor de los cuales se fueran distribuyendo los edificios, siguiendo una configuración urbanística armónica con ellos. Bajo esta perspectiva, quizás los llamados parques tecnológicos existentes ya en algunas ciudades de nuestro país, apuntan (con mayor o menor suerte) a lo que debería ser un aspecto fundamental del tema que nos ocupa: el derecho de los ciudadanos a tener un acceso directo a la naturaleza, no sólo durante su tiempo de ocio o descanso, sino también cuando están trabajando. Los planificadores deberían ser sensibles al hecho de que muchos ciudadanos (jóvenes, personas mayores, etc.), ante la carencia de medios propios de desplazamiento, ven enormemente dificultadas sus posibilidades de acceso a los espacios naturales.

Habría que denunciar también el hecho de que, frente a la escasez crónica de espacios libres de cierta entidad en la mayoría de nuestras ciudades, producida de forma sistemática por la desmesurada importancia que se dio en décadas pasadas al desarrollismo, al tráfico rodado y a la construcción masiva de edificios, se ha recurrido frecuentemente a la técnica de crear bajo plazas, bulevares o aceras (inicialmente dotadas de vegetación), aparcamientos subterráneos

u otras obras de infraestructura que han producido una importante degradación de la vegetación preexistente en esos lugares y, en general, del paisaje urbano, máxime si tenemos en cuenta los acabados que suelen caracterizar estas obras, con un predominio de materiales duros y ausencia significativa de vegetación.

Posiblemente sea el alemán Dieter Magnus, con sus reflexiones sobre "la naturaleza como remedio urbanístico", quien mejor haya sabido expresar en estos últimos años la imperiosa necesidad de crear **zonas de esparcimiento** en las ciudades, utilizando de forma adecuada vegetación, arroyos y fuentes de agua. Tal vez en el fondo de estas propuestas subyace el concepto higienista de que la vegetación es un excelente filtro natural para eliminar la contaminación ambiental producida por la actividad ciudadana.

Considerada en un sentido estricto, la anterior afirmación resulta bastante exagerada. Basta tener en cuenta que serían necesarias unas veinte hectáreas de vegetación para equilibrar la contaminación que produce la circulación de un único automóvil. Sin embargo, sí es cierto que la vegetación contribuye a fijar el polvo atmosférico y eliminar microorganismos. Es también un elemento regulador de la temperatura y la humedad ambientales. Sin embargo, debe quedar claro que, en realidad, todas estas posibilidades están muy limitadas por el fuerte desequilibrio existente entre los espacios verdes urbanos por un lado (generalmente escasos) y los factores contaminantes por el otro (excesivamente abundantes).

En el tema que estamos considerando, es muy importante distinguir entre zonas verdes y espacios abiertos. En general, cuando hablamos de zonas verdes nos solemos referir a los diferentes tipos de jardines o parques, es decir, a lugares de descanso y tranquilos, con abundante vegetación. En cambio, la denominación de **espacios abiertos** se suele utilizar para designar lugares no tan bien definidos como los anteriores, aunque desempeñan una misión activa y tecnológica muy importante. Un espacio libre puede ser tan diferente como una zona peatonal, una zona de equipamiento deportivo o cultural de carácter comunitario y cierta entidad, un lugar destinado

a albergar juegos infantiles o, simplemente, la zona superficial que cubre un gran aparcamiento subterráneo.

Es evidente que, incluso en el caso de que exista, la vegetación que pueda desarrollarse en este tipo de espacios será de tamaño relativamente reducido, por razones de índole práctica (limitación de espacio, escasez de tierra, etc.). En particular, esta situación es muy negativa en el caso de que dicha zona abierta albergue en el subsuelo a un aparcamiento de vehículos, un caso que empieza a abundar en muchas de nuestras ciudades. Como es natural, este tipo de espacios no debería contabilizarse nunca como "zona verde", por la sencilla razón de que no cumple una serie de requisitos fundamentales para ello.

Otro factor de interés en este mismo tema es la consideración de que no se deben fragmentar demasiado los espacios verdes urbanos proyectados, ya que su papel beneficioso para el medio ambiente urbano en general es muy superior cuando se cuenta con pocas zonas verdes de gran extensión, que con muchas zonas verdes de extensión minúscula, aunque la superficie total correspondiente a estos dos supuestos sea comparable.

En cualquier caso, hemos de insistir en el hecho de que que, por muchos esfuerzos que se hagan, los agentes productores de contaminación ambiental en las ciudades (personas, tráfico, industrias, etc.) son mucho más poderosos que los elementos correctores (vegetación, corrientes de agua, etc.). Por lo tanto, la única posibilidad práctica de combatir con éxito la contaminación en los medios urbanos debe basarse fundamentalmente en reducir esa contaminación en el origen.

6.5. Control de la temperatura y la humedad

Como es bien sabido, los rayos solares calientan los tejidos vegetales y la evaporación del agua producida en ese proceso origina un cierto descenso de temperatura en el medio más próximo. Cuando un gramo de agua se transforma en vapor se absorben 540 calorías; en consecuencia, se produce un enfriamiento muy notable de la planta

afectada. Las cantidades de agua puestas en juego en este proceso elemental pueden ser muy importantes. Basta tener en cuenta que una sola hectárea de bosque puede llegar a producir (combinando la transpiración de las hojas de los árboles y la evaporación directa de agua desde el suelo) cerca de 5.000 toneladas de agua por año.

Como acabamos de indicar, el proceso descrito da lugar a un descenso global, más o menos importante, de la **temperatura ambiente** en las zonas más inmediatas. Los resultados de las medidas realizadas en ese sentido, por ejemplo, cuando se compara la temperatura medida en el centro de una ciudad y en puntos de su periferia (junto a zonas provistas de vegetación abundante), revelan la existencia de diferencias del orden de 3 a 4º C. Si las condiciones son favorables, este gradiente térmico puede dar lugar incluso a la aparición de un régimen de brisas, capaz de producir una saludable renovación del aire urbano (téngase en cuenta que el aire del centro de la ciudad, más caliente, asciende por convección, siendo sustituido por el aire más frío procedente de las zonas periféricas).

Por razones obvias, la **sensación de frescor** que este flujo de aire origina es más acusada durante el verano que durante el invierno. De todos es conocida la sensación de bienestar que produce pasear sobre un césped urbano en época estival (especialmente si ese césped ha sido regado recientemente), en contraste con la que percibimos el mismo día cuando caminamos sobre un suelo de asfalto o cemento, aunque este lugar no se encuentre demasiado alejado del primero. Por supuesto, la sensación de bienestar o de malestar no depende solamente de la temperatura ambiente, sino también de su humedad.

En este último sentido, el carácter más o menos impermeable de un suelo jugará un papel muy importante. La capacidad de drenaje de un pavimento de terrazo, cemento o asfalto, no tiene nada que ver con la que exhibe un suelo de tierra (y no digamos ya si ésta está cubierta por césped). Naturalmente, de lo que estamos hablando ahora es de la capacidad de absorción del agua (por ejemplo, tras una lluvia intensa) y de su devolución posterior a la atmósfera, más

o menos lenta según la naturaleza del suelo y de las condiciones ambientales. Todos estos procesos físicos, adecuadamente gestionados, pueden contribuir a crear un microclima urbano muy placentero. De hecho, entre otros objetivos, estos mismos resultados son los que se pretende conseguir con el riego de nuestras calles por parte de los correspondientes servicios municipales, especialmente durante las épocas estivales, aunque ello se logre a costa de un consumo importante de agua, un bien bastante escaso en muchas regiones de nuestro país.

Vemos de este modo que, en el aspecto del control térmico e higrométrico del ambiente urbano, se pone de manifiesto también la imperiosa necesidad de avanzar hacia ciudades más verdes que las actuales, es decir, con una mayor presencia de la naturaleza en ellas, respondiendo a una planificación urbana que permita defender a los residentes de la agresividad y fealdad que caracteriza a muchas de las planificaciones urbanísticas que, desgraciadamente, resultan tan frecuentes en estas latitudes.

6.6. El problema de los residuos urbanos

En términos generales, una gran industria es una instalación en la que se consumen productos muy diversos (tales como materias primas, agua y energía) y se producen determinados bienes de consumo (automóviles, vestidos, calzado, electrodomésticos, muebles, etc.). Ahora bien, todas las industrias se caracterizan también por producir residuos y desechos de muy distinta naturaleza y en cuantía muy variable de unas instalaciones a otras. El vertido libre de estos residuos (sólidos, líquidos o gaseosos) puede tener un impacto negativo significativo en el medio ambiente más o menos inmediato.

Pues bien, en cierto sentido, en las ciudades sucede algo similar a esto. En estas aglomeraciones humanas se consumen productos muy variados (alimentos, agua, energía, objetos manufacturados, etc.) y, a su vez, se producen una amplia variedad de productos necesarios para su comunidad u otras comunidades, en instalaciones ubicadas en la propia ciudad o en polígonos industriales más o menos próximos a ellas. Todo ello sin olvidar la presencia en esas ciudades

de un importante sector terciario (administración, educación, sanidad, mantenimiento, reparación, etc.). En todas las actividades que se desarrollan en una ciudad, tanto individuales como colectivas, se producen también una gran variedad de residuos y desechos, de naturaleza y cuantía muy diversa.

El vertido de estos residuos al medio ambiente (aire, agua o suelo) suele plantear problemas medioambientales de enorme relevancia. En consecuencia, la correcta gestión de estos residuos suele ocupar un lugar muy destacado entre las preocupaciones de los responsables administrativos de nuestras ciudades.

En particular, muchos de nosotros somos conscientes de que una parte muy importante de los **vertidos de residuos** sólidos que se generan en nuestro entorno tienen su destino final en vertederos incontrolados o con evidentes deficiencias. Por ejemplo, se ha estimado que en el año 1995 únicamente la mitad de los residuos sólidos generados en nuestras ciudades recibían un tratamiento sanitario adecuado. Además de los importantes riesgos para la salud humana que esta situación supone (infecciones), habría que tener en cuenta también la consiguiente pérdida de valores estéticos, el peligro de generar incendios, o las molestias que originan los humos y malos olores desprendidos por tales residuos sobre los residentes.

En estos últimos años, la concurrencia de una serie de circunstancias ha agravado considerablemente este problema. Muchos de los vertederos destinados a la recepción de estos residuos sólidos, su destino tradicional, se saturan con mucha rapidez y en ocasiones resulta bastante difícil encontrar nuevos emplazamientos para ubicar este tipo de instalaciones, por motivos muy diversos. En algunos casos, se ha llegado a plantear la **incineración** de dichos residuos como la solución más adecuada para este problema. Sin embargo, este tipo de tratamiento de las basuras suele suscitar una gran polémica, relacionada con el correspondiente vertido a la atmósfera de grandes cantidades de compuestos tóxicos (entre los que se cuentan los contaminantes atmosféricos convencionales y compuestos orgánicos tales como las temibles dioxinas policloradas).

Un factor interesante a destacar en relación con el problema de los residuos sólidos es la enorme variedad de la naturaleza de estos residuos. Por ejemplo, con toda su singularidad, los **vehículos a motor** fuera de uso ocupan un lugar destacado en esta categoría. La Unión Europea ha considerado que la gestión de estos "vehículos fuera de uso" debe constituir una de sus líneas prioritarias de actuación, dada la peligrosidad de algunos de sus componentes residuales y la cantidad de residuos generados procedentes de dichos vehículos (estimada en torno a los 2 millones de toneladas anuales en todos los países de la Unión). Con todo, en términos estrictamente cuantitativos, los residuos relacionados con los vehículos de motor al final de su vida útil suponen sólo el 0'2% del total de los residuos generados en la Unión Europea, frente a otros orígenes tan destacados como la industria en general (12%) o la construcción (11%).

Sin olvidar que existen otras muchas fuentes de residuos asociadas a las diferentes actividades que se llevan a cabo en cualquier sociedad más o menos desarrollada, en el contexto de este capítulo, nos ocuparemos exclusivamente de los **residuos municipales**, es decir, los que se producen en nuestras ciudades. Dentro de esta categoría, es también conveniente distinguir entre los residuos domésticos, es decir, los contenidos en las bolsas de basura de nuestros hogares, y los residuos de tipo comunitario, entre los que se incluyen los producidos por las diversas instalaciones o entidades urbanas (comercios, oficinas, hoteles, centros docentes, industrias, talleres, etc.), así como los recogidos en la limpieza cotidiana de las calles, mantenimiento de las zonas verdes y jardines, desechos producidos en las actividades festivas, etc. Por supuesto, la recogida y gestión de todos estos residuos es responsabilidad de las correspondientes administraciones locales.

En un estudio realizado recientemente por la Asociación de Ciudades para el Reciclaje (años 1998/2000) en una amplia muestra de ciudades europeas, se llegó a la conclusión de que la producción media de **residuos domésticos** en dichas ciudades era del orden de 420 kilos por habitante y año, es decir, alrededor de 1'2 kilos por habitante y día. Como es natural, este dato presenta una amplia va-

riabilidad cuando se consideran individualmente cada una de estas ciudades. Por ejemplo, las cifras en cuestión son muy diferentes en Burdeos (630), Palermo (560), Córdoba (440), Madrid (405), Bruselas (350) o Varsovia (260).

En este mismo estudio se encontró que la producción media de **residuos comunitarios** producidos por las ciudades consideradas era de unos 640 kilos por habitante y año, es decir, 1'7 kilos por habitante y día. También en este caso, las diferencias existentes entre unas ciudades y otras son notables. Como ejemplos de estas diferencias, podemos mencionar los casos de Dunkerque (930), Coimbra (850), Barcelona (460) y Oslo (360).

Los datos anteriores permiten que nos hagamos una idea sobre la magnitud del problema que supone la gestión de estos residuos y la responsabilidad que soportan las respectivas administraciones locales. Téngase en cuenta, por ejemplo, que en una ciudad como Madrid, con una población del orden de 4 millones de habitantes, se produce un total de 860 kilos de residuos varios por habitante y año, lo cual supone más de 3'4 millones de toneladas cada año. La gestión de esa enorme cantidad de residuos (de todo tipo) no resulta nada fácil y supone también un coste económico extraordinariamente elevado.

Como ya hemos indicado anteriormente, la naturaleza de estos residuos municipales es sumamente variada. Por lo que respecta a los residuos domésticos (hogares), puede ser interesante saber que en su composición media intervienen sobre todo productos orgánicos (29%), papel y cartón (29%), plásticos (9%), vidrio (7%), textiles (5%) y metales (4%).

Este tipo de datos se ha tenido muy en cuenta a la hora de planificar las recogidas selectivas de este tipo de residuos urbanos con el fin de proceder a su reciclado, que se van abriendo paso, poco a poco, en muchas ciudades europeas. En el mismo estudio que estamos comentando se llega a la conclusión de que la cantidad de residuos reciclables que se obtienen con las recogidas selectivas de residuos domésticos puede llegar al 30% de la cantidad total, como promedio.

Concretamente, en Viena, una de las ciudades europeas en las que los sistemas de recogida selectiva de residuos domésticos están más avanzados, se recogen separadamente 58 kilos de residuos orgánicos, 70 kilos de papel y cartón, 16 kilos de vidrio, 11 kilos de metales y 4 kilos de plástico, todo ello por habitante y año. Estas cifras suponen más del 40% del total de residuos producidos.

En cualquier caso, las cosas están evolucionando muy rápidamente en este sentido, y generalmente en una dirección positiva. Por ejemplo, la intensificación de las prácticas de recogida de estos residuos en la ciudad de Lieja ha permitido que las cifras de recogida selectiva evolucionen desde los 43 kg/hab/año en 1998 a los 110 kg/hab/año en el año siguiente. Dublín pretende llegar a reciclar hasta un 60% de los residuos domésticos producidos en esta ciudad en el año 2008. El caso de Milán merece también ser destacado. En esta ciudad se clasifica y se recicla actualmente casi el 75% de los residuos urbanos recogidos.

Es importante destacar el hecho de que muchas ciudades europeas (Viena, Munich, Bruselas, La Haya, Oslo, etc.) han tomado también iniciativas para la recogida y reciclaje de electrodomésticos, muebles, juguetes, textiles, medicinas, pilas, zapatos, tubos fluorescentes y otros residuos domésticos especiales.

Según el estudio al que nos estamos refiriendo, en Córdoba, una de las ciudades pioneras en nuestro país en sistemas de recogida selectiva de residuos, se recoge selectivamente (para proceder a su posterior tratamiento y reciclado) más del 15% de los residuos domésticos producidos. Barcelona está ensayando actualmente un método original de recogida que permite reducir notablemente el impacto visual y acústico de los contenedores convencionales, situando a éstos bajo el suelo (los camiones de recogida vacían estos contenedores mediante un sistema de aspiración). Aunque la recogida selectiva de residuos domésticos en nuestro país es una práctica todavía muy reciente, parece ser que las cosas van por buen camino tanto por lo que respecta a las iniciativas tomadas por nuestras administraciones locales como a la respuesta general de los ciudadanos. En todo caso, el esfuerzo a realizar en ese sentido es todavía considerable.

7. LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA

7.1. Introducción

La contaminación acústica es en la actualidad una de las mayores fuentes de malestar en todas las sociedades desarrolladas. El **ruido ambiental** lo llena todo y nos afecta a todos. Las personas están constantemente expuestas a niveles de ruido ambiental más o menos elevados en todas sus actividades cotidianas, por ejemplo, cuando trabajan en una industria, comercio u oficina (ruido laboral), cuando utilizan medios de transporte (automóviles, autobuses, ferrocarriles o aviones), cuando están descansando en sus casas (expuestos al ruido producido por una amplísima variedad de fuentes internas o externas), o incluso cuando se encuentran en ciertos lugares de ocio (tales como bares, discotecas o estadios deportivos). Para cualquier persona que viva en una sociedad industrializada, la contaminación sonora se ha convertido en un elemento absolutamente cotidiano, algo con lo que hay que convivir, aunque pueda ser ocasionalmente objeto de algunas quejas o comentarios adversos. Hoy en día, la mayoría de los residentes urbanos están convencidos de que el ruido es un factor medioambiental muy difícil de controlar y, en última instancia, una secuela inevitable del progreso tecnológico.

Los diferentes estudios realizados por muchos autores a lo largo de las últimas décadas han demostrado que la contaminación sonora afecta claramente a la salud de las personas, produciendo una larga serie de efectos fisiológicos y psicológicos cuya importancia depende básicamente de las condiciones específicas existentes en cada caso concreto. Desde una perspectiva no fisiológica, cabe señalar que todos

nosotros podemos resultar afectados por la percepción de un sonido determinado y no por la de otro sonido de características similares a las del primero. En otras palabras, la magnitud de la molestia que produce un cierto ruido depende no sólo de la cuantía en que el nivel del sonido considerado excede del nivel sonoro de fondo al que las personas están expuestas en un lugar y tiempo determinados, sino también de la actividad concreta que esas personas están llevando a cabo en ese preciso instante (lectura, conversación, sueño, trabajo manual, etc.).

Estas últimas consideraciones se pueden relacionar con la definición del ruido como un **sonido no deseado** o también como una "sensación auditiva desagradable o molesta". El carácter relativamente impreciso de esta definición tiene su origen en la subjetividad con que enjuiciamos ciertos elementos de un determinado sonido (nivel energético más o menos alto, variaciones bruscas e importantes de la intensidad y la frecuencia, etc.). En otras palabras, el mayor o menor nivel de molestia que acompaña a ciertos fenómenos sonoros es precisamente la cualidad que nos permite calificarlos de ruido. La audición de una bella composición musical puede resultar muy placentera para muchas personas y, al mismo tiempo, ser insoportable para otras personas que la perciben de forma no deseada.

Pese a la importancia que ha alcanzado en nuestra sociedad actual, el ruido ambiental es uno de los "contaminantes" a los que se ha dedicado hasta hace pocos años menos atención. Esta actitud estaba motivada fundamentalmente por el hecho de que, en términos generales, su peligrosidad no es grave o inmediata. En efecto, salvo situaciones excepcionales, los niveles de contaminación acústica a los que están sometidos los ciudadanos no son lo suficientemente elevados como para atentar gravemente contra su salud. En este mismo sentido, cabe señalar también el hecho de que el ruido ambiental está asociado a ciertas funciones que consideramos indispensables en nuestra vida actual. Por ejemplo, aunque se reconoce que los medios de transporte modernos constituyen las fuentes de ruido más significativas en nuestra sociedad, nadie plantea seriamente su



Figura 21.- Vivienda para pobres en una pequeña comunidad rural. África ha sido el continente de mayor crecimiento demográfico del mundo en las últimas décadas y está experimentando en la actualidad un importante proceso de urbanización, caracterizado por graves problemas de todo tipo.

eliminación porque en la actualidad se consideran absolutamente imprescindibles.

En realidad, desde sus albores, las personas han estado sometidas a una extensa variedad de sonidos, muy diversa en sus orígenes y características físicas. Por si sola, la naturaleza constituye una fuente inagotable de ruidos, algunos de los cuales (erupciones volcánicas, vientos, tormentas, etc.) son de una gran intensidad. Sin embargo, todos somos conscientes de que los entornos acústicos más agresivos son una consecuencia directa de la actividad humana y se producen con especial importancia en los espacios en los que se concentra dicha actividad, es decir, en las ciudades y en los centros de trabajo.

Aunque existen muchas referencias históricas y literarias que nos hablan de la relación existente entre el ruido ambiental y la actividad humana desde la más remota antigüedad, la degradación más importante del medio ambiente sonoro ha tenido lugar durante

el pasado siglo, como consecuencia directa de la revolución industrial, la introducción del maquinismo, el desarrollo de los medios de transporte modernos y el crecimiento de las ciudades.

La importancia del ruido como contaminante del medio ambiente ha crecido notablemente durante estas últimas décadas, sobre todo en los países desarrollados. Según un conocido **informe de la O.C.D.E.**, en las décadas de los años sesenta y setenta se produjo un desarrollo muy importante de los medios de transporte y de sus índices de utilización, lo cual originó un aumento considerable de los niveles de ruido ambiental. Concretamente, la circulación de automóviles en los países miembros de dicha Organización se ha triplicado entre 1960 y 1985; durante este mismo periodo, el tráfico aéreo se ha multiplicado por diez.

En ese mismo informe se hacía constar que unos 130 millones de habitantes de los países miembros estaban expuestos a niveles sonoros equivalentes diurnos en el exterior claramente inaceptables (por encima de 65 dBA) y unos 300 millones más residían en zonas acústicamente deficientes (entre 55 y 65 dBA). De acuerdo con el mencionado informe, España ocupaba el segundo lugar, por detrás de Japón, en el ranking mundial de países en los que la contaminación sonora era más elevada, estimándose que un 23% de nuestros conciudadanos se veían expuestos a niveles sonoros equivalentes diurnos superiores a 65 dBA.

Hacemos un breve inciso para indicar que el nivel sonoro equivalente al que nos acabamos de referir es una especie de valor medio de los niveles sonoros instantáneos que configuran un determinado ruido fluctuante. Más correctamente, el valor de dicho nivel sonoro equivalente representa el nivel que debería tener un cierto ruido fluctuante si se mantuviera estacionario a lo largo del tiempo de medida, para que tuviera la misma energía que el ruido fluctuante considerado.

En líneas generales, el incremento de la **contaminación sonora en España** ha seguido una tendencia muy similar a las de otros países

desarrollados de nuestro entorno, aunque con ciertas peculiaridades. Como todos sabemos, casi todas las grandes ciudades de nuestro país y sus zonas metropolitanas han experimentado un crecimiento muy notable como consecuencia de los fuertes movimientos migratorios que se iniciaron durante las décadas de los años cincuenta y sesenta, y que no han cesado desde entonces. La enorme demanda de viviendas, acompañada en muchos casos por la inexistencia de una adecuada planificación urbanística, ha fomentado la especulación y ha sembrado muchas de nuestras ciudades, grandes y pequeñas, con inmensos bloques de hormigón, sin que exista una delimitación clara entre las zonas residenciales, comerciales e industriales. La carencia o escasez de espacios abiertos, la poca anchura de la mayoría de nuestras calles, la abundancia de construcciones de baja calidad y, por qué no decirlo, los comportamientos y las costumbres sociales de algunos de nuestros conciudadanos, han contribuido también a que los niveles de ruido ambiental a que se ven sometidos muchos **ciudadanos** a lo largo de las 24 horas del día sean excesivamente elevados, degradando seriamente su salud y bienestar.

Sin embargo, al contrario de lo que sucedía en otros países de nuestro entorno, hasta hace pocos años, la administración no mostraba demasiada preocupación por la contaminación sonora. Hay que reconocer que el tema tampoco ocupaba un lugar preferente entre las preocupaciones de nuestros conciudadanos. Esta situación ha cambiado significativamente en la actualidad. El problema del ruido ambiental y su control es hoy objeto de atención para los responsables políticos, los medios de comunicación se ocupan cada vez con mayor insistencia de esta cuestión y millones de ciudadanos son plenamente conscientes, por experiencia propia, de que el ruido al que están expuestos cotidianamente afecta seriamente a su bienestar.

En particular, a lo largo de estas dos últimas décadas, se han llevado a cabo en nuestro país, por parte de diferentes especialistas e instituciones, numerosos estudios sobre este tema. La mayoría de estos trabajos se ha centrado en la realización de los correspondientes **mapas sonoros** en varias ciudades españolas. La información que

proporciona el mapa sonoro de una ciudad resulta de gran utilidad en muchos sentidos, por ejemplo, como un elemento a tener en cuenta en la correspondiente planificación urbanística (actuaciones e intervenciones de distinta índole), o como base imprescindible para orientar adecuadamente la lucha contra el ruido ambiental o para desarrollar la legislación y normativas pertinentes.

7.2. Las fuentes de ruido ambiental

En términos generales, la evaluación del impacto ambiental producido por una determinada fuente sonora en los medios urbanos presenta muchas dificultades y exige la aplicación de estrategias especiales. La primera operación a realizar en ese sentido suele consistir en la identificación de las fuentes sonoras más significativas y en la valoración de la importancia relativa de sus correspondientes impactos (recogida de datos, realización de medidas, encuestas entre los residentes, etc.)



Figura 22.- Vertedero municipal de Avalo, en La Gomera (Canarias). En este lugar se ha vertido durante años toda la basura de la capital de esta isla. Los residuos urbanos se vierten simplemente por una ladera y van a parar directamente a las aguas del mar.

Sin duda alguna, la fuente de ruido más importante y generalizada en las zonas urbanas de todos los países desarrollados es el **tráfico rodado** (turismos, camiones, motocicletas, etc.). En el estudio realizado en Gran Bretaña en la década de los años sesenta por el denominado Comité Wilson, considerado como el primer intento serio de aproximación global al problema del ruido ambiental, se llegaba a la conclusión de que el ruido producido por el tráfico era la fuente de molestia más destacada de los medios urbanos. A lo largo de los años transcurridos desde entonces, la importancia del tráfico rodado como fuente de ruido ha aumentado considerablemente. El parque de vehículos en nuestro país ha experimentado un incremento extraordinario en el curso de estas últimas décadas; en la actualidad, el número de vehículos existentes se acerca mucho a la relación de un vehículo cada dos habitantes. Los niveles de contaminación acústica producidos por el tráfico rodado suelen alcanzar valores muy altos en las grandes vías urbanas o interurbanas, que, en muchos casos, soportan densidades de tráfico muy elevadas tanto durante el día como durante la noche. En estos casos, el impacto sonoro sobre las personas que residen en estas vías puede ser hasta tal punto intolerable que haga necesaria la adopción de medidas especiales (mejoras en el aislamiento acústico de las correspondientes viviendas).

La segunda de las fuentes sonoras relacionadas con el transporte son los **aviones**. El impacto acústico de los aviones (en toda su amplia variedad) no se limita a las proximidades de los grandes aeropuertos, sino que afecta también, en mayor o menor medida, a superficies muy extensas de todo el territorio de cualquier país. El aumento en el número de vuelos y la generalización del uso de este tipo de transporte para el movimiento de carga han motivado un incremento muy notable en el tráfico aéreo en España durante los últimos años. Hay que tener presente que las aeronaves modernas (reactores) son mucho más ruidosas que los antiguos aviones de hélice y, en consecuencia, aunque su altura de crucero es mucho mayor, su impacto sobre el suelo se extiende a zonas más extensas. Como es natural, en las proximidades de las grandes ciudades a las

que sirven, sus evoluciones tienen lugar a muy baja altura (operaciones de despegue y aterrizaje) y, por lo tanto, los correspondientes niveles de contaminación sonora que producen a nivel del suelo son muy elevados.

La tercera de las fuentes sonoras relacionadas con el transporte son los **ferrocarriles**. En este caso, la emisión de ruido más significativa se origina en las unidades motrices y en la interacción entre las ruedas y los carriles. Los niveles de emisión sonora dependen fundamentalmente de la velocidad de los trenes. En particular, el impacto sonoro de los modernos trenes de alta velocidad (en nuestro país, el AVE o similares) es muy elevado. Los estudios realizados para evaluar el impacto acústico producido por los ferrocarriles en las zonas urbanas y sus efectos sobre los ciudadanos son mucho menos abundantes que los que se refieren a los automóviles y a los aviones. En cualquier caso, estos trabajos han puesto de manifiesto que la respuesta de los afectados por el ruido de los ferrocarriles no es tan crítica como la producida por los otros medios de transporte.

Aunque con un carácter más irregularmente distribuido y menos permanente que otras fuentes sonoras, las **obras públicas y construcción** son también una fuente de molestia muy frecuente e importante en nuestras ciudades. La utilización de compresores, martillos neumáticos, excavadoras y vehículos pesados de todo tipo (a menudo en condiciones inadecuadas) produce unos niveles de ruido tan elevados que son objeto de quejas generalizadas por parte de los residentes de nuestras ciudades. Aunque reconozcamos que este tipo de actividades no sólo resultan inevitables, sino que son una consecuencia directa del nivel de desarrollo de un país, no podemos olvidar las múltiples molestias de toda índole que producen. La falta de una adecuada planificación y el desinterés que suelen mostrar en muchos casos las personas o las entidades responsables de dichas obras por minimizar su impacto agravan en buena medida sus efectos negativos.

Sin duda alguna, el impacto sonoro de ciertas **industrias** sobre su entorno más inmediato puede ser también importante. Aunque,

salvo casos excepcionales, todas las grandes industrias (metalurgia, cemento, etc.) suelen estar más o menos alejadas de las poblaciones, resulta frecuente el caso en que, debido al gran crecimiento de nuestras ciudades, muchos núcleos o polígonos industriales antiguos han quedado totalmente absorbidos por ellas, haciendo difícil, en la práctica, distinguir entre zonas residenciales e industriales. Por otro lado, en todas nuestras ciudades existen multitud de pequeñas industrias y talleres integrados en el tejido urbano, con interrelaciones muy evidentes desde muchos puntos de vista (entradas y salidas de los trabajadores y clientes, movimientos de materias primas y de los productos elaborados, operaciones de carga y descarga, etc.), que producen un impacto sonoro indirecto muy importante sobre el entorno urbano más o menos próximo a las respectivas instalaciones.

Finalmente, todos sabemos que en las ciudades modernas existe también un número muy elevado de todo lo que podríamos incluir globalmente dentro de un gran apartado de **otras fuentes sonoras**, que suelen caracterizarse por su naturaleza singular y esporádica, aunque, por desgracia, su presencia se deja sentir con excesiva frecuencia. Este es el caso, por ejemplo, de las sirenas de los coches de policía, bomberos y ambulancias, o de las señales acústicas de los sistemas de seguridad (alarmas) fijos o móviles (edificios y vehículos). La presencia de estos objetos sonoros de comunicación, en general no deseados por las personas que los perciben, suele constituir un factor de molestia relativamente importante. Por otro lado, aunque nadie ponga en duda su necesidad objetiva, existe la sensación de que, en muchos casos, su uso resulta tan abusivo como innecesario.

Las fuentes sonoras relacionadas con las **actividades lúdicas y recreativas** (cuyas intensidades y localización espacial pueden ser sumamente variados) tienen una trascendencia social muy acusada. En esta categoría se podrían incluir fuentes sonoras tan diversas como las voces de los niños que juegan en un parque, los gritos que se escuchan en una gran competición deportiva, los espectáculos y conciertos musicales al aire libre, el disparo de fuegos artificiales, las verbenas callejeras, etc.

En particular, ¿podríamos imaginar una fiesta o celebración de cierta entidad en la Comunidad Valenciana sin contar con la presencia de fuegos artificiales? Sin embargo, recordando la fruición con que miles de ciudadanos acuden a contemplar una gran mascletá durante las fallas de Valencia o el alardo en las fiestas de Moros y Cristianos de Alcoy, entre tantos otros ejemplos, cabría preguntarse si, en un sentido estricto, se debería considerar como ruido (es decir, como sonido no deseado) lo que se produce en muchas de estas actividades festivas.

Dentro del apartado de actividades lúdicas, merece una mención muy especial la existencia en muchas ciudades de nuestro país de infinidad de bares, cafeterías, pubs o discotecas, que, en algunos casos, y dejando a un lado cualquier otro tipo de consideraciones que merezca este fenómeno, pueden dar lugar a un impacto sonoro directo e indirecto muy importante sobre los residentes en sus proximidades y, en consecuencia, suelen ser objeto de numerosas quejas por parte de tales afectados. Unos buenos ejemplos de estas fuentes y de sus efectos los tenemos en ciertas zonas de Valencia bien conocidas por todos sus residentes (plaza del Xúquer, zona de Cánovas, barrio del Carmen, zona de Juan Llorens, etc.).

En cualquier caso, todas las fuentes sonoras que hemos mencionado en este apartado, y muchas más, contribuyen en mayor o menor cuantía a lo que se suele denominar "ambiente sonoro" de nuestras ciudades. El hecho de que ese sonido ambiental sea placentero, aceptable o insoportable, no depende únicamente de su naturaleza y características físicas intrínsecas, sino también de la situación y del contexto concreto en que los eventuales receptores se encuentren en un determinado momento. Por muy silenciosa que sea una zona urbana, siempre percibimos en ella un cierto rumor general, producido por la actividad global del conjunto de la comunidad urbana en que nos encontramos, y que solemos conocer como "ruido de fondo". En general, a medida que nos alejamos de una zona metropolitana, el nivel de ruido de fondo que la caracteriza va disminuyendo progresivamente y tiende al que es propio de los espacios naturales.



Figura 23.- Tráfico de automóviles en la Gran Vía de Madrid. La contaminación acústica es en la actualidad una de las mayores causas de molestia en todas las sociedades desarrolladas. En particular, el tráfico rodado es la fuente de ruido más importante y generalizada en las zonas urbanas.

7.3. Evaluación de la contaminación acústica

La realización de un control efectivo de los niveles de contaminación sonora y la planificación adecuada de la lucha contra el ruido ambiental en una determinada ciudad o zona urbana se suele basar en la elaboración del oportuno **mapa sonoro**. Genéricamente, se suele denominar "mapa sonoro" a un conjunto de medidas de niveles sonoros, distribuidas en el espacio y en el tiempo de forma tal que

la información que proporcionan sobre el ambiente acústico de un determinado entorno sea lo suficientemente completa como para poder orientar debidamente las acciones de control pertinentes. Las condiciones existentes en ese entorno determinan una mayor o menor variabilidad espacial y temporal de los oportunos niveles sonoros instantáneos. Esta cualidad debe tenerse muy en cuenta a la hora de diseñar un plan de medidas concreto.

En particular, la realización del mapa sonoro de una ciudad debe poner de manifiesto dónde están localizadas las zonas más ruidosas de la misma (para poder actuar en consecuencia cuando se desea corregir dicha situación) o los enclaves particularmente silenciosos (para tratar de preservar esa situación privilegiada en el futuro). En este sentido, los trabajos de cartografía del ruido urbano se pueden convertir en una fuente de información de extraordinario valor para los técnicos en planificación urbanística (en temas tales como la apertura de nuevas calles o plazas, la regulación del tráfico, el establecimiento de zonas verdes o áreas peatonales, la ubicación de centros culturales, docentes y hospitalarios, etc.).

La realización del mapa sonoro de una ciudad es una tarea muy laboriosa y exige la utilización de recursos humanos y materiales considerables. En el curso de estos últimos años se han confeccionado numerosos mapas sonoros de las ciudades españolas. Los resultados encontrados en estas medidas ponen de manifiesto que la existencia de niveles de contaminación acústica particularmente elevados no es un fenómeno privativo de las grandes metrópolis, sino una característica absolutamente generalizada en todas las zonas urbanas de nuestro país. Los valores medios de los correspondientes niveles sonoros equivalentes (Leq) suelen ser del orden de 65-70 dBA. Podemos estimar así que al menos un 40% de los habitantes de nuestro país (es decir, unos 16 millones de españoles) viven en zonas urbanas expuestas a niveles sonoros continuos equivalentes Leq (en período diurno) que diferentes organismos internacionales consideran "inaceptables" para zonas residenciales.

En todo caso, la información que proporcionan muchos de los mapas sonoros realizados en todo el mundo es incompleta, dado

que en ellos no se contempla en absoluto (o se hace de forma claramente insuficiente) la elevada variabilidad temporal de los niveles horarios de contaminación sonora. En otras palabras, los estudios del ambiente acústico en una cierta ciudad o zona urbana no deben limitarse solamente al periodo diurno, sino que deben incluir también las horas nocturnas, es decir, deben cubrir necesariamente todo el día. Si contemplamos además la necesidad de analizar en qué forma evolucionan tales niveles sonoros para los diferentes días de la semana (laborables/festivos), e incluso según las estaciones del año (inviernos/veranos), nos daremos cuenta de que la tarea resulta sencillamente inviable.

Una fórmula de compromiso que se suele aplicar en muchos casos se basa en complementar los mapas acústicos diurnos (planteados de forma tal que cubran de forma adecuada toda la superficie de una ciudad, con una malla de reticulado acorde con su contextura urbanística) con la **realización de medidas continuas** a lo largo de las 24 horas del día (y, si es posible, durante varios días consecutivos) en algunos emplazamientos específicos de la misma, seleccionados en función de su carácter representativo o de su interés singular en relación con algún problema concreto (por ejemplo, una vía principal de tráfico, una zona peatonal, una zona lúdica, una zona escolar u hospitalaria, etc.).

En general, la diferencias entre los valores horarios de los niveles sonoros durante el periodo diurno (entre las 7.00 y las 22.00 horas) suelen ser relativamente pequeñas, especialmente en todos aquellos emplazamientos en los que la densidad de tráfico es elevada. Como es natural, los valores más bajos de los niveles de ruido suelen corresponder al periodo nocturno (entre las 22.00 y las 7.00 horas). Como tendencia general, los niveles de contaminación acústica medidos en días laborables muestran un aumento bastante acusado entre las 6.00 y las 9.00 horas, alcanzando un máximo hacia las 14.00 horas, seguido por un pequeño valle a las 16.00 horas, un segundo máximo a las 20.00 horas y un periodo de descenso bastante regular a partir de las 22.00 horas, hasta que se alcanzan los valores mínimos nocturnos hacia las 4.00 ó 5.00 horas de la madrugada. Como es natural,

estas tendencias varían un tanto en los domingos y días festivos. En estos casos, el valor mínimo de los niveles de ruido ambiental se suele alcanzar en torno a las 7.00 horas (actividad nocturna); a partir de esta hora, dichos niveles van aumentando muy lentamente (a medida que la ciudad se va despertando) hasta las 13.00 horas.

7.4. Niveles sonoros en la ciudad de Valencia

Con el fin de ilustrar las peculiaridades más interesantes que presentan los resultados obtenidos en la medida de niveles sonoros, vamos a recoger aquí algunos datos concretos relativos a la ciudad de Valencia. Tras llevar a cabo algunas medidas preliminares, el **primer mapa sonoro** de la ciudad de Valencia fue realizado por el Laboratorio de Acústica de la Universidad de Valencia entre Junio de 1979 y Julio de 1981. En este trabajo (de interés histórico por su carácter pionero) se consideraron un total de 380 puntos de medida diferentes, cubriendo de forma prácticamente regular (a razón de un



Figura 24.- Avión Airbus A340 despegando. El impacto acústico de los aviones (en toda su amplia variedad) es muy importante en las proximidades de los grandes aeropuertos. Hay que tener en cuenta también el efecto negativo de los gases de combustión emitidos por sus motores sobre la atmósfera.

punto cada 200-300 metros) toda la zona consolidada de la ciudad, con una superficie de unos 25 km^2. Las correspondientes medidas tuvieron una duración de 20 minutos y se llevaron a cabo en días laborables (de lunes a viernes), en cuatro tramos horarios diferentes, entre las 8.00 y las 22.00 horas. A partir de los valores de los niveles sonoros instantáneos medidos en cada uno de los emplazamientos considerados, se procedió a calcular posteriormente los valores de diferentes índices percentiles (L10, L50 y L90) y del nivel sonoro equivalente (Leq).

El análisis de los resultados obtenidos en aquellas medidas demostró que, en general, no existían diferencias significativas entre los diferentes tramos horarios del periodo diurno. El valor medio encontrado en estas medidas para el nivel sonoro equivalente diurno Leq fue 69'9 dBA, con una desviación típica de 6'1 dBA. Los valores del nivel Leq encontrados estaban comprendidos entre 55 y 60 dBA en el 2% de los puntos de medida, entre 60 y 65 dBA en el 15%, entre 65 y 70 dBA en el 33%, entre 70 y 75 dBA en el 29%, y superaban los 75 dBA en el 21% restante.

Como es natural, con posterioridad a la realización del mencionado primer mapa sonoro, se llevaron a cabo otras muchas medidas de niveles de ruido ambiental en la ciudad de Valencia. La disponibilidad de instrumentos de medida cada vez más sofisticados ha facilitado considerablemente esta tarea. En particular, la realización de tres **nuevas series de medidas** de niveles sonoros diurnos (con objetivos científicos muy diversos), llevadas a cabo durante los años 1984, 1987 y 1992, respectivamente, no sólo permitió mantener una información actualizada sobre la contaminación sonora en dicha ciudad, sino que, al mismo tiempo, hizo posible realizar un estudio de la evolución temporal de ese problema.

En este sentido, cabe señalar que los resultados encontrados en las diferentes series de medidas de ruido ambiental a las que nos acabamos de referir (entre 1980 y 1992) no presentan diferencias significativas entre ellos. De hecho, las distribuciones estadísticas

de los valores de los niveles sonoros equivalentes obtenidos en las cuatro series de medidas son muy parecidas y lo mismo sucede con los correspondientes valores máximos y mínimos. Posiblemente los resultados más representativos de todos los datos obtenidos en estas medidas sean los valores medios del nivel sonoro equivalente. Estos valores son 69'9, 71'3, 69'0 y 70'5 dBA, con desviaciones típicas de 6'1, 4'3, 5'4 y 4'9 dBA, respectivamente. Evidentemente, las diferencias entre los valores medios del Leq encontrados en unas series de medidas y otras son mínimas y, en cualquier caso, muy inferiores a las respectivas desviaciones típicas. A la vista de los anteriores resultados, podemos llegar a la conclusión de que los niveles medios de contaminación sonora en Valencia (durante el periodo diurno) se han mantenido prácticamente constantes a lo largo de los últimos doce años.

En términos generales, las variaciones que se puedan producir en los niveles de contaminación acústica existentes en una determinada ciudad están relacionadas directamente con las variaciones que experimentan sus niveles de actividad. Dado que, salvo situaciones singulares, la fuente de ruido ambiental más importante en todas las zonas urbanas es el tráfico rodado, las variaciones en los niveles de ruido ambiental en una ciudad están originadas fundamentalmente por las variaciones que haya experimentado dicho tráfico. Sin embargo, los resultados de las medidas que estamos comentando ponen de manifiesto que el aumento de tráfico rodado que sin duda ha soportado dicha ciudad (como reflejan los datos proporcionados por el propio Ayuntamiento) no se ha traducido en un aumento de los respectivos niveles sonoros medios. Ante este resultado aparentemente paradójico, cabe concluir que los efectos negativos del citado aumento en el tráfico han sido compensados por otros factores significativos del problema que pudieran haber variado también a lo largo de esos mismos años. Probablemente haya que atribuir ese papel compensador a la mejora experimentada por la tecnología de los vehículos a motor, al rejuvenecimiento general experimentado por el correspondiente parque y a la notable disminución en el número de ciertos vehículos especialmente ruidosos en nuestras calles.

De hecho, aunque los resultados que estamos exponiendo puedan parecer un tanto sorprendentes, no son los únicos que apuntan a una cierta estabilización de los niveles de ruido ambiental medios observados a lo largo de estos últimos años en diferentes ciudades europeas. Aunque los datos existentes al respecto son bastante escasos, la tendencia general en el sentido indicado se pone de manifiesto con suficiente claridad. Presumiblemente, si las políticas de control del ruido ambiental ya iniciadas en la mayoría de los países europeos siguen su curso y se refuerzan en los próximos años, cabe esperar que se produzca una mejora sustancial en relación con la situación actual (siempre que la intensidad del tráfico no siga aumentando).

7.5. El ruido ambiental y la salud

La posibilidad de que el ruido ambiental produzca efectos negativos sobre la salud de las personas ha estimulado en gran medida la investigación de este campo y ha constituido una motivación muy importante en la lucha contra la contaminación acústica. En particular, las consecuencias de la exposición a niveles elevados de ruido ambiental en algunos centros de trabajo (ruido laboral) sobre la capacidad auditiva de los trabajadores son bien conocidas desde hace mucho tiempo.

Los efectos más relevantes del ruido sobre la salud (entendida ésta no como una simple ausencia de enfermedad, sino como un estado de total bienestar físico, psíquico y social) se pueden agrupar en seis grandes categorías: a) efectos sobre el aparato auditivo, b) efectos mediados por la reacción de estrés, c) perturbación del sueño, d) interferencia con la comunicación verbal, e) efectos sobre las actividades mentales y psicomotoras, y f) molestia subjetiva.

Sin duda alguna, los **efectos del ruido sobre el aparato auditivo** son los que mayor atención han merecido siempre por parte de muchos investigadores (desde hace ya muchos años) y, por lo tanto, son los que se consideran mejor conocidos en la actualidad. El daño auditivo consiste fundamentalmente en pérdidas de células ciliadas y modificaciones en su estructura y funcionamiento normal.



Figura 25.- Tren AVE saliendo de la estación de Atocha, en Madrid. Los ferrocarriles son una fuente de ruido ambiental importante. Los niveles de emisión sonora dependen básicamente de la velocidad de los trenes y, en consecuencia, el impacto sonoro de los trenes modernos es muy elevado.

Concretamente, cuando los niveles sonoros superan ciertos valores límite, se pueden producir ciertas lesiones en la cóclea de carácter irreversible. En este sentido, hay que distinguir dos tipos de efectos muy diferentes: el fulminante, producido por sonidos de intensidad extraordinariamente alta, y el prolongado, como resultado de la persistencia de estímulos no tan elevados, pero que se mantienen durante tiempos de exposición dilatados, del orden de varios años.

El efecto fulminante puede tener lugar, por ejemplo, en personas expuestas a explosiones (fuegos artificiales) o disparos de armas de fuego. La elevada presión sonora que se produce en tales casos no sólo afecta al oído interno, sino que provoca además lesiones anatómicas en el oído medio, con desgarro de la membrana del tímpano y luxación de la cadena osicular. Este efecto traumático se ha observado para sonidos con niveles superiores a 140-150 decibelios.

Sin embargo, el efecto más frecuente de la exposición continuada a niveles sonoros elevados es la hipoacusia inducida por el ruido, secundaria a una serie de lesiones en el órgano de Corti, de carácter irreversible. Las pérdidas permanentes de audición inducidas por el ruido ambiental son posiblemente uno de sus efectos más estudiados.

Este efecto es relativamente frecuente (al cabo de años de exposición) entre las personas que trabajan en ambientes laborales particularmente ruidosos (por ejemplo, en industrias del metal, textil, madera, etc.) o que están expuestos con alguna frecuencia a niveles de ruido no ocupacional muy elevados, relacionados sobre todo con la práctica de ciertas actividades de tiempo libre, tales como la caza o tiro, la escucha de música amplificada o el uso de motocicletas, entre otras.

Desde hace tiempo se sabe que, además de los efectos específicos a los que acabamos de referirnos (sistema auditivo), la exposición al ruido produce también numerosos efectos no específicos. En particular, muchos autores han señalado que el ruido puede producir diferentes **efectos mediados por el estrés.**

El estrés es una reacción inespecífica ante determinados factores agresivos del entorno físico, psíquico y social, factores que, por desgracia, inundan la vida moderna. En principio, se trata de una respuesta fisiológica normal del organismo humano para defenderse ante posibles amenazas. En este sentido, el ruido ambiental actúa como cualquier otro agente estresante, desencadenando una respuesta no específica del organismo que, en determinadas ocasiones, puede llegar a producir alteraciones permanentes. Se ha relacionado con esta reacción de estrés la ocurrencia de varias enfermedades cardiovasculares, los trastornos del aparato digestivo o las alteraciones del sistema inmunitario de defensa, entre otras.

Como todos sabemos, la percepción del habla con suficiente integridad es un factor de enorme importancia para el bienestar social de las personas. De hecho, la **interferencia con la comunicación oral** (o con otras señales sonoras) es uno de los efectos del ruido ambiental más generalizados y que más molestias provoca. En los medios laborales, dicha interferencia puede incluso ser causa de accidentes, al no percibir los trabajadores ciertos mensajes sonoros de aviso o alarma.

Las investigaciones llevadas a cabo para estudiar este efecto del ruido se han centrado principalmente en la valoración del porcentaje de

inteligibilidad de una serie de fonemas, palabras o frases, seleccionadas de tal modo que representen de forma equilibrada al conjunto de una lengua dada. En este sentido, se han establecido empíricamente ciertas relaciones que permiten predecir con alguna aproximación la calidad de una comunicación oral en presencia de ruido ambiental.

Por ejemplo, para que dos personas puedan mantener una conversación con voz normal a la distancia de un metro, el nivel de ruido ambiental del lugar en que se encuentran no debería superar los 55 dBA; cuando el nivel de ruido es de 70 dBA, para mantener esa conversación hay que hablar a gritos. En los centros docentes ubicados en las cercanías de grandes aeropuertos o junto a vías de circulación con una alta densidad de tráfico, la contaminación sonora puede tener consecuencias muy negativas sobre el proceso educativo. Este hecho ha sido puesto de manifiesto en numerosos estudios realizados a lo largo de estos últimos años.

Los posibles efectos adversos de la contaminación sonora sobre la **realización de tareas** (actividades mentales y psicomotoras) han sido motivo de preocupación desde hace tiempo. Entre los numerosos mecanismos que han sido propuestos para explicar estos efectos cabría destacar la competencia del sonido con el mecanismo fisiológico de la atención (originando una cierta distracción o interferencia con la actividad considerada), la sobrecarga de estímulos (en términos tales que se pueda traducir en un detrimento significativo de la tarea a realizar), y la sensación de molestia generalizada producida por el ruido ambiental (asociada con frecuencia a un sentimiento de inseguridad y peligro más o menos grave, o a la incapacidad de controlar el ambiente sonoro).

Aunque existen situaciones en las que la recepción de determinados mensajes sonoros puede favorecer la realización de algunas actividades (caso de la música ambiental), está ampliamente demostrado que, en líneas generales, el ruido ambiental perjudica notablemente la realización de tareas que requieren cierta concentración mental. Algunos autores han observado también que los ruidos de baja frecuencia producen somnolencia, con el consiguiente riesgo de accidentes laborales.

Una de las consecuencias más fácilmente identificables y más negativas del impacto de la contaminación sonora sobre las personas es su **interferencia con el sueño**. El ruido ambiental puede afectar los patrones normales del sueño de las personas, dificultando y retrasando su inicio, interrumpiendo su transcurso o alterando cualitativa y cuantitativamente su patrón cíclico. Algunos investigadores han descrito toda una serie de reacciones de carácter fisiológico (alteraciones del ritmo cardíaco y respiratorio, movimientos corporales, etc.), que pueden acompañar a los efectos directos sobre el sueño. Además de estas reacciones, que se detectan en el momento mismo del estímulo, se han estudiado también otros efectos más tardíos relacionados con la disminución de la calidad y la cantidad del sueño (alteraciones psíquicas o funcionales, disminución del rendimiento en la realización de tareas, etc.).

Durante estos últimos años, se han realizado numerosos trabajos en todo el mundo para valorar los efectos del ruido sobre el sueño. Fundamentalmente, se han seguido dos líneas diferentes: estudios experimentales realizados en el laboratorio o en las condiciones reales de la vivienda del sujeto, e investigaciones basadas en la realización de encuestas sobre la población. Un aspecto que ha merecido especial atención se refiere a la aparición de algún tipo de habituación, de modo que las alteraciones que pudieran producirse en un momento determinado dejaran de hacerlo al cabo del tiempo. Aunque muchas personas declaran "acostumbrarse" con mayor o menor facilidad al ruido ambiental al que están expuestos cotidianamente, parece ser que nunca se produce una habituación completa.

La **molestia subjetiva** producida por la contaminación sonora se describe como "un sentimiento adverso o una actitud negativa producidos por la presencia de un ruido no deseado". La evaluación de la respuesta subjetiva de una determinada comunidad frente a la contaminación acústica suele estar basada en la realización de encuestas personales o en el análisis de las reacciones que suscita este problema (comentarios, quejas, denuncias, manifestaciones de protesta, etc.).

La mayoría de las investigaciones realizadas en este sentido se han centrado en la valoración de la molestia producida por el ruido ambiental sobre los residentes en zonas urbanas. El objetivo principal de estos trabajos consiste en relacionar dicha molestia (como observable subjetivo) con los niveles sonoros a que está sometida una cierta colectividad (como magnitud física objetiva), por ejemplo, con el fin de llegar a conclusiones estadísticamente válidas sobre los niveles máximos de ruido ambiental que se consideran admisibles en una determinada zona urbana.

La existencia de un gran número de factores de carácter individual (edad, nivel de educación, sensibilidad, etc.), así como las variables propias de la fuente sonora (intensidad, carácter continuo o esporádico del ruido, etc.) y otros elementos de índole muy diversa (identificación clara de la fuente de ruido, sensación asociada de peligro o riesgo para la salud, etc.), determinan una gran variabilidad personal en el nivel de molestia frente al ruido. Uno de los aspectos que han recibido mayor atención radica en el estudio de la sensibilidad individual frente al ruido; este factor condiciona en gran medida el grado de molestia ante un estímulo determinado.

Cabe señalar que las personas que experimentan una molestia más o menos importante por la intrusión del ruido procedente del exterior de sus viviendas, pueden reaccionar individualmente (con actuaciones tan diversas como el cierre de ventanas, el aislamiento acústico de su vivienda, las alteraciones en el uso de las habitaciones en función del ruido exterior, el traslado de domicilio, etc.), o de manera pública, comentando el problema con sus vecinos, planteando sus quejas en los medios de comunicación o ante las autoridades competentes o, en los casos más extremos, participando en diferentes tipos de manifestaciones.

7.6. El control del ruido ambiental

La lucha contra la contaminación acústica es un tema de enorme interés social y económico, al que dedican su esfuerzo una ingente cantidad de profesionales en campos tan diferentes como la física,

ingeniería, arquitectura, urbanismo, medicina, sociología, psicología, etc. Al margen de quienes sean los protagonistas directos de las iniciativas emprendidas para abordar un problema concreto, cabe destacar sobre todo el hecho de que el control del ruido es una responsabilidad de toda la sociedad, es decir, debe obligar tanto a la Administración (en sus diferentes niveles) como a los ciudadanos (como individuos aislados o agrupados en colectividades).

Tampoco deberíamos olvidar que la contaminación acústica es un tema muy complejo (con aspectos técnicos, económicos, políticos, sociales, etc.), con muchas e importantes repercusiones de toda índole. En términos generales, el control de la contaminación sonora se basa en la conjunción de una amplia serie de medidas de tipo técnico (evaluación del problema planteado y propuesta de actuaciones eficaces para resolverlo), jurídico (existencia de unas leyes o normativas legales adecuadas que orienten y respalden las actuaciones pertinentes), político (voluntad de proponer y aplicar decididamente y con la debida continuidad las acciones necesarias) y social (reconocimiento de la importancia de este problema por parte de una determinada comunidad y contribución al éxito de las actuaciones propuestas).

Ante todo, deberíamos dejar claro el hecho de que, en principio, la tecnología actual permite resolver totalmente (o, al menos, paliar en gran medida) la mayoría de los problemas de ruido ambiental al que estamos expuestos. Desgraciadamente, las repercusiones económicas de las posibles soluciones condicionan, en muchos casos, su viabilidad práctica. Esta consideración fundamental no debería hacernos olvidar que muchos de los problemas existentes se podrían solucionar con mayor efectividad y con un coste mucho menor si se hubiera previsto su aparición y, en su momento, se hubieran tomado las medidas necesarias para reducir su gravedad.

La lucha contra el ruido ambiental en medios urbanos se basa en el uso de una amplia serie de estrategias de tipo técnico y administrativo, caracterizadas siempre por una estrecha interrelación entre información y actuación. La primera fase de este proceso tiene un

enfoque eminentemente informativo y puede plantear, entre otros objetivos, el conocimiento general de los niveles sonoros existentes en una ciudad, con la identificación de las fuentes que los producen, y un estudio amplio de sus variaciones horarias, diarias y estacionales (mapas sonoros), delimitación de las zonas cuyas características exijan un ambiente sonoro particularmente silencioso (hospitales, residencias, centros docentes, etc.), el inventario de todas las actividades que produzcan un impacto sonoro importante sobre el entorno inmediato (industrias, obras públicas, actividades de ocio, etc.), la realización de estudios específicos para evaluar la repercusión sobre el medio ambiente sonoro de cualquier actuación urbanística (trazado de nuevas vías de penetración a la ciudad, ordenación del tráfico, etc.) y el conocimiento detallado de la respuesta de la comunidad afectada por la contaminación sonora (obtenido a través de la realización de encuestas específicas). Evidentemente, la recogida de toda esta información es un proceso sumamente laborioso, que requiere siempre la disponibilidad de recursos técnicos, humanos y económicos muy importantes.

La siguiente fase de este proceso consiste en la formulación de los objetivos a alcanzar en cada caso (es decir, la fijación de los niveles de ruido que pretendemos conseguir con la aplicación de unas determinadas acciones). Estos objetivos pueden estar relacionados con cuestiones tan diversas como el nivel de molestia que produce una cierta situación (por ejemplo, la existencia de una industria ruidosa en una zona residencial), o el cumplimiento de la legislación vigente en materia de seguridad e higiene en el trabajo (ruido industrial).

A continuación, se deben aplicar los principios técnicos de control del ruido que resulten más adecuados para conseguir el objetivo deseado. Como es natural, en la selección de las medidas a adoptar se deben tener en cuenta muchos factores, tales como el coste económico y social, las implicaciones sobre la seguridad de unas ciertas instalaciones (por ejemplo, el riesgo de incendios que pueden suponer cierto tipo de aislamientos acústicos en un local ruidoso) o sus repercusiones sobre la operatividad de los sistemas y procesos de

producción. Finalmente, es necesario comprobar la efectividad de las medidas adoptadas. Cuando los objetivos previstos en principio no se han alcanzado, hay que repetir todo el proceso desde el principio.

Cuando se toman en consideración varias opciones diferentes de control de la contaminación sonora hay que tener muy presente que todos los problemas de ruido consisten siempre en una cadena con tres eslabones diferentes: la fuente del ruido, el camino o medio de transmisión y el receptor. En consecuencia, las medidas técnicas a aplicar para resolver un determinado problema pueden afectar únicamente a uno de estos tres eslabones o a todos ellos en conjunto.

El **control del ruido en la propia fuente** es la opción más recomendable en el caso de que esta iniciativa sea viable (medidas de aislamiento, mejoras técnicas en la instalación, etc.). En algún caso extremo, dicha actuación puede implicar incluso la sustitución de la fuente sonora por otra más silenciosa (máquinas en una industria, vehículos de basuras, maquinaria de construcción u obras públicas, etc.). Una solución igualmente drástica puede consistir en un cambio de emplazamiento de la fuente sonora en cuestión (traslado de una máquina en una industria o cambio en la ubicación de una discoteca desde una zona urbana a una zona no residencial).

Cuando llevamos a cabo una actuación de control del ruido, es importante tener presente también que el sonido o ruido se transmite desde la fuente al receptor por uno o más caminos diferentes. Cabe recordar igualmente que una recomendación general para reducir la importancia del impacto sonoro de una fuente sobre un cierto receptor consiste sencillamente en aumentar al máximo la distancia que separa a ambos. En el caso de que la **transmisión del sonido** se realice por vía aérea (caso más importante), la reducción de dicho impacto se lleva a cabo utilizando materiales absorbentes y aislantes. En este sentido podemos citar actuaciones tan diferentes como la construcción de barreras o pantallas antirruido junto a las grandes vías de tráfico (de las que existen infinidad de opciones) o la utilización de firmes especiales (porosos y absorbentes) en la pavimentación de las calles de una ciudad.

Finalmente, por lo que respecta a las actuaciones posibles en los **puntos de recepción** del sonido, podríamos citar como ejemplos la utilización de protectores auditivos por parte de los trabajadores de industrias muy ruidosas (generalmente, en forma de orejeras o tapones) o, en cierto sentido, la instalación de cristales dobles en las ventanas de las viviendas situadas en las proximidades de un aeropuerto o una vía urbana de tráfico intenso.

La lucha contra la contaminación sonora se ha generalizado en todos los países desarrollados a lo largo de estos últimos años. Los diseñadores industriales ya no pueden seguir ignorando el hecho de que un producto de excelente calidad (por ejemplo, un automóvil, un frigorífico o una lavadora) puede ser rechazado por el mercado si es demasiado ruidoso. La misma exigencia que los consumidores plantean a los fabricantes, se la hacen los ciudadanos a la Administración y, muy especialmente, a la administración local. En varios informes del Defensor del Pueblo de nuestro país se cita expresamente al ruido ambiental como uno de los problemas que aparecen con mayor frecuencia en las quejas ciudadanas a nuestras Administraciones locales. La frecuencia con que los medios de comunicación abordan esta cuestión (especialmente en época de verano) es otro índice significativo de su importancia.

Al margen de las iniciativas tomadas por otros niveles de la administración (la internacional, la estatal y la autonómica), las diferentes acciones de control de la contaminación sonora que se puedan llevar a cabo desde la Administración Local deben apoyarse necesariamente en un documento jurídico con fuerza legal que oriente y respalde esas actuaciones. Estos textos legales no son otra cosa que las **Ordenanzas Municipales**. Como es natural, nos referimos a normativas que traten específicamente el tema de la contaminación sonora (con la posible incorporación de algún apartado referido al tema de las vibraciones). Por supuesto, la disponibilidad de unas buenas ordenanzas municipales no supone necesariamente que se van a solucionar todos los problemas relacionados con la contaminación acústica en los medios urbanos, cualquiera que sea su naturaleza.

Sin embargo, la promulgación y aplicación de estas normativas puede ayudar considerablemente a resolver, con unas ciertas garantías de éxito, una amplia variedad de problemas (por supuesto, siempre que las ordenanzas en cuestión estén bien redactadas y se apliquen de forma adecuada).

A modo de resumen y conclusión de cuanto antecede, vamos a formular a continuación algunas **iniciativas concretas** (con carácter no exhaustivo), orientadas a lograr un control eficaz de la contaminación sonora en los medios urbanos.

1. Dado que el tráfico rodado es, con gran diferencia, la principal fuente de ruido ambiental en las zonas urbanas, todas las medidas encaminadas a evitar la presencia de un número excesivo de vehículos en nuestras ciudades resultarán adecuadas. En particular, se debería poner un especial énfasis en potenciar el uso de vehículos de transporte público respetuosos con el medio ambiente, y reducir en lo posible la utilización masiva de los vehículos privados en esos entornos (utilización que, en muchos casos, está totalmente injustificada).

2. Es estrictamente necesario controlar con especial atención los niveles de emisión sonora de los vehículos especialmente ruidosos (sometiéndolos a revisiones muy severas). En particular, debería limitarse al máximo la circulación de vehículos pesados por el centro de las ciudades, sobre todo durante la noche. Deberían tomarse las medidas oportunas para prohibir absolutamente ciertas formas de conducción claramente ruidosas y, en especial, la utilización de motocicletas con tubo de escape en condiciones deficientes.

3. En cualquier caso, resulta evidente para todos que muchas de nuestras ciudades no han sido diseñadas para soportar el tráfico que padecen hoy en día. En muchas zonas urbanas (centros históricos, barrios puramente residenciales, etc.), la única solución posible al problema que estamos considerando consistiría en limitar drásticamente la circulación rodada. Al igual que se ha hecho en algunas ciudades europeas, no resulta descabellado pensar en la posibilidad

de cerrar al tráfico rodado barrios enteros, permitiendo sólo la entrada a los residentes.

4. En las zonas de expansión más periféricas, es decir, allí donde todavía se está a tiempo de no cometer los mismos errores en que nuestras ciudades cayeron no hace demasiados años, puede ser necesario introducir planteamientos urbanísticos absolutamente revolucionarios, que rompan con los esquemas actualmente vigentes en este sentido (mayor abundancia de zonas verdes y espacios abiertos, delimitación de amplias zonas peatonales, etc.)

5. Los organismos competentes (Administración autonómica, Ayuntamientos, Colegios de Arquitectos, etc.) deberán intensificar sus esfuerzos para asegurar que la calidad acústica de los edificios (tanto los oficiales como los privados) cumpla con las exigencias de calidad acústica. En particular, dichas instituciones deberían asegurar el estricto cumplimiento de la Norma Básica de la Edificación NBE-CA-88 por parte de los constructores, garantizando que las condiciones acústicas de los diversos recintos (edificios de viviendas, residencias, bibliotecas, escuelas, hospitales, etc.) sean las adecuadas para el uso al que están destinados.

6. Será necesario actuar con la máxima eficacia posible para controlar los niveles sonoros emitidos por ciertos vehículos especiales, fundamentalmente los de limpieza y recogida de basuras, que producen una molestia importante en horas nocturnas. Se deberían tomar también las medidas necesarias para reducir al máximo el elevado impacto sonoro producido por las máquinas, vehículos y equipos utilizados normalmente en la construcción y obras públicas. Finalmente, sería conveniente abordar con toda seriedad el control del impacto sonoro producido por las sirenas y alarmas; sin cuestionar su necesidad objetiva, resulta evidente que el uso de estos dispositivos resulta abusivo en muchas ocasiones.

7. Se ha constatado que el impacto sonoro de las actividades lúdicas, festivas o recreativas (especialmente el originado por la presencia de pubs, bares, discotecas, espacios de diversión al aire libre, etc.) en muchas zonas residenciales de nuestras ciudades es también

muy importante, ocasionando muchas molestias a los residentes de ciertas zonas urbanas. En consecuencia, la administración debería controlar de forma muy estricta el funcionamiento de este tipo de actividades, en cuestiones tales como los permisos de apertura, horarios, condiciones acústicas, etc.

8. Para resolver los numerosos problemas de la contaminación acústica es imprescindible una acción conjunta y coordinada de las diferentes instituciones a nivel internacional, estatal, autonómico y local, evitando desajustes que dificultan o impiden la realización de un esfuerzo sostenido y eficaz en la resolución de dichos problemas. En particular, sería aconsejable crear infraestructuras técnicas de apoyo (por parte de las administraciones autonómicas) que apoyaran técnicamente a los Ayuntamientos de las ciudades medias y pequeñas en sus actuaciones al respecto (elaboración de normativas, estudios de impacto ambiental, etc.).

El reconocimiento de que el problema de la contaminación sonora es muy complejo y de difícil solución no debería hacernos caer en el pesimismo. Hemos de reconocer, sin embargo, que será necesario realizar un esfuerzo muy considerable por parte de todos (es decir, administración y ciudadanos) para avanzar en la perspectiva de recuperar unas ciudades más humanas y menos agresivas que las actuales, unas ciudades libres de contaminación acústica.

8. LA CONTAMINACIÓN POR RADIACIONES

8.1. Introducción

Cuando hablamos de la contaminación del medio ambiente, hay que tener muy presente que su naturaleza puede ser muy diversa. En ocasiones, para abordar esta amplia diversidad, resulta útil distinguir entre contaminación física, química o biológica. En este sentido, podemos recordar, por ejemplo, que estos tres tipos de contaminación están presentes cuando tomamos en consideración la polución del agua en términos generales. En el capítulo anterior hemos estudiado con cierta amplitud el tema de la contaminación acústica, una forma muy singular de contaminación física del medio ambiente.

Sin embargo, ésta no es la única **contaminación física** a la que podemos estar expuestos. Existen también otras formas de contaminación física que, en la actualidad, son motivo de especial preocupación para muchos habitantes de los países desarrollados. Nos referimos genéricamente a las llamadas radiaciones.

Cuando hablamos de radiaciones, resulta oportuno recordar que en 1936 fue inaugurado un monumento conmemorativo en Hamburgo en el que se rendía tributo a los radiólogos de todas las naciones que habían dado sus vidas en la lucha contra las enfermedades. En un principio, en este monumento aparecían inscritos 110 nombres, aunque esta lista inicial aumentó mucho con el tiempo, a medida que se iban produciendo nuevos fallecimientos.

Todas las personas que aparecían en dicha lista tenían un rasgo común. Todas ellas fueron pioneras en la utilización para fines médicos de los **rayos X** descubiertos por el físico alemán Roentgen en el

año 1895. Sin duda alguna, este descubrimiento supuso el comienzo de una nueva era para la medicina. Gracias a dicho descubrimiento, los médicos podían ver el interior de los cuerpos. El propio Roentgen pudo observar los huesos de su mano cuando la interpuso entre la fuente de los rayos X y una pantalla que se volvía luminiscente al ser expuesta a tales rayos. Los huesos atenuaban los rayos en mayor extensión que la carne que los rodea, y aparecían como formas más oscuras en la pantalla. La aplicación práctica de este hecho a la diagnosis clínica fue inmediata. Lamentablemente, los primeros médicos, enfermeros y técnicos utilizaron esta técnica sin hacer uso de protección alguna, sufriendo exposiciones muy altas mientras experimentaban con ella. Es probable que estos pioneros no dejaran de advertir que las radiaciones que utilizaban en sus exploraciones producían cambios biológicos en sus propios organismos, aunque no concedieron ninguna importancia a lo que en un principio parecían ser irritaciones menores (enrojecimiento de la piel) y siguieron adelante con su trabajo. El peligro que suponía el uso continuado de los rayos X sin la protección debida sólo se puso de manifiesto cuando las personas expuestas repetidamente a estas radiaciones observaron la aparición de otros síntomas más alarmantes (pérdida de cabello).

Sin embargo, para la mayoría de los pioneros en el uso de los rayos X, las señales de alarma llegaron ya demasiado tarde y casi todos ellos sufrieron una lenta agonía, hasta que sus vidas finalizaron con la aparición de un cáncer, tal vez al cabo de bastantes años de observar los primeros síntomas.

Las experiencias sufridas por los primeros radiólogos ilustran perfectamente el hecho de que los efectos biológicos de las radiaciones y sus peligros no son nuevos en absoluto. En realidad, estos efectos han sido estudiados durante casi un siglo y siguen siendo objeto de investigación todavía en la actualidad. Esta circunstancia es sumamente positiva, dado que si la fisión nuclear hubiera sido descubierta sin contar con estos conocimientos previos, su desarrollo como nueva fuente de energía hubiera supuesto muchas pérdidas humanas.

Por una curiosa coincidencia, tan sólo un año después de que Roentgen descubriera los rayos X, el científico francés Becquerel

encontró que los minerales de uranio emitían **radiaciones** muy penetrantes. Esta observación constituye el punto de partida de las famosas investigaciones llevadas a cabo poco después por María y Pierre Curie en Francia y por Lord Rutherford en Inglaterra, cuyos trabajos constituyen la base de la física y la química modernas.

El propio Becquerel puso de manifiesto que las radiaciones emitidas por el radio producían ciertos efectos biológicos, cuando observó la aparición de algunas quemaduras en su piel en el lugar de su cuerpo próximo a un bolsillo en el que había guardado una pequeña muestra de este elemento. Pronto se demostró que las radiaciones emitidas por este elemento eran muy parecidas a los rayos X y podían también producir cáncer. Hoy se sabe que los trabajadores en las minas de uranio habían estado muriendo durante generaciones debido a una enfermedad que ha sido identificada en fecha relativamente reciente como cáncer de pulmón. Otro colectivo víctima del cáncer eran los trabajadores que aplicaban una pintura especial a las esferas de los relojes y otros instrumentos, pintura que se convertía en luminiscente gracias a la adición de ciertas sustancias radiactivas.

Todos estos peligros se conocen perfectamente en la actualidad. De hecho, es muy improbable que muchos trabajadores hayan estado expuestos a tales riesgos con posterioridad al año 1930. Desgraciadamente, la exposición ocasional a dosis elevadas de **radiactividad** por parte de comunidades más o menos numerosas no se ha detenido hasta ahora. El ejemplo más importante, con diferencia, es el de los habitantes de las ciudades japonesas de Hiroshima y Nagasaki, que sufrieron los devastadores efectos de las explosiones de sendas bombas atómicas en Agosto de 1945, en el contexto de la Segunda Guerra Mundial, con centenares de miles de víctimas, inmediatas o retardadas. Algunos años más tarde, en la primavera de 1954, unos cientos de habitantes de las Islas Marshall, los miembros de la tripulación de un buque de pesca japonés y un pequeño grupo de soldados estadounidenses estuvieron expuestos a dosis relativamente elevadas de radiación, un episodio relacionado con las cenizas radiactivas producidas en las pruebas realizadas en el océano Pacífico por los

Estados Unidos. En fecha mucho más reciente, el accidente sufrido por la central nuclear de Chernobil, en la Unión Soviética, produjo daños fatales en muchas de las personas que vivían en sus proximidades y efectos de menor importancia en varios países europeos.

Los sucesos a los que nos acabamos de referir se produjeron en lugares muy diferentes de nuestro planeta y en contextos también muy diferentes. El primero de ellos fue un acto de guerra, de gravedad extrema. El segundo se produjo en el marco de la guerra fría, cuando norteamericanos y soviéticos emprendieron una loca carrera para desarrollar sus respectivos arsenales nucleares, construyendo y haciendo estallar en la atmósfera bombas nucleares más y más potentes cada vez. El tercero corresponde ya al uso pacífico de la energía nuclear, que dio lugar a la construcción de centenares de centrales nucleares en todo el mundo.

Naturalmente, se trata de casos muy singulares, de una especial gravedad y con características también muy peculiares. Sin embargo, esta afirmación no debería hacernos olvidar el hecho de que todos los seres humanos sin excepción están expuestos actualmente al mismo tipo de radiaciones (básicamente) a las que estuvieron expuestos los colectivos anteriormente citados. Estas radiaciones pueden ser de origen natural (terrestre o cósmica) o de origen artificial (producidas por el hombre). Como es natural, desde el punto de vista de la degradación del medio ambiente, nos interesan especialmente estas últimas.

En todo caso, cualquiera que sea su origen o su naturaleza, hay que tener siempre presente que las radiaciones son formas de transmisión de energía, bien mediante partículas materiales (dotadas o no de carga eléctrica) o bien mediante ondas electromagnéticas (campos eléctricos y magnéticos).

Una primera **clasificación de las radiaciones** se basa precisamente en el tipo de interacción física que éstas provocan sobre la materia. Cabe recordar que toda la materia está constituida por átomos y que, a su vez, los átomos están constituidos por un núcleo (formado por protones, con carga eléctrica positiva, y neutrones,

sin carga eléctrica) y una corteza de electrones (con carga eléctrica negativa). Las dimensiones del átomo son sumamente pequeñas (del orden de 10^{-8} cm). Los núcleos son mucho más pequeños (del orden de 10^{-12} cm). En su estado normal (es decir, tal como se encuentra en la naturaleza), la materia es eléctricamente neutra. Esto significa que, en su estado normal, los átomos son eléctricamente neutros. En otras palabras, la carga eléctrica contenida en el núcleo de un átomo (positiva) es exactamente igual a la carga eléctrica contenida en su corteza de electrones (negativa).

Por otra parte, todos los electrones que constituyen un átomo se mantienen ligados al núcleo en virtud de la existencia de intensas fuerzas electrostáticas (atracción de cargas eléctricas de signo diferente). Si la radiación que incide sobre la materia (es decir, sobre los átomos que forman esta materia) tiene suficiente energía, puede arrancar alguno de los electrones ligados al núcleo. El resultado final del proceso es un electrón libre, dotado de mayor o menor energía cinética, y un resto de átomo, o sea, un ión cargado positivamente (constituido por el núcleo y los electrones restantes). A este proceso se le denomina ionización.

Pues bien, todas aquellas radiaciones que son capaces de producir este proceso de ionización se denominan radiaciones ionizantes. Por el contrario, las radiaciones que no son capaces de producir dicho proceso se conocen como radiaciones no ionizantes. Así pues, lo que distingue a las unas de las otras no es tanto su naturaleza, sino su mayor o menor energía. Más concretamente, lo que establece la línea divisoria entre estos dos tipos de radiaciones es el hecho de que su energía supere o no el valor mínimo necesario para la producción de iones.

En el presente capítulo vamos a estudiar las características más importantes de estos dos tipos de radiaciones, así como sus efectos más significativos sobre los seres humanos. Su importancia como agentes de degradación del medio ambiente, su presencia generalizada en todo el planeta, las importantes implicaciones sociales y económicas que las caracteriza y su enorme actualidad en la sociedad actual

(sobre todo en los medios laborales), los hace merecedores de que les dediquemos algunos apartados de este libro.

8.2. Radiaciones ionizantes: conceptos básicos

Para empezar, hay que dejar claro que existen dos tipos de radiaciones ionizantes: las partículas o corpúsculos materiales y las ondas electromagnéticas. Fundamentalmente, el primero de ellos está relacionado con el fenómeno de la radiactividad. La denominada desintegración radiactiva es un proceso espontáneo que experimentan ciertos núcleos que, por su naturaleza, son energéticamente inestables. Los núcleos radiactivos emiten partículas para transformarse en otras especies nucleares estables. Dentro de esta categoría nos encontramos con las partículas alfa (α) y las partículas beta (β). Una partícula α está formada por la unión de dos protones y dos neutrones, y equivale al núcleo del helio. A su vez, una partícula β está formada por un electrón o por un positrón, es decir, partículas de masa mucho menor, que sólo difieren en su carga, negativa o positiva.

El segundo tipo de radiaciones ionizantes está constituido por las ondas electromagnéticas o fotones. Como es bien sabido, las ondas electromagnéticas cubren un espectro enormemente amplio, en el que se incluyen las ondas de la radio y televisión, las microondas, los rayos infrarrojos, la luz visible, las ondas ultravioleta, los rayos X y la radiación γ. La naturaleza de todas estas radiaciones es exactamente la misma (campos eléctricos y magnéticos variables con el tiempo) y tan sólo se diferencian en su energía (o lo que es equivalente, en su longitud de onda o en su frecuencia). Las radiaciones incluidas en la relación que acabamos de citar están ordenadas de menor a mayor energía (es importante tener presente que, cuanto mayor es la energía, mayor es la frecuencia y menor la longitud de onda). En particular, tan sólo las radiaciones situadas en los últimos lugares de esta relación, es decir, las más energéticas o las de menor longitud de onda (los rayos X y la radiación γ), son radiaciones ionizantes. Las radiaciones de longitudes de onda mayores que éstas sólo son capaces de producir la excitación de los átomos y nunca su ionización.

A título de orientación, bastará con recordar que la longitud de onda de las ondas electromagnéticas puede variar desde 10^6 metros

y valores superiores (ondas de la radio largas) hasta los 10^{-14} metros y valores inferiores (radiación gamma). En particular, las longitudes de onda del espectro de la radiación visible se extienden aproximadamente entre los $7.000.10^{-10}$ metros (correspondiente al color rojo) y los $4.000.10^{-10}$ metros (correspondiente al color violeta). Entre estos dos valores extremos se encuentran todos los colores del arco iris.

Cabe recordar también que los intervalos de longitudes de onda que cubre cada una de las radiaciones incluidas en el espectro de ondas electromagnéticas no están netamente definidos y con frecuencia solapan entre sí. Por ejemplo, las ondas electromagnéticas producidas por un tubo de rayos catódicos (tal como el instalado en la pantalla de un televisor) con longitudes de onda del orden de 10^{-11} metros suelen denominarse rayos X, pero si esas mismas ondas se originan a partir de un proceso radiactivo se suelen llamar rayos gamma.

Recordemos ahora algunos conceptos básicos relacionados con el tema de las **desintegraciones radiactivas**. Como ya hemos indicado, cuando un núcleo radiactivo (inestable) se desintegra, emite partículas alfa o electrones. Estos procesos van acompañados frecuentemente por la emisión de radiación gamma. En la emisión de una partícula alfa, el núcleo original (padre) se convierte en otro núcleo (hijo) con un número atómico dos unidades inferior y una masa atómica cuatro unidades inferior al primero. En la emisión de un electrón, el núcleo original se transforma en otro con un número atómico una unidad superior y con la misma masa atómica que el primero. Finalmente, en la emisión de radiación gamma no se altera ni el número atómico ni el número másico del núcleo original.

Los procesos de desintegración radiactiva son absolutamente espontáneos. En ningún caso podemos frenarlos, acelerarlos o modificarlos. En este caso, el hombre no es más que un simple espectador de un fenómeno soñado por los antiguos alquimistas, la transmutación de la materia. Un hecho importante a considerar es que la actividad de una sustancia radiactiva pura disminuye con el tiempo de forma exponencial. Las leyes de desintegración radiactiva son de naturaleza estadística. En otras palabras, es imposible predecir

en qué momento se desintegrará un cierto átomo de una muestra radiactiva; tan sólo podemos hablar de la probabilidad de que dicho proceso tenga lugar.

Por consiguiente, la vida total de una muestra de un elemento radiactivo es siempre infinita, dado que, por elevada que sea su actividad (expresada en desintegraciones por segundo), siempre quedarán en dicha muestra átomos sin desintegrar, ya que el número de los que lo hacen es siempre proporcional al de los existentes. Por supuesto, algunos de los átomos de la muestra "vivirán" muy poco y otros lo harán mucho. Por esta razón, es conveniente definir una magnitud denominada periodo de semidesintegración de un elemento radiactivo como el tiempo necesario para que el número de átomos originales existentes en una muestra (cualquiera que sea su tamaño) se reduzca a la mitad.

Para medir la actividad de una muestra radiactiva se utilizan actualmente dos unidades diferentes, denominadas curie y rutherford como homenaje a estos grandes científicos. El curie es la actividad de una muestra que presenta $3'7.10^{10}$ desintegraciones por segundo. El rutherford fue propuesto por la National Bureau of Standards y corresponde a una actividad de 10^6 desintegraciones/seg.

Es importante mencionar también que todos los **métodos de detección** de los rayos alfa, beta o gamma y, en general, de cualquier partícula o radiación ionizante, están basados precisamente en los efectos ionizantes de las mismas al atravesar la materia. Entre estos detectores podemos mencionar a los contadores Geiger, las cámaras de niebla, las cámaras de ionización, las placas nucleares, las cámaras de chispas, las cámaras de burbujas o los detectores sólidos, entre otros. Como es natural, cada uno de estos detectores tiene características diferentes y se utiliza en aplicaciones diferentes.

En la actualidad, la utilización de isótopos radiactivos es una práctica muy frecuente en numerosos campos de la ciencia y la técnica, tales como la industria, la medicina, la agricultura o la biología, entre otros. La lista de aplicaciones podría ser interminable. Vamos a mencionar tan sólo algunas de ellas.

En particular, las **aplicaciones industriales** de los radioisótopos son muy abundantes hoy en día. Por ejemplo, los emisores gamma se suelen utilizar como fuentes de radiografía industrial, para examinar planchas de acero, soldaduras, tuberías de conducción, oleoductos, etc. En estos casos, el uso de emisores gamma sustituye con gran ventaja a las instalaciones corrientes de rayos X, con la cualidad añadida de que no se precisan instalaciones demasiado complejas ni son necesarias las conexiones a la red eléctrica. Algunas industrias de la seda y del papel utilizan radioisótopos (como agentes ionizantes) para eliminar las cargas electrostáticas que se forman en las fibras o en las hojas de estos productos, originadas por rozamiento en sus respectivos procesos de fabricación.

Otra aplicación interesante consiste en el control automático de espesores. Este control se lleva a cabo haciendo pasar la lámina a observar entre un detector y una fuente que contiene un radioelemento adecuado. Las radiaciones emitidas por éste son parcialmente absorbidas por la muestra bajo control y las lecturas del detector varían de acuerdo con las variaciones que pueda experimentar el espesor de dicha muestra. También puede recurrirse a un proceso análogo al descrito para controlar el nivel del líquido contenido en un depósito o hacer un seguimiento del avance del petróleo que circula por un gran oleoducto.

Se ha sugerido también utilizar radioisótopos en los estudios de fricción y lubricación de motores, como medio de comprobar el desgaste de las superficies metálicas que contengan incorporado algún radioelemento, a través de la medida posterior de la radiactividad que pueda aparecer en el lubricante.

Entre las **aplicaciones biológicas** podemos mencionar, entre otras, el estudio del papel de los oligoelementos en la nutrición vegetal o animal. Como es sabido, los oligoelementos son sustancias vitales para la vida y que los animales o plantas incorporan en cantidades muy pequeñas. Los procesos de asimilación o eliminación de estos elementos en los seres vivos pueden investigarse con relativa facilidad gracias a las radiaciones que determinados isótopos radiactivos de estos mismos elementos van emitiendo a lo largo de dichos procesos.

En un sentido análogo, podemos mencionar también el hecho de que el iodo se fija preferentemente en la glándula tiroides y en mayor cantidad en los tejidos hipertiroideos. En consecuencia, inyectando iodo radiactivo a un paciente, podemos obtener una tomografía del tiroides en la que destacan las zonas de hiper o hipoactividad de esta glándula. Pero todavía hay más. En el caso de que exista cáncer en esta glándula, los átomos de iodo marcados pueden actuar como agente terapéutico, ya que sus radiaciones destruyen las células cancerosas con preferencia a las células sanas.

Entre las **aplicaciones médicas** más importantes hay que mencionar ante todo el tradicional uso del radio en la lucha contra el cáncer. Sin embargo, desde hace algún tiempo, este elemento ha sido sustituido por el cobalto radiactivo, con aplicaciones similares. Cabe recordar que el radiocobalto (cobalto-60) se origina bombardeando agujas de cobalto-níquel con neutrones. Estas agujas, implantadas en los tejidos enfermos de una persona, mantienen su eficacia durante un tiempo relativamente grande, dado que el periodo de semidesintegración de este isótopo radiactivo es de 5'2 años. Las denominadas impropiamente "bombas de cobalto" se basan también en la utilización de este radioisótopo con fines diagnósticos o terapéuticos.

El hecho de que el fósforo se fije preferentemente en los tejidos con más rápido crecimiento (por ejemplo, en los neoplasmas de hígado, riñón o bazo) abrió perspectivas muy interesantes a nuevas aplicaciones médicas de la radiactividad. Concretamente, se sabe que un tejido canceroso fija de diez a cien veces más fósforo que uno sano. Esta propiedad facilita la acumulación de fósforo radiactivo en los tejidos enfermos, cuyas células resultan destruidas por las radiaciones que emite dicho radioisótopo en mayor cuantía que las células sanas.

Todos los ejemplos que acabamos de exponer, como una sucinta muestra del uso de isótopos radiactivos en muchos campos de actividad, indican con gran claridad que, en nuestro mundo actual, son muchas las personas que pueden estar expuestas accidentalmente a las radiaciones que emiten dichos isótopos. Evidentemente, el

riesgo de exposición a las correspondientes radiaciones afecta de forma generalizada a colectivos muy amplios de nuestra sociedad, y de forma muy especial, al personal directamente implicado en su preparación y utilización. Un colectivo con un alto riesgo de sufrir exposiciones a estas radiaciones son los trabajadores dedicados a la extracción y tratamiento de materiales radiactivos, por ejemplo, en las minas de uranio.

La **exposición a radiaciones ionizantes** puede ser externa (es decir, procedente de fuentes situadas en el exterior del cuerpo humano) o interna (debida a fuentes situadas en su interior). Este último caso tendría lugar como consecuencia de la incorporación al cuerpo humano de algún material radiactivo, bien sea por inhalación (por ejemplo, cuando en el aire se encuentran partículas radiactivas en suspensión y son respiradas pasando al interior de los pulmones) o por ingestión (por ejemplo, en caso de fumar o consumir alimentos con las manos contaminadas por algún material radiactivo).

Para evaluar el riesgo derivado de la exposición a radiaciones ionizantes en las personas es necesario utilizar ciertas magnitudes y unidades capaces de relacionar las características de la radiación con sus efectos biológicos. Cuando una radiación atraviesa un tejido biológico, interacciona con los átomos que lo constituyen y va perdiendo paulatinamente energía. Los subsiguientes efectos biológicos se derivan de este proceso de absorción de la energía por parte del tejido humano irradiado.

En consecuencia, la energía absorbida localmente es un factor clave en relación con los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes. Se llega así al concepto de dosis absorbida, que, desde un punto de vista estrictamente físico, expresa la cantidad de energía absorbida por una determinada masa de materia. La unidad de dosis absorbida es el gray, que corresponde a la absorción de 1 julio (unidad de energía) por kg de materia. Otra unidad utilizada en ocasiones para medir la dosis absorbida es el rad (1 rad equivale a 10^{-2} grays).

Sin embargo, si nos referimos a los efectos biológicos de las radiaciones, las cosas no resultan tan sencillas, dado que el daño

biológico no sólo depende de la dosis, sino también de la naturaleza de la radiación. Esta cualidad se expresa mediante lo que se denomina eficacia biológica relativa o factor de ponderación para cada tipo de radiación. En particular, dicho factor de ponderación radiológica tiene un valor 1 para los fotones (rayos X y radiación γ), 5 para los neutrones y protones y 20 para las partículas alfa. Estas cifras indican, por ejemplo, que la absorción de 1 gray de partículas alfa es 20 veces más perjudicial para un tejido que la absorción de 1 gray de rayos X o radiación γ. Cuando se tiene en cuenta esta circunstancia, hablamos de dosis equivalente y se utiliza la unidad conocida con el nombre de sievert. Otra unidad de dosis equivalente muy utilizada es el rem (1 rem equivale a 10^{-2} sieverts).

La **evaluación de los riesgos** relacionados con las radiaciones ionizantes supone la detección y medida de las características básicas de las radiaciones que puedan estar presentes en un ambiente o medio determinado, lo cual exige la realización de ciertas medidas específicas utilizando una instrumentación muy sofisticada. En particular, para medir los niveles de radiación ambiental se utilizan equipos basados en el uso de contadores de Geiger-Mueller. Las mediciones de carácter personal se llevan a cabo mediante unos dispositivos conocidos con el nombre de dosímetros, que permiten evaluar las dosis de radiación acumuladas durante todo el tiempo de exposición por una persona dada, tanto en condiciones normales como en situaciones accidentales.

8.3. Las radiaciones ionizantes y la salud

La exposición de personas a dosis relativamente elevadas de radiaciones ionizantes puede producir una amplia gama de **efectos inmediatos**, variables en función de las dosis y los órganos afectados. Estos efectos inmediatos son de naturaleza determinista y no parecen producirse con exposiciones por debajo de 0,25 sieverts. La gravedad de las alteraciones va aumentando a partir de este valor umbral hasta llegar a ser de consecuencias mortales en el 100% de las personas expuestas a niveles de radiación por encima de los 6 sieverts. Los síntomas en las personas expuestas, variables en función

de la intensidad de la exposición, incluyen nauseas, vómitos, diarrea, enrojecimiento de la piel, fatiga, malestar general y hemorragias. Se sabe también que una exposición breve del ojo a una dosis superior a 1 sievert puede generar opacidades en el cristalino y cataratas. Asimismo, la exposición a niveles por encima de 2 sieverts produce una depresión del sistema inmunológico, con el consiguiente aumento del riesgo de infecciones, y por encima de 3 sieverts aparece esterilidad masculina y femenina. Es importante señalar que todos estos niveles de exposición son actualmente muy raros, salvo en casos de accidentes realmente graves.

El segundo grupo de efectos sobre la salud derivados de la exposición a radiaciones ionizantes corresponde a los denominados **efectos no inmediatos**. En esta categoría nos encontramos el cáncer inducido por la radiación ionizante. Los primeros casos de cáncer por esta causa se describieron en algunos colectivos laborales, como por ejemplo las mujeres que pintaban las esferas de los relojes luminosos con compuestos radiactivos o los trabajadores en las minas de uranio. Los mecanismos de la carcinogénesis de origen radiológico no son del todo conocidos; sin embargo, se sabe que estos efectos están relacionados sobre todo con alteraciones en el material genético (ADN) de las células y con los procesos biológicos de reparación de dichas alteraciones. La exposición de personas a las radiaciones ionizantes se ha asociado con un aumento del riesgo para muchos tipos diferentes de cáncer (por ejemplo, cáncer de estómago, de pulmón, de colon, de piel, de tiroides o leucemia, entre otros). Por tratarse de un efecto estocástico, no parece existir un umbral seguro de exposición en relación con el cáncer producido por radiaciones ionizantes; en otras palabras, el riesgo aumenta a partir de cualquier dosis de exposición.

Otra categoría de efectos que ha suscitado considerable interés es la de los llamados **efectos sobre la segunda generación**. En esta categoría se incluyen abortos, malformaciones congénitas, retraso en el crecimiento, retraso mental y cáncer en la descendencia de los trabajadores expuestos. El grado de evidencia disponible en relación con el riesgo de aparición de estos efectos es variable, y

lo mismo se puede decir en cuanto al nivel de conocimiento de los mecanismos implicados en la aparición de los mismos. Es bien sabido que el embrión humano es especialmente sensible a la acción biológica de las radiaciones ionizantes. Los estudios realizados con los supervivientes de los bombardeos de las ciudades de Hirosima y Nagasaki, ya mencionados anteriormente, pusieron de manifiesto que la exposición en el interior del útero a radiaciones ionizantes aumenta el riesgo de microcefalia (reducción del tamaño craneal) y de retraso mental en los niños. Afortunadamente, este aumento del riesgo no parece producirse en el caso de exposiciones a dosis bajas de radiaciones.

Por supuesto, en los lugares de trabajo en los que exista un riesgo de exposición de los trabajadores a radiaciones ionizantes es necesario desarrollar programas específicos de seguridad radiológica. El objetivo de estos programas es muy claro: eliminar o limitar al mínimo los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes sobre determinados colectivos de trabajadores o la población en general. Un principio frecuentemente referido en relación con este objetivo, y relacionado fundamentalmente con el riesgo de efectos probabilísticos en relación con la exposición a radiaciones ionizantes, es el denominado principio ALARA, una palabra formada por las iniciales de *As Low As Reasonably Achievable*. Este principio establece que los niveles de exposición deben mantenerse tan bajos como sea razonablemente posible. Por supuesto, al igual que sucede en otros ámbitos de prevención de riesgos para la salud, el significado último del término "razonable" puede dar lugar a múltiples interpretaciones.

Por sus especiales connotaciones, los aspectos de seguridad radiológica se regulan frecuentemente a través de organismos nacionales o internacionales específicos. En particular, la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP) ha elaborado una serie de recomendaciones generales a aplicar en este sentido. Concretamente, y por lo que se refiere al ámbito laboral, las estrategias adecuadas para llevar a cabo estas recomendaciones en los lugares de trabajo no difieren sustancialmente de las estrategias aplicables a otros

riesgos laborales. Así, se deberá utilizar siempre la mínima cantidad necesaria de material radiactivo, disminuir en lo posible los tiempos de exposición, aumentar la distancia entre la fuente radiactiva y los trabajadores, utilizar barreras y blindajes aislantes, prevenir posibles accidentes y establecer planes de emergencia, señalizar claramente las zonas de radiación y los contenedores de materiales radiactivos, utilizar protección personal adecuada y evitar los riesgos de que se produzcan irradiaciones internas, prohibiendo comer, beber y fumar, o introducir comida o bebida, en las zonas con riesgo de exposición. La vigilancia de los trabajadores expuestos a radiaciones ionizantes se basa en los mismos principios generales que la de los trabajadores expuestos a otros riesgos en los medios laborales.

Un aspecto de especial relevancia en relación con las instalaciones que utilizan materiales radiactivos es el relacionado con el impacto medioambiental y el tratamiento de los residuos. Por ejemplo, en las inmediaciones de una instalación nuclear deben recogerse periódicamente muestras ambientales (aire, suelos, aguas subterráneas, aguas superficiales, etc.) con el fin de vigilar la posible contaminación en el exterior del lugar de trabajo. Por otra parte, la manipulación y el tratamiento de los residuos radiactivos deben estar estrictamente controlados por los órganos nacionales competentes. La empresa dedicada a estos procesos en España es ENRESA (Empresa Nacional de Residuos Radiactivos, S.A.). Un problema que ha preocupado frecuentemente a la población general en relación con los residuos radiactivos es la prolongada persistencia de su radiactividad (en algunos casos, durante muchos miles de años) y las dudas acerca de la seguridad en relación con los métodos de tratamiento y almacenamiento.

8.4. Radiaciones no ionizantes: conceptos básicos

Como hemos dicho anteriormente, las **ondas electromagnéticas** cubren un espectro extraordinariamente amplio, lo cual significa que la energía de los fotones que las constituyen (o alternativamente, su frecuencia o longitud de onda) cubre un extenso intervalo. Los campos de energía más baja, con frecuencias por debajo de los

3.000 hertzios (Hz) están producidos por los sistemas de generación y distribución de energía eléctrica (incluyendo las líneas de la red de alta tensión) y por cualquier equipo que utilice corriente eléctrica, aunque dichos campos son especialmente elevados en relación con equipos eléctricos industriales que utilicen corrientes de alta intensidad (tales como hornos eléctricos o calentadores por inducción). En esta banda encontramos las denominadas radiaciones de muy baja frecuencia (MBF) y de extremadamente baja frecuencia (EBF). La banda de frecuencias comprendidas entre los 3.000 hertzios (Hz) y los 300 megahertzios (MHz) corresponde a lo que se conoce como radiofrecuencias (antenas emisoras de radio y televisión). El colectivo de trabajadores en el campo de la comunicación está especialmente expuesto a estas frecuencias, aunque en la mayoría de las situaciones las correspondientes dosis son bajas. Entre los 300 MHz y los 300.000 MHz se sitúan las microondas, siendo sus principales fuentes los radares y los equipos de comunicaciones y telefonía vía satélite. Finalmente, entre los 300 y los 300 millones de gigahertzios (GHz) tenemos, sucesivamente, los infrarrojos (utilizados, por ejemplo, en algunos procesos de secado, o presentes en procesos industriales como la fabricación de vidrio, las fundiciones o la metalurgia), la luz visible (del rojo al violeta) y las radiaciones ultravioleta (emitidas por los equipos de soldadura al arco). En esta última región del espectro encontramos también los rayos láser, constituidos por haces de luz monocromática de elevada intensidad con múltiples usos en el ámbito laboral (topografía, lectores de códigos de barras, láseres quirúrgicos, etc.).

8.5. Las radiaciones no ionizantes y la salud

La preocupación del público por los posibles **riesgos para la salud** de las radiaciones electromagnéticas no ionizantes ha ido aumentando paulatinamente desde finales de la década de los sesenta. Paralelamente, muchas autoridades han hecho recomendaciones para limitar la exposición a tales radiaciones. Desde el punto de vista cronológico, una de las primeras fuentes de preocupación en este sentido estuvo relacionada con las radiaciones electromagnéticas

de muy alta frecuencia producidas por los radares militares. Hoy en día esta preocupación alcanza también a los sistemas de telefonía móvil, tan populares en la actualidad, y, en la mayoría de los casos, se refiere a la proliferación de antenas de este tipo de transmisiones telefónicas en los medios urbanos.

Dado que al hablar de radiaciones no ionizantes estamos refiriéndonos a una gama muy amplia de diferentes tipos de radiación, las unidades de medición usualmente adoptadas en relación con los límites de seguridad para cada tipo varían considerablemente, así como los equipos adecuados para su medición. En general, se requieren técnicas y cálculos complejos y muy especializados a la hora de cuantificar el nivel de exposición de la población laboral (como grupo de riesgo especialmente digno de consideración bajo ciertas condiciones) a los diferentes tipos de radiaciones no ionizantes.

De igual manera, los límites tolerables de exposición establecidos para las diferentes radiaciones no ionizantes varían dentro de límites relativamente amplios en función del tipo de radiación y otros factores. Existen diferentes propuestas elaboradas por los distintos organismos, entre las que podemos mencionar las normas del Instituto Americano Nacional de Normalización (ANSI), las normas de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) o las de la Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones No Ionizantes (ICNIRP). En muchos casos, estas recomendaciones, al igual que sucede con otros riesgos laborales, están basadas en los valores límite umbral (TLV) establecidos por la Conferencia Americana de Higienistas Industriales (ACGIH).

En relación con los efectos biológicos de las radiofrecuencias, cabe señalar que como magnitud dosimétrica se utiliza la tasa de absorción específica (SAR), que se define como la energía radiante absorbida por unidad de tiempo y unidad de masa corporal. En consecuencia, su unidad es el watio/kg. La ICNIRP ha adoptado un valor límite básico de SAR de 4 watios/kg, por encima del cual se considera que existe una probabilidad creciente de que se produzcan efectos negativos para la salud como consecuencia de la absorción de la energía de las radiofrecuencias. A este valor se le incorpora un

factor de seguridad de diez, aplicándose en consecuencia el valor de 0,4 watios/kg como límite de seguridad para la exposición (en el caso de medios laborales). Para la población general, se incorpora un factor de seguridad adicional de cinco, quedando en este caso el límite establecido en 0,08 watios/kg.

En el caso de los campos electromagnéticos de muy baja frecuencia (MBF) y extremadamente baja frecuencia (EBF) (correspondientes a las radiaciones emitidas por los sistemas de generación y distribución de energía eléctrica y por los diferentes tipos de equipos eléctricos en general), los límites para la aparición de efectos biológicos perjudiciales suelen referirse en términos de la intensidad del campo eléctrico (en voltios/metro la intensidad del campo magnético (en teslas) y el flujo magnético (en webers). Por ejemplo, se considera que las intensidades medias del campo magnético de 0,2-0,4 microteslas por jornada de trabajo marcan el límite por encima del cual podría aumentar el riesgo de efectos biológicos perjudiciales para los trabajadores. Estos niveles se refieren a una exposición mantenida en el tiempo, como la que afectaría a determinados colectivos laborales o a los residentes en las proximidades de las líneas de alta tensión. Se desconoce la relevancia de exposiciones intermitentes a niveles por encima de este límite, que se pueden producir en relación con el uso de determinados electrodomésticos (radiadores, secadores del pelo, maquinillas de afeitar) o en ciertas circunstancias puntuales (desplazamientos en trenes u otros vehículos de propulsión eléctrica).

Los **efectos sobre la salud** de las radiaciones no ionizantes son variables en función del tipo de radiaciones. En un extremo del espectro, nos encontramos con la radiación ultravioleta, la luz visible y los infrarrojos, con escasa capacidad para penetrar en el tejido biológico. Por tanto, los efectos inmediatos principales derivados de dosis excesivas afectan a la piel (enrojecimiento, quemaduras) y a los ojos (irritación de la conjuntiva ocular, de la córnea, lesiones de retina). En particular, la exposición laboral crónica a radiaciones ultravioletas contribuye a la aparición de envejecimiento prematuro de

la piel, cataratas y cáncer de piel. Por sus efectos térmicos sobre los tejidos, una exposición prolongada puede producir un desequilibrio del sistema de termorregulación y el denominado "golpe de calor", que puede ser de consecuencias mortales. Los láseres, en función de sus características específicas, pueden emitir radiaciones en todo el espectro óptico, desde el ultravioleta al infrarrojo. Por lo tanto, los riesgos específicos sobre la salud de las personas son los mismos que los de estos tipos de radiaciones. Las microondas y las radiofrecuencias producen también un efecto de calentamiento, afectando también a los tejidos internos del organismo.

En estudios de experimentación con animales se han observado efectos biológicos producidos por la exposición a radiofrecuencias a niveles inferiores de los que producen efectos térmicos. Algunos de estos efectos biológicos podrían estar relacionados con los mecanismos de aparición del cáncer. Sin embargo, la revisión de los datos experimentales y epidemiológicos existentes hoy en día no permiten afirmar con seguridad que exista una asociación entre la exposición a radiofrecuencias y diferentes tipos de cáncer en los seres humanos. En general, la evidencia disponible es inconsistente y en muchos casos de baja calidad.

Por otra parte, en relación con los campos electromagnéticos de la zona de más baja frecuencia del espectro, se ha postulado recientemente le existencia de un mecanismo plausible de carcinogénesis. La exposición a estos campos electromagnéticos puede retrasar o interrumpir la producción de melatonina. La melatonina es una hormona producida por el cuerpo humano con acción sobre la regulación de la producción de otras hormonas, sobre el crecimiento celular y sobre el sistema inmunológico. A través de estos mecanismos, una alteración en la síntesis de melatonina se podría relacionar también con determinados tipos de cáncer, como por ejemplo el cáncer de mama, aunque la evidencia epidemiológica disponible en la actualidad tampoco aporta resultados concluyentes al respecto.

Al igual que ha sucedido con el cáncer, ha crecido también la preocupación por posibles alteraciones de la reproducción relacionadas con la exposición laboral y ambiental a las radiaciones electromagnéticas. En este sentido concreto, una de las fuentes de exposición que han despertado mayor atención son las pantallas de visualización de datos (pantallas de ordenador), aunque existen otras muchas circunstancias de exposición a estas radiaciones, tanto en el medio laboral como fuera del mismo. Los datos disponibles actualmente sugieren que el trabajo con estas pantallas no se asocia con un aumento del riesgo de aborto espontáneo, malformación congénita o retraso del crecimiento fetal. Sin embargo, podría haber alguna evidencia, aunque hoy todavía insuficiente, de un aumento de alteraciones de la reproducción en relación con la exposición a radiaciones electromagnéticas de muy baja frecuencia.

Como norma general, la **prevención de los riesgos** que pueda suponer la exposición a cualquier tipo de radiaciones (tanto ionizantes como no ionizantes) se basa sencillamente en minimizar dicha exposición. Las actuaciones de protección frente a las radiaciones infrarroja, visible y ultravioleta pueden referirse a la fuente, al medio o al receptor. Por ejemplo, en salud laboral, la acción sobre la fuente es, con mucho, la más recomendable, dado que con ella se protege a la totalidad de los trabajadores. Este tipo de medidas suelen consistir en la utilización de cerramientos adecuados a cada caso concreto (mediante cabinas, pantallas o atenuadores). Las actuaciones sobre el medio que rodea a la fuente se llevan a cabo mediante la utilización de recubrimientos antirreflectantes en las paredes, la señalización de la zona o la restricción de acceso a la zona para personas autorizadas. Finalmente, la actuación sobre el receptor (es decir, los trabajadores) se traduce en acciones tales como el uso de protectores oculares, ropa de trabajo adecuada, guantes, cremas protectoras, etc. Una adecuada información a los trabajadores sobre los posibles riesgos de estas radiaciones y la necesidad de evitar exposiciones innecesarias a las mismas, aún con los ojos y la piel bien protegidos, se considera un factor fundamental en este problema.

Por su parte, los láseres se clasifican en cuatro clases de riesgo, de la clase 1 a la clase 4, en función del riesgo para la salud. La clase 1 no supone ningún nivel de peligro, mientras que las clases 2 a 3 entrañan un riesgo creciente para los ojos y la piel. Las medidas de seguridad se adaptan a la clase del láser en cuestión. En términos generales, debe evitarse la exposición ocular directa y proceder al confinamiento de las instalaciones de láser más peligrosas mediante cerramientos especiales para las fuentes de láser. En caso de que esto no sea posible o práctico, se deben establecer zonas de acceso controlado y exigir el uso de protectores oculares y guantes.

9. EL DESARROLLO SOSTENIBLE

9.1. Introducción

Como ya hemos expuesto en los capítulos anteriores de este libro, aunque sus orígenes son muy anteriores, la última parte del siglo XX se ha visto marcada por una profunda **crisis ecológica**. Hasta hace muy poco tiempo, todavía se vivía con la ilusión de un mundo lleno de recursos naturales que parecían inagotables y donde los problemas ambientales derivados del desarrollo salvaje no tenían cabida. Sin embargo, el agotamiento irreversible de recursos naturales vitales, la creciente desertización del planeta, la pérdida de grandes masas forestales, la contaminación de las aguas o la aparición de un agujero en la capa de ozono, entre otros muchos problemas, han hecho sonar la señal de alarma.

En todo caso, esta señal de alarma no debería reducirse a unas previsiones más o menos catastrofistas, sino que tendría que ir acompañada de una evidente voluntad política de cambios muy profundos en las formas de relación entre la sociedad y el medio ambiente. La aparición del llamado informe Brundtland en el año 1987 representa un hito de gran importancia en este sentido. La acuñación del término **desarrollo sostenible**, que contempla la satisfacción de las necesidades actuales de la humanidad sin que ese desarrollo comprometa la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer también las suyas, es lo suficientemente ambigua como para que sea aceptada sin grandes reservas ni contradicciones por las corrientes ideológicas dominantes en la actualidad.

Frente a las ideas tradicionales, el concepto de desarrollo sostenible abre una nueva visión del binomio formado por el desarrollo y el medio ambiente, basada en un replanteamiento de la economía desde una perspectiva medioambiental. La idea básica de este enfoque consiste en apoyar decididamente un concepto de economía ecológica basado en la distribución geográfica de las riquezas y en la racionalidad en el uso y consumo de los recursos naturales.

En el presente capítulo trataremos de exponer los aspectos e implicaciones más importantes de todos estos conceptos y las cuestiones que se plantean en torno a los mismos, con evidentes repercusiones en nuestra sociedad actual.

9.2. Un modelo alternativo de desarrollo

En estos últimos años, y cada vez con más fuerza, han ido surgiendo voces autorizadas que han cuestionado, con mayor o menor contundencia, los modelos establecidos de desarrollo en todas las sociedades avanzadas. En particular, frente al productivismo convencional de épocas anteriores, se ha ido abriendo paso entre muchos especialistas la posibilidad real de una alternativa ecología/economía, un planteamiento que algunos autores conocen como modelo eco-eco.

Las líneas maestras del **modelo eco-eco** fueron expuestas por primera vez por Maurice Strong, director ejecutivo del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), concretamente en la primera reunión de este programa que tuvo lugar en el año 1973. De acuerdo con estas ideas, se trataría de alcanzar un modelo de desarrollo que se caracterizara por sus objetivos sociales, la libre aceptación de las limitaciones ecológicas basada en la solidaridad generacional y social, y la búsqueda de la eficacia económica. Se apunta, en suma, la posibilidad de un nuevo modelo de desarrollo "socialmente justo, ecológicamente compatible y económicamente viable".

Para entender cuál es la esencia del modelo eco-eco, tendríamos que tener en cuenta que cuando consumimos recursos no renova-

bles estamos cometiendo el mismo tipo de error que cuando, en los esquemas de producción convencionales, no sólo consumimos las rentas, sino también el capital. Ambos comportamientos constituyen un grave error, dado que con esas actitudes estamos descapitalizando de forma irreversible a la empresa (es decir, a nuestro planeta). Para ilustrar esta cuestión, se podría aludir aquí a nuestras actuales pautas de consumo de petróleo, una materia prima vital en el mundo moderno y no renovable que, probablemente, no durará mucho más allá de cincuenta años.

En los planteamientos económicos convencionales, se suele considerar que todo lo que se produce incrementa el bienestar de las personas. Esta idea está también equivocada. Muchos de los bienes que se producen tienden a crear condiciones negativas para la calidad de vida y, al mismo tiempo, suponen una seria amenaza para el entorno y el propio futuro del planeta. A la hora de valorar el verdadero bienestar económico, será necesario tener en cuenta tales elementos negativos, anotándolos no como elementos aditivos, sino como detracciones (por supuesto, a escala global). Entre estos elementos negativos podemos mencionar la fabricación de armamentos, las secuelas contaminantes de determinadas industrias o las distorsiones producidas por ciertas infraestructuras que afectan negativamente y de forma grave al medio ambiente, por ejemplo.

A diferencia de la denominada "economía ambiental" (que se limita a ampliar el ámbito de la economía convencional al análisis de los problemas que supone la simple gestión del entorno físico, como si se tratara de un sector más), la nueva concepción de **economía ecológica** trata de establecer nuevas relaciones teóricas entre los sistemas económicos y los sistemas ecológicos. En otras palabras, el modelo eco-eco tiende a superar el divorcio preexistente entre economía y medio natural. Se trata con ello de adoptar un enfoque integrador, que considere el medio ambiente en su totalidad, cubriendo un amplio abanico que abarque desde los recursos naturales (incluyendo el tema de la energía) hasta el de los residuos, con la humanidad como productora, consumidora y recicladora de tales

recursos, y todo ello en la perspectiva de una conservación integral de los mismos.

En la alternativa global que se plantea desde el modelo eco-eco, cabe incluir tres **cuestiones básicas**: la conversión de los gastos militares en ayuda solidaria al desarrollo de los países menos favorecidos, la interiorización de los costes de conservación del medio ambiente y la modificación de las pautas de crecimiento, de forma tal que, en el desarrollo de la humanidad, la naturaleza sea considerada como una variable independiente. A continuación vamos a profundizar un tanto en estos tres aspectos.

Por lo que se refiere al tema del reciclado de los **gastos militares**, no será necesario extenderse en demasía sobre este tema para poner de manifiesto que con la distensión y el desarme a nivel mundial se abren las puertas a la posibilidad de una reconversión de los gastos originados por la vieja confrontación Este-Oeste (una vez superada la situación que ha agobiado al mundo durante más de medio siglo) por manifestaciones de solidaridad Norte-Sur, que supondrían la superación de las angustiosas carencias de todo tipo que afectan actualmente a los habitantes de los países menos desarrollados. Para entenderlo así, no hay más que recordar que los presupuestos militares a escala de todo el mundo (datos de 1995) superan la cifra de un billón de dólares, es decir, bastante más que toda la deuda externa acumulada por los países del Tercer Mundo desde 1975 a 1990.

Explicar la segunda cuestión básica, la que se refiere a la interiorización de los costes de **conservación de la naturaleza**, es muy sencillo. Si consideramos que en el debe de una cuenta de resultados de una empresa cualquiera se hacen constar los gastos imputables al trabajo (es decir, los salarios de los trabajadores), a la adquisición de materias primas y energía, a la seguridad social, a los gastos financieros, etc., no se ve la razón por la que no se haya de computar en dicha cuenta de resultados todo lo que se refiere a la conservación del capital natural, es decir, a la mejora del entorno, o a la compensación de los deterioros producidos de una forma u otra

por la empresa en cuestión sobre el medio ambiente y que todavía se encuentra hoy en una situación de reversibilidad. Pues bien, la interiorización consiste precisamente en esto.

Con la integración de todas las cantidades asignadas al conservacionismo, por parte de todas las previsiones de gasto empresarial y de los poderes públicos, se podría constituir lo que podríamos denominar un "presupuesto de la Naturaleza", asignando, frente al consumo del capital natural, las sumas necesarias para su reposición. De este modo, a través de diferentes programas, se podría regenerar todo lo que fuera técnicamente posible.

Tendríamos que tener en cuenta además que el proceso de interiorización es mucho más que una simple operación contable, dado que, cuando asumimos esa necesidad, se hace indispensable racionalizar los propios costes, en términos de mejorar la calidad de los productos elaborados, prolongando su vida útil, en contra de las tendencias actuales del productivismo y consumismo, que parecen favorecer la escasa durabilidad de los productos y estimular así nuevas compras.

El mencionado proceso favorecería también el ahorro energético, evitando los escandalosos derroches de la sociedad actual que tanto parecen interesar a las grandes compañías eléctricas y corporaciones petrolíferas, con el fin de aumentar sus beneficios. Por otro lado, el reciclado de residuos y desechos permitiría invertir la actual tendencia de envenenamiento de nuestro planeta, garantizando una disponibilidad indefinida de las reservas de las materias primas no renovables y tan necesarias para nuestro bienestar.

Finalmente, este proceso permitiría atender también a la mejora de la calidad de vida cotidiana de todos los habitantes del planeta, recordando, una vez más, que se produce y se consume para vivir, y que no se vive para producir y consumir, en un contexto de explotación y derroche verdaderamente insoportables.

La tercera de las cuestiones anteriormente citadas se refería al hecho de que la naturaleza tendría que ser considerada como una **variable independiente**. ¿Qué queremos decir con esto? Pues

sencillamente, que los crecimientos de la población, de la renta, del consumo, y de las demás variables socioeconómicas, deberían estar condicionados a que la naturaleza (como patrimonio colectivo de toda la humanidad para hoy y para el futuro) no se destruya, y, en su caso, a que se hagan todos los esfuerzos necesarios para restaurarla progresivamente cuando los daños que se le han causado no sean todavía irreparables.

Por consiguiente, cuando asignamos un carácter de variable independiente a la naturaleza, lo que estamos haciendo en realidad es que todas las variables socioeconómicas anteriormente citadas (población, renta, consumo, etc.) queden supeditadas a la naturaleza y no al revés.

Para finalizar con este tema, diremos que el modelo alternativo de desarrollo que estamos diseñando con todas estas ideas presenta también otro aspecto de gran importancia. El modelo eco-eco rechaza radicalmente la occidentalización del Tercer Mundo, basándose en que este proceso sería un verdadero desastre en términos sociales y culturales, puesto que, en última instancia, no haría más que extender las actuales formas de vida y prácticas de consumismo de la sociedad occidental a todo el planeta. Desgraciadamente, los síntomas de que las cosas van precisamente en sentido contrario al deseado abundan cada día más.

9.3. Concepto de desarrollo sostenible

La expresión "desarrollo sostenible" fue definitivamente acuñada en 1987 en un informe titulado "Nuestro futuro común", elaborado por la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo. Este importante informe recibe habitualmente el nombre de **Informe Brundtland**, el apellido de la presidenta de la citada Comisión, la política socialdemócrata noruega Gro Harlem Brundtland.

El concepto de desarrollo sostenible, según el informe Brundtland, expresa la idea básica de que "hemos de satisfacer nuestras necesidades sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades". En otras palabras, no deberíamos vivir hipotecando el futuro de nuestros hijos y nietos, ni

deberíamos ser caníbales de nuestra progenie (como en la conocida imagen de Saturno de la estremecedora pintura de Goya, conservada en el Museo del Prado, en la que el dios clásico aparece devorando a sus propios hijos).

El principal mérito de este informe estriba en el concienzudo análisis de las interrelaciones existentes entre el despilfarro del Norte del planeta, la pobreza del Sur y la destrucción de la biosfera. El concepto original de *sustainable development* (que ha sido erróneamente traducido en ocasiones como desarrollo sostenido, sin advertir los desastrosos efectos que este equívoco puede traer consigo) cuenta con un claro precedente desde los años setenta, el concepto de ecodesarrollo, conocido también con el nombre de modelo eco-eco, cuyas líneas maestras ya hemos tenido ocasión de exponer anteriormente.

En todo caso, hay que dejar claro que el concepto de **desarrollo sostenible** (un modelo de desarrollo capaz de satisfacer las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para atender a las suyas) es un concepto enormemente rico, pero también muy problemático, que de entrada nos sugiere algunos interrogantes.

¿Cuáles son estas necesidades? Y más aún. ¿Cómo distinguir entre las necesidades básicas (lo que podríamos considerar necesidades esenciales de las personas), las necesidades no básicas y los deseos socialmente legítimos?

¿Qué necesidades y deseos socialmente legítimos han de satisfacerse, y de acuerdo con qué criterio discriminador?

¿Qué hacer cuando distintos objetivos ecológicos entran en colisión entre sí, o lo hacen con determinados objetivos sociales o de otro tipo? ¿Qué criterios debemos utilizar antes de tomar una decisión? ¿Es lícito seguir identificando "desarrollo" con "crecimiento" en un contexto de sostenibilidad ecológica?

Cuando nos referimos a las limitaciones impuestas por la tecnología y la organización social para satisfacer las necesidades de

la población, ¿no estamos olvidando que estas limitaciones pueden cambiar drásticamente en el futuro?

¿Cuántas generaciones futuras hemos de tomar en consideración, y de qué tamaño, cuando establecemos el compromiso con la perspectiva de solidaridad intergeneracional que implica la idea de desarrollo sostenible?

Vamos a entrar en la discusión de estos temas centrándonos en un concepto extraordinariamente importante, el de las necesidades. Es bien sabido (y el propio informe Brundtland nos lo recuerda con absoluta claridad) que el principal objetivo del desarrollo es la satisfacción de las necesidades y aspiraciones humanas. Sin embargo, el modo en que se satisfacen las necesidades y aspiraciones de una cierta comunidad por medio del desarrollo está sometido, entre otras, a dos tipos de restricciones clave, las restricciones ecológicas y las restricciones morales.

Los niveles de vida que trascienden el mínimo básico son sostenibles si los niveles de consumo tienen en cuenta en todas partes la sostenibilidad a largo plazo. Pero es indudable que muchos de nosotros vivimos muy por encima de los medios ecológicamente aceptables, por ejemplo, por lo que respecta al uso de energía. El desarrollo sostenible hace necesaria la promoción de valores que alienten niveles de consumo que permanezcan dentro de los límites de lo ecológicamente posible y a los que todos puedan aspirar razonablemente.

Las **restricciones ecológicas** son una consecuencia directa de la necesidad de conservar lo que solemos denominar capacidad de sustentación del planeta (que podría significar algo así como "todo lo que puede dar de sí" el planeta Tierra). Más adelante nos ocuparemos específicamente de esta cuestión.

Las **restricciones morales** nos las imponemos nosotros mismos al renunciar a los niveles de consumo a los que no todos sus habitantes pueden aspirar en términos razonables. Este principio ético igualitario (o todos o ninguno) proporciona un primer criterio para discriminar qué necesidades y aspiraciones humanas pueden

satisfacerse. El principio podría ser formulado como un criterio de generalización, que se podría concretar en el rechazo de todas aquellas pautas de comportamiento humano que no se pueden generalizar a nivel universal, dado que ello pondría en peligro la capacidad de sustentación de la Tierra.

En relación con esta cuestión, vale la pena recordar que diferentes autores han desarrollado la idea de que existen **pautas de consumo** antisociales, en el sentido de que no se pueden generalizar. Estas pautas de consumo podrían ser consideradas también como "inmorales", recordando que, para saber si una cierta acción era moral o inmoral, Kant aconsejaba someterla al experimento mental de imaginar que todos hicieran lo mismo. Si la situación mental a la que conduce este ejercicio es incoherente o insoportable, algo no va bien respecto a su moralidad.

Un ejemplo bastante sencillo de esta última situación nos lo proporcionan los sistemas agropecuarios industrializados, fuertemente intensivos por lo que se refiere al consumo de energía (fundamentalmente de origen fósil) que imperan actualmente en los países más avanzados (sobre todo en los Estados Unidos). Como es sabido, el rendimiento energético de estos sistemas agropecuarios es extraordinariamente bajo, hasta el punto de que, en algunos casos, se utilizan diez calorías de combustible por cada caloría de alimento producido. Pues bien, si se generalizara la dieta y la tecnología alimenticia de Estados Unidos al conjunto de la población mundial y el petróleo se destinara únicamente a este fin, las reservas mundiales de este combustible se agotarían en un plazo muy corto, tal vez poco mayor que una década. Por consiguiente, deberíamos concluir que nuestra forma actual de alimentarnos es claramente antisocial e inmoral.

La anterior reflexión nos permite introducir algunos elementos importantes para un debate sobre la **relación entre ética y ecología**. Lo que conviene retener fundamentalmente en este sentido es que en cuanto nos damos cuenta de que "ha comenzado la era del mundo limitado y finito", es decir, en cuanto advertimos que la expansión de la economía y la población humanas han conducido a

un punto en el que el impacto sobre la biosfera es cada vez mayor y más destructivo, vemos que los problemas de la justicia, la equidad y la distribución de bienes se plantean de un modo muy diferente a cómo se haría en el "mundo ilimitado e infinito" en el que, ficticiamente, vivían las generaciones pasadas.

Volviendo al concepto de desarrollo sostenible, tal como viene definido en el informe Brundtland, es importante tener presente también que, para la satisfacción de las necesidades consideradas como básicas, es necesario que se produzca el **crecimiento económico** en todos los lugares o zonas geográficas en los que, en la actualidad, no se satisfacen esas necesidades básicas, es decir, se requiere tal crecimiento económico en todos los países pobres del planeta.

Por supuesto, para alcanzar ese objetivo, es necesario establecer también las oportunas formas de **control demográfico** consciente, dado que únicamente será posible fomentar el desarrollo sostenible si la evolución demográfica está en armonía con el cambiante potencial productivo del ecosistema.

Hemos de ser conscientes igualmente de la existencia de **límites últimos** por lo que se refiere al uso de la energía, de materiales, del agua y de las tierras, así como a la capacidad de nuestra biosfera para absorber desechos y residuos. Ciertamente, la acumulación de conocimientos y el desarrollo de la tecnología pueden aumentar un tanto la capacidad generadora de la base de recursos, pero no cabe ninguna duda acerca de la existencia de límites últimos de todos estos recursos. En consecuencia, como exigencia mínima, el desarrollo duradero no debería poner en peligro los sistemas naturales que sostienen la vida en la Tierra, es decir, la atmósfera, las aguas, los suelos y todos los seres vivos.

Nos parece importante también tener presente que el informe Brundtland es un documento muy alejado de los planteamientos radicales. Concretamente, en este informe se reconoce que la **conservación de recursos** no es un imperativo absoluto en sí misma, sino que ésta debe estar estrechamente relacionada con el bienestar humano. Así, en el informe se dice textualmente que "el crecimiento

y el desarrollo económicos implican forzosamente ciertos cambios en los ecosistemas físicos. No todo ecosistema se puede conservar intacto en todo lugar".

En el documento que estamos comentando se señala muy claramente que el consumo de los **recursos no renovables** (sobre todo, minerales y combustibles fósiles) debería ser lo más parsimonioso posible. Sobre este punto en particular, se dice que "la tasa de agotamiento, el énfasis en el reciclaje y la economía del uso deberían graduarse de manera tal que se asegure que un recurso de ese tipo no se agote antes de que se disponga de un sucedáneo aceptable. El desarrollo sostenible requiere que la tasa de agotamiento de los recursos no renovables suponga el menor número posible de opciones futuras".

Como resumen de estas consideraciones iniciales, hemos de insistir en el hecho de que el desarrollo sostenible es un proceso de carácter sociopolítico y económico cuyo objetivo es la satisfacción de las necesidades y aspiraciones humanas presentes y futuras. Este proceso viene determinado por dos tipos de restricciones, unas de tipo ecológico (dada la existencia de ciertos límites últimos en nuestra biosfera finita) y otras de tipo moral (dado que no ha de perjudicarse la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades). Para la consecución de tal desarrollo sostenible es necesario, como mínimo, el crecimiento económico en los lugares donde no se satisfacen en la actualidad las necesidades básicas, el control consciente de la demografía y una utilización lo más austera posible de nuestras reservas de recursos no renovables.

9.4. El concepto de capacidad de sustentación

Vamos a profundizar algo más en algunas de las consideraciones expuestas anteriormente tratando con detenimiento un aspecto muy importante de la cuestión. Nos referimos al concepto de **capacidad de sustentación** (conocido también como capacidad de carga) de un territorio determinado, para una especie dada, y que se refiere al máximo de población de dicha especie que puede ser mantenido en ese territorio de manera indefinida, sin que se produzca una degra-

dación en la base de recursos disponibles que pueda significar una reducción de la población en el futuro. Se trata, como es fácil adivinar, de un término procedente de la ciencia ecológica. Cuando este término se utiliza sin más especificaciones en las ciencias sociales, ha de entenderse que se está aludiendo a la "capacidad de sustentación del planeta Tierra n relación con la especie humana".

La primera pregunta que nos debemos plantear es si la aplicación de dicho concepto a nuestro caso es válida. En otras palabras, se trata de discernir si hay límites al número de seres humanos que pueden vivir en este planeta sin dañar irreversiblemente la biosfera. Todas las enseñanzas de la ciencia ecológica, así como los resultados de los numerosos estudios de prospectiva elaborados sobre esta cuestión clave, confirman que esta capacidad de sustentación es limitada y que ha ido deteriorándose gravemente a lo largo de los últimos decenios.

En un informe oficial estadounidense encargado por el presidente Carter en el año 1977, titulado **El mundo en el año 2000**, se afirmaba textualmente que "las tendencias que el presente estudio refleja sugieren reiteradamente un proceso de degradación y empobrecimiento de los recursos naturales de la Tierra". Los autores del informe señalaban que hay muchas áreas en las que ya no puede darse por supuesta la capacidad del medio ambiente para proporcionar bienes y servicios, por dos razones principales: en primer lugar, porque a medida que la población y el consumo per capita van aumentando, la demanda de bienes y servicios ambientales está superando la capacidad del medio natural para proporcionar tales bienes y servicios; y en segundo lugar, porque en muchos ámbitos los ecosistemas que proporcionan tales bienes y servicios están siendo suprimidos o envenenados.

Muchos expertos opinan que los efectos de las crecientes concentraciones de dióxido de carbono en la atmósfera, del deterioro de los suelos, del incremento de la presencia de sustancias químicas tóxicas y persistentes en el medio ambiente, así como la extinción masiva de especies, sólo empezarán a ponerse de manifiesto de forma clara y

contundente cuando ya esté muy avanzado el presente siglo XXI. Sin embargo, una vez que todos estos problemas ambientales del mundo se hagan claramente palpables, será muy difícil invertir su evolución. Quizás el problema más serio sea el hecho de que **el incremento demográfico y la pobreza** endémica de ciertas zonas geográficas conducen de forma inexorable a importantes reducciones en todos los sistemas de recursos naturales renovables. En algunas regiones de la Tierra, la capacidad de los sistemas de recursos naturales para el sostenimiento de poblaciones humanas está ya considerablemente afectada por los esfuerzos de sus poblaciones actuales para satisfacer sus necesidades más inmediatas, y se puede prever que esos daños se agravarán todavía más en el futuro.

Un buen ejemplo de esta última afirmación lo podemos encontrar en la región subsahariana (zona del Sahel), donde el pastoreo intensivo, la recolección de leña y las prácticas inadecuadas de cultivo han producido ya una serie de alteraciones ecológicas en las que la tierra de bosques abiertos se ha convertido en matorral, más tarde en frágil pastizal semiárido y finalmente en suelo totalmente yermo. Situaciones igualmente críticas las podemos encontrar también en algunas regiones de Brasil, Pakistán, la India o Bangladesh, entre otras.

Estos ejemplos nos hacen reflexionar de inmediato sobre algunos aspectos frecuentemente ignorados en la **discusión sobre la capacidad de sustentación**, y que pueden proporcionar a este concepto una carga fuertemente ideológica.

En primer lugar, habrá que tener en cuenta que la degradación ecológica de una zona determinada del planeta puede producirse no sólo como consecuencia de la presión de la población autóctona sobre sus recursos, sino también por la presión de la producción destinada a la exportación y no a cubrir las necesidades de las personas que viven en esa zona.

En segundo lugar, no se debería olvidar que la producción agrícola de una determinada zona geográfica puede aumentar muchísimo si aumentan los insumos energéticos (petróleo en forma de fertilizan-

tes o combustible para la maquinaria agrícola). En otras palabras, la capacidad de sustentación depende fuertemente del nivel tecnológico y de la organización social de las sociedades humanas.

En tercer lugar, las desigualdades territoriales de riqueza e ingreso son tan acusadas en la actualidad, que la noción de capacidad de sustentación sólo puede tener pleno sentido a escala global, planetaria, pero no a nivel de un país o de una región determinada. Al hacer estas reflexiones, no deberíamos ignorar, por ejemplo, que una región de la próspera Alemania, la de Renania del Norte y Westfalia, tiene ella sola más vehículos automóviles (9 millones) que todo el continente africano (8'5 millones), o que sólo en la ciudad de Tokio hay más líneas telefónicas que en toda África. En el mismo sentido, deberíamos tener también en cuenta el hecho de que un ciudadano medio de los Estados Unidos consume o destruye quinientas veces más recursos ambientales que un ciudadano medio de la India.

Un buen índice de la presión que ejerce la economía sobre la capacidad de sustentación del planeta lo constituye la fracción de la producción fotosintética del planeta que está relacionada con la existencia del hombre y sus actividades. En este sentido, se denomina **producción primaria neta** a la cantidad de energía solar fijada por las plantas a través del proceso de fotosíntesis, menos la energía utilizada por las mismas plantas. Esta energía bioquímica sustenta todas las formas de vida animal, es decir, está relacionada con la totalidad de los recursos alimentarios del planeta. Pues bien, un equipo de biólogos de la Universidad de Stanford (Estados Unidos) ha calculado que, en la actualidad, el 40% de la producción primaria neta anual mundial de la fotosíntesis terrestre se utiliza directamente en satisfacer las necesidades humanas, o es utilizada o destruida indirectamente por la actividad humana. Algunas estimaciones indican que esta cifra podría duplicarse hacia el año 2030 si prosiguen los ritmos actuales de crecimiento de la población y el consumo.

La **conclusión general** a la que conducen los anteriores datos y reflexiones es evidente: mientras acaparamos una proporción cada vez mayor de la energía que llega a la Tierra procedente del sol, los

ecosistemas naturales son degradados o destruidos cada vez con mayor rapidez. En consecuencia, parece sensato pensar que existe una capacidad límite de sustentación para el planeta en su conjunto, y que nos estamos acercando rápidamente a ella.

En el informe anteriormente citado se llegaba también a la conclusión de que la población mundial debería estabilizarse en niveles inferiores a los 10.000 millones de personas, como condición necesaria para el sostenimiento de la vida humana en niveles confortables. Incluso sacrificando la comodidad y las opciones individuales, no es probable que la población humana exceda nunca de los 30.000 millones de personas. Ya hemos hablado de todas estas cuestiones en otro lugar. En realidad, los datos obtenidos con posterioridad a la elaboración de dicho informe ponen de manifiesto que éste fue bastante optimista en sus predicciones, basadas en la disponibilidad de nuevas tierras de cultivo, capturas pesqueras sostenibles, etc. Sin embargo, el informe en cuestión no tuvo en cuenta efectos tan importantes como las pérdidas de productividad agrícola debidas a los procesos de salinización (que afectan en la actualidad a algo así como la mitad de las tierras de regadío del planeta) o las pérdidas de suelo cultivable que acompañarán a la deforestación. Tampoco tuvo en cuenta el rápido aumento de coste de los fertilizantes y pesticidas como resultado de la utilización intensiva de energía.

Cuando consideramos que los datos de que disponemos hoy en día parecen excluir la posibilidad de que la población mundial se estabilice por debajo de los 10.000 millones de habitantes, nos damos cuenta de la **gravedad de la situación** a la que nos enfrentamos en la actualidad. Podríamos aventurar incluso la hipótesis de que el tiempo estimado para alcanzar la capacidad máxima de sustentación del planeta (a nivel global) podría ser tan sólo de un par de generaciones.

Para finalizar esta exposición, es importante señalar que los conceptos de desarrollo sostenible y capacidad de sustentación están íntimamente relacionados. De hecho, lo que entendemos por desarrollo sostenible no es otra cosa que el desarrollo que no daña

la capacidad global de sustentación del planeta Tierra. En otras palabras, el objetivo último del desarrollo sostenible es mejorar la calidad de la vida humana sin rebasar la capacidad de sustentación de los ecosistemas que la sustentan. Ésta es precisamente la definición de "desarrollo sostenible" propuesta por la llamada Estrategia Mundial para la Conservación, formulada a principios de la década de los noventa del pasado siglo.

9.5. Ciudades sostenibles

Como ya hemos expuesto en otro lugar de este libro, un elevado porcentaje de la población mundial vive actualmente en ciudades. Por lo tanto, puede resultar interesante reflexionar sobre algunos de los conceptos introducidos anteriormente desde nuestra condición de ciudadanos. La comparación entre ciudad y naturaleza puede ayudar a concebir la ciudad como un ecosistema artificial, construido por la especie humana, que mantiene un intercambio de energía y materiales con el medio más o menos próximo que le rodea. También nos permite definir la sostenibilidad de una ciudad en términos del aprovechamiento más eficiente posible de los recursos naturales renovables que esa ciudad consume, para que el impacto ecológico que supone el funcionamiento de la ciudad en cuestión sobre el entorno se mantenga dentro de los límites de su capacidad de sustentación.

Sin embargo, todas nuestras **ciudades actuales** son pésimas imitadoras de la naturaleza. La escasa eficiencia en el aprovechamiento de la energía y los materiales que las ciudades actuales extraen del medio no resiste la comparación con el comportamiento de los sistemas naturales, incluido el propio cuerpo humano. Concretamente, la energía exosomática consumida por las sociedades humanas es unas veinte veces superior a la endosomática como media mundial, pero llega a multiplicarla por un factor superior a cien en las sociedades desarrolladas más consumidoras de energía, como es el caso de los Estados Unidos. La prueba más evidente de la enorme voracidad con que los países más desarrollados consumen materias primas es precisamente la carga contaminante que dichas sociedades devuelven

al medio ambiente en forma de emisiones atmosféricas, polución de las aguas y producción de residuos sólidos de toda especie. Se puede decir que en los sistemas naturales todo se aprovecha. En cambio, en los ecosistemas artificiales urbanos, esa afirmación está muy lejos de la realidad.

Confrontar a las ciudades con los sistemas naturales es una buena forma de situar la **crisis ecológica** en una perspectiva que permita pensar en su resolución. Concretamente, el ecólogo norteamericano Barry Commoner considera que la crisis del medio ambiente es el resultado de una guerra insensata entre la tecnosfera y la biosfera. Esta guerra es un conflicto claramente suicida, dado que la tecnosfera industrial entretejida por las ciudades y sus zonas metropolitanas no puede existir sin la biosfera. Por eso la única solución posible de ese conflicto consiste en hacer las paces con el planeta, modificando la manera de funcionar de la tecnosfera para que ésta sea compatible con la biosfera. Tal como dice el economista alemán Hans Immler, la tarea consiste básicamente en desarrollar unas formas de producción y consumo que permitan tanto la reproducción de la sociedad como de la naturaleza. Esta formulación, a su vez, exige reconocer que sin naturaleza no puede haber producción ni riqueza humana alguna.

Como hemos dicho anteriormente, una sociedad ecológicamente sostenible es aquella que "satisface de forma equitativa las necesidades de sus habitantes sin poner en peligro la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras". Esta definición genérica se puede aplicar también a las ciudades. En consecuencia, el objetivo de alcanzar **ciudades sostenibles** obliga a reubicar conceptualmente a la ciudad en el territorio, con el fin de plantearse la reducción de la extracción de materiales y energía, así como minimizar la carga contaminante que la envuelve. Para conseguir este objetivo último, sin reducir la satisfacción de necesidades de los ciudadanos (por supuesto, tanto en el presente como en el futuro), se requiere una verdadera revolución de la eficiencia: sacar el máximo provecho de cada unidad de energía o de los materiales que la ciudad extrae de la naturaleza. En el aspecto económico, esta "revolución de la eficien-

cia" es absolutamente inseparable de lo que podríamos denominar "revolución democrática de la equidad y la solidaridad" en el aspecto social y político.

Como es natural, es necesario traducir a criterios operativos las definiciones de desarrollo sostenible y de ciudad sostenible. En este sentido, se han establecido tres **principios operativos** básicos de una sociedad ecológicamente sostenible. En primer lugar, no hay que explotar los recursos renovables por encima de su ritmo de renovación. En segundo lugar, no hay que explotar los recursos no renovables por encima de su ritmo de sustitución por recursos renovables. Por último, no hay que verter al medio ambiente (aire, agua o suelo) una cantidad o una composición de residuos por encima de la capacidad de absorción de los ecosistemas. Estos tres principios básicos pueden completarse con un cuarto, que exige situar una frontera de sostenibilidad en la ocupación humana del territorio, con el fin de garantizar la preservación de la biodiversidad de los diversos ecosistemas.

Los cuatro criterios anteriores se deben cumplir de forma simultánea, y su sinergia es muy importante. También lo es la interpretación que se dé al cuarto de dichos criterios, por cuanto según el grado en que admitamos que los "servicios ambientales" que nos proporcionan los sistemas naturales son sustituibles por infraestructuras llegaremos a escalas muy diferentes de sostenibilidad. Por ejemplo, no es lo mismo preservar la biodiversidad en hábitats viables para la vida silvestre que pretender hacerlo en granjas, parques zoológicos o bancos de simientes. La frontera de la sostenibilidad en la ocupación humana del territorio se sitúa en puntos muy diferentes en uno y otro caso.

La distinción entre una interpretación "blanda" o "dura" de la sostenibilidad tiene implicaciones muy importantes para la escala de medida. Esto resulta particularmente significativo en relación con el tema de las ciudades sostenibles.

¿Qué significa para una de nuestras ciudades explotar de forma sostenible los recursos renovables y sustituir los no renovables,

cuando el gas natural que consumimos viene de Argelia, el petróleo del Golfo Pérsico, el uranio viene del Níger y se enriquece en Francia, el cobre que utilizamos para fabricar las tuberías del agua potable y las conducciones eléctricas proviene de Chile, y el acero con el que se construyen los edificios o los automóviles que circulan por sus calles se ha fundido en Asturias, utilizando carbón procedente de Africa del Sur y mineral de hierro extraído de la cuenca amazónica?

¿Hasta dónde llega el impacto ambiental real del funcionamiento de una ciudad y hasta dónde hay que ir a buscar su **frontera de sostenibilidad**, cuando sabemos que las emisiones de gases relacionados con el efecto invernadero o de sustancias destructoras de la capa de ozono traspasan cualquier frontera y tienen efectos de alcance planetario?

Dado que en una economía fuertemente globalizada la sostenibilidad y la no sostenibilidad se pueden "importar" o "exportar", el análisis de los nexos de cada ciudad (o de cada país) con el medio ambiente debe combinar adecuadamente los aspectos locales y globales. El urbanista canadiense William Rees ha formulado esta importante idea con una expresión que ha hecho fortuna entre los expertos: hay que ir a buscar la "huella ecológica" de cada ciudad, si la queremos poner en relación con la capacidad de carga de todos los ecosistemas a los que afecta.

Basta con este breve recorrido por algunos de los vericuetos a los que lleva la aplicación de los principios genéricos de la sostenibilidad para darse cuenta de que cualquier proyecto de ciudades sostenibles no es sólo una cuestión técnica que deba dejarse exclusivamente en manos de los expertos. Incluso en el caso de que nos esforzáramos en traducir el concepto de sostenibilidad a criterios operativos en la práctica, nos encontraríamos de inmediato con la necesidad de tomar una serie de decisiones que no son técnicas, sino políticas. Tanto los científicos (teoría) como los técnicos (aplicación) son imprescindibles para llevar a cabo un diagnóstico de los problemas ambientales, para contribuir a definir los criterios operativos y para sugerir las diferentes alternativas tecnológicas y sociales disponibles.

Sin embargo, la dimensión, la complejidad, las incertidumbres y las profundas implicaciones que comporta el desafío ambiental afectan de tal modo a la esencia misma de nuestra civilización industrial que el derecho y la responsabilidad de tomar las decisiones que nos sitúen en el camino de las soluciones deberían corresponder a todos los ciudadanos en general.

Por esta razón, cualquier proyecto de sostenibilidad de un país, de una región o de una ciudad debe ser ante todo un gran proyecto democrático. Alcanzar ese objetivo no parece tan difícil. La correspondiente comunidad debe conocer en primer lugar cuáles son todos los efectos de sus formas de vida sobre el medio ambiente, así como hasta dónde llega su alcance, para decidir más adelante la forma en que quiere cambiarlas para alcanzar una situación de sostenibilidad. Es toda la ciudadanía la que debe ir definiendo y rectificando en cada momento el camino hacia esa situación. En este sentido, resulta significativo recordar que en una declaración del denominado Comité Ciudadano para la Sostenibilidad de la ciudad norteamericana de Seattle se dice textualmente que "la sostenibilidad debe ser entendida más como una dirección que como una estación término, más como un proceso que como un objetivo final".

El capítulo 28 de la **Agenda 21**, aprobada en la Conferencia de Río de 1992, titulado "Bases para la acción", se refiere precisamente al papel de los gobiernos locales y de la participación ciudadana en la búsqueda de soluciones a los graves problemas ambientales planetarios. En el apartado tercero de dicho capítulo se dice textualmente: "Cada autoridad local debe iniciar un diálogo con sus ciudadanos, organizaciones sociales locales y empresas privadas para adoptar una Agenda Local 21. A través de consultas y procesos consensuados, las autoridades locales deben dirigirse a las organizaciones cívicas, vecinales, empresariales e industriales locales y adquirir la información adecuada para diseñar la mejor estrategia. El proceso participativo debe reforzar en cada casa y cada vecino la consciencia de los problemas que implica el desarrollo sostenible. Los programas, las políticas, normas y regulaciones de las autoridades locales para

alcanzar los objetivos de la Agenda 21 deben establecerse y modificarse a partir de los procesos locales adoptados".

La Guía para la Planificación de la Agenda 21, elaborada por el Consejo Internacional de Iniciativas Locales para el Medio Ambiente (un organismo surgido en el año 1990 a iniciativa de las Naciones Unidas), desglosa en los nueve puntos siguientes el proceso participativo que debe permitir la definición y aplicación en cada comunidad de su propio proyecto de ciudad sostenible:

1. Llegar a acuerdos sobre una filosofía de actuación común.
2. Identificar los problemas más importantes y sus causas.
3. Definir con la máxima precisión posible los objetivos globales.
4. Establecer una escala de prioridades en los problemas.
5. Establecer objetivos específicos e identificar opciones.
6. Diseñar programas de actuación concretos para los objetivos específicos.
7. Formalizar un plan de acción global, con suficiente detalle.
8. Aplicar el plan de acción en cuestión y obtener resultados.
9. Evaluar la situación alcanzada y volver a iniciar el proceso.

Resulta evidente que apostar por una ciudad sostenible supone hacerlo también por una comunidad democráticamente vertebrada, que persigue de forma participativa la satisfacción equitativa de las necesidades de sus ciudadanos, y se propone asegurar que esa satisfacción no ponga en peligro la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras.

9.6. Criterios para el desarrollo sostenible

Algunos especialistas han intentado dar un contenido operativo al concepto de desarrollo sostenible expresándolo en términos puramente económicos. Para concluir el presente tema, y subrayar de nuevo sus aspectos fundamentales, nos parece interesante exponer sucintamente a continuación algunas de estas ideas.

Una manera de concebir la actividad económica global de un sistema dado es imaginarla como una larga secuencia de procesos de producción, distribución y consumo encadenados. En el largo plazo que implica el término "sostenible", es evidente que toda sociedad debe ser capaz de garantizar sus condiciones de reproducción. En este sentido, hay que tener en cuenta que, en su interacción con la economía, la **biosfera** desempeña tres funciones trascendentales. En primer lugar, la biosfera es la fuente esencial de la vida y hábitat para las especies vivas. En segundo lugar, la biosfera es un almacén de energía y materias primas. Por último, la biosfera es un vertedero de residuos.

Por otra parte, es necesario insistir también en que los **recursos naturales** se pueden clasificar en cuatro grandes grupos: recursos inextinguibles o perpetuos a escala humana (como es el caso de la luz solar o la lluvia), recursos renovables (como la pesca o la explotación maderera moderadas), recursos agotables pero reciclables (como los metales) y recursos que se agotan de forma irreversible (como el carbón, el petróleo o el gas natural).

Pues bien, la **cuestión fundamental** en el tema que estamos tratando es la siguiente: ¿Qué implicaciones tienen estas tres funciones ambientales y estos cuatro tipos de recursos naturales, junto con la llamada variable tecnológica, en el concepto de desarrollo sostenible?

Vamos a contestar esta pregunta refiriéndonos en primer lugar a los cuatro tipos diferentes de recursos naturales, uno tras otro. De todos ellos, únicamente los **recursos naturales inagotables**, considerados como inextinguibles a escala humana, no suponen ninguna limitación para el desarrollo sostenible por razones obvias: éstos son los únicos recursos que, en principio, se pueden explotar ilimitadamente. Sin embargo, ello no implica que todas las formas de hacerlo sean sostenibles en cualquier escala. Por ejemplo, la construcción de generadores eólicos (considerados generalmente como un elemento clave en la formulación de cualquier estrategia sostenible de producción de energía), consumen materiales valiosos

en su fabricación, ocupan espacio en su instalación y matan aves en su utilización. El mensaje ecológico fundamental de mesura, de limitación, se puede apreciar en su verdadera profundidad cuando se reflexiona detenidamente sobre el hecho de que incluso los recursos naturales inagotables no pueden explotarse de forma ilimitada e irresponsable.

En principio, el carácter sostenible de los **recursos naturales renovables** queda asegurado por el llamado "principio de la recolección sostenible", según el cual las tasas de recolección deberían ser iguales, a lo sumo, a las tasas de regeneración de estos recursos. Este principio debería ser aplicado especialmente al suelo, a las especies silvestres y domesticadas, a los bosques, a las praderas, a las tierras cultivadas y a todos los ecosistemas marinos y de agua dulce que son la fuente última de la pesca.

Tal como ha indicado el economista Herman Daly, las capacidades de regeneración y asimilación deben ser consideradas como un capital natural. El no mantenimiento de estas capacidades debe ser considerado como un consumo de capital, y por lo tanto, como no sostenible. El capital, tanto el natural como el que es obra del hombre, puede ser mantenido a niveles diferentes. Nuestra intención debe ser no tanto mantener intacto el capital a cualquier nivel, sino hacerlo al nivel óptimo. En el caso de los recursos renovables (bancos de pesca, ganado, árboles, cultivos, etc.), se sabe desde hace tiempo que existe un tamaño de acumulación que permite obtener un rendimiento máximo por unidad de tiempo.

Podemos dar una idea del camino que habría que recorrer citando un caso concreto. El primer organismo mercantil internacional con un mandato explícito de conservación de recursos es la Organización Internacional de Maderas Tropicales, constituida en 1985. Los 48 países que formaban parte de esta organización (tanto países exportadores como importadores) le encomendaron la tarea de orientar el comercio de maderas tropicales hacia la sostenibilidad. Pues bien, cuatro años más tarde, la propia Organización tenía que reconocer que sólo la milésima parte de la extracción maderera se estaba haciendo de manera sostenible.

Cuando nos referimos al **reciclado de recursos agotables** es necesario contemplar un aspecto importante. Dado que el reciclado que es posible aplicar a los recursos agotables aunque reciclables nunca es del todo perfecto, sino que, con mucha frecuencia, entraña un consumo considerable de recursos naturales no renovables (por ejemplo, en forma de energía procedente de los combustibles fósiles), este reciclado se debería considerar conjuntamente con el de los recursos agotables irreversiblemente, englobándolos bajo un único principio de desarrollo sostenible, que bien podríamos denominar "principio del consumo sostenible". De acuerdo con este principio, podríamos considerar que la explotación de recursos naturales no renovables es casi sostenible cuando su tasa de consumo es igual a la tasa de creación de algunos sustitutos que sí sean renovables. Por ejemplo, de acuerdo con este principio, la extracción de una determinada cantidad de petróleo (un recurso natural no renovable) debería comportar la plantación de una cantidad equivalente de árboles (recurso renovable) para la obtención de alcohol (es decir, energía) a partir de la madera.

En relación con la primera de las funciones básicas de la biosfera, según la cual ésta aparece como la fuente esencial para la vida y hábitat para las especies vivas en el planeta, el principio que aparece como obvio y a la vez irrenunciable es el conocido como **principio de irreversibilidad cero**. Este principio establece la necesidad de reducir a cero todas las intervenciones acumulativas (por ejemplo, la emisión continuada de materias tóxicas que no son biodegradables y que se acumulan en las cadenas tróficas) y los daños irreversibles (tales como la pérdida de biodiversidad, es decir, la extinción de especies animales y vegetales). Nos parece importante llamar la atención sobre el hecho de que la aplicación de este principio exigiría la desaparición de la industria nuclear y de muchos procesos productivos actualmente corrientes en la industria química (dado que en este tipo de actividades se generan residuos radiactivos y tóxicos no eliminables).

La consideración de la biosfera como "vertedero de desperdicios", a la que antes nos hemos referido, merece también alguna reflexión

adicional. En este caso, el principio de desarrollo sostenible se podría denominar **principio de la emisión de residuos sostenible**. De acuerdo con este principio, las tasas de emisión de residuos deberían ser menores o a lo sumo iguales a las capacidades naturales de asimilación de los ecosistemas a los que se vierten tales residuos. Este principio supone una emisión cero de residuos no biodegradables.

En relación con las tecnologías a utilizar en este contexto, resulta necesario también formular un **principio de selección sostenible de tecnologías**. Según este principio, deberían favorecerse las tecnologías que aumenten la productividad de los recursos (es decir, la cuantía de valor extraído por unidad de recurso) frente a las tecnologías que simplemente incrementen la cantidad extraída de recursos. En otras palabras, se trata de primar a la eficiencia frente al puro crecimiento.

Es importante dejar absolutamente claro que todos los principios a los que nos acabamos de referir son efectivamente operativos, por cuanto que en ellos intervienen magnitudes susceptibles de medida (tales como tasas de consumo y regeneración de recursos naturales, tasas de vaciado de recursos no renovables, etc.), lo que permite traducir fácilmente estos principios en **objetivos de políticas públicas**. Como es natural, en este sentido se podría argüir que no es posible evaluar con gran precisión las tasas de regeneración de los recursos renovables, el ritmo y la naturaleza de los progresos técnicos futuros, o las capacidades de absorción de desechos por parte de los ecosistemas. Por otro lado, tampoco se puede olvidar que la complejidad de las interacciones que tienen lugar tanto en la biosfera como en las sociedades humanas acrecienta la dificultad del problema.

Aunque todas estas objeciones son ciertas, su consideración no invalida el carácter operativo de los principios para un desarrollo sostenible que acabamos de exponer. No es necesario poseer una información exhaustiva sobre la evolución de todas las magnitudes a las que nos hemos referido en este tema para fijar objetivos sensatos de sostenibilidad. A lo sumo, las condiciones de complejidad o incertidumbre bajo las que nos enfrentamos a la presente crisis ecológico-social imponen una actitud guiada por el principio de precaución,

que se anticipe a la aparición de los posibles problemas. Cuando los riesgos alcanzan las dimensiones de verdadera catástrofe, lo más racional es adoptar una actitud muy prudente.

En consecuencia, a los criterios operativos para el desarrollo sostenible que hemos expuesto hasta ahora, hay que añadir un **principio de precaución**. De acuerdo con este principio, se impone una actitud de vigilante anticipación que identifique y descarte todas las opciones que pudieran conducir a desenlaces catastróficos, aun en el caso de que la probabilidad de que éstos se produzcan sea pequeña y las vías alternativas que existan sean difíciles u onerosas.

Por supuesto, la aplicación práctica de estos principios y consideraciones no está exenta de dificultades. A título de ejemplo, vamos a exponer algunos de los problemas que plantea una gestión sostenible de los **recursos hídricos** en los países mediterráneos (un tema de indudable actualidad), según un estudio llevado a cabo recientemente por encargo de la Comisión Europea.

Ante todo, en dicho estudio se recuerda que el desarrollo sostenible en la gestión de recursos hídricos consolidó sus raíces en la Conferencia de Río de 1992. En particular, en la cuenca mediterránea, la estrategia para hacer frente a la escasez de agua a través de la generación de nuevos recursos, unida a prácticas de gestión y de uso ineficientes, ha contribuido en muchos casos a agudizar los conflictos derivados de las condiciones climáticas o hidrológicas propias de dicha zona geográfica. Una de las claves del problema de los recursos hídricos en las regiones mediterráneas es la expectativa casi generalizada de una abundancia ilimitada de agua, que lleva a desestimar cualquier práctica tendente a mejorar la eficiencia en el uso de este recurso.

En muchos casos, lo que eran simplemente restricciones naturales se han interpretado como un desequilibrio entre lo deseado y lo disponible, desequilibrio que, al parecer, los correspondientes Estados están obligados a resolver. La agria discusión desencadenada en relación con el Plan Hidrológico Nacional aprobado en fechas relativamente recientes en nuestro país y su modificación posterior se podría inscribir en este contexto.

Como sabemos, una especificidad de la **región mediterránea** consiste en la gran importancia de la demanda sectorial de agua para el regadío y el turismo. Todos sabemos que el regadío absorbe cantidades enormes del total de agua utilizada por una región. Sabemos también que la cuenca mediterránea es el destino turístico líder en el mundo; el turismo no presiona solamente sobre los recursos de agua potable, sino también, y cada vez con mayor fuerza, sobre las diferentes infraestructuras y servicios de un entorno dado. Es importante recordar igualmente que el regadío y el turismo coinciden con un rasgo común que afecta a la economía del agua: la fuerte variación estacional en la demanda y la presión sobre los recursos naturales, que se concentra sobre todo en la temporada alta del verano, es decir, justamente durante la estación más calurosa y seca del singular clima mediterráneo. Con todos estos elementos concurrentes, los conflictos están garantizados. No es necesario que recordemos en este lugar el amplio rosario de anécdotas al respecto, más o menos dramáticas, que todos los veranos ocupan lugares de portada en los diferentes medios de comunicación.

9.7 Algunas posiciones críticas

A la vista de todo lo que hemos venido exponiendo en este libro, es lícito que nos preguntemos si los muy diferentes y serios problemas medioambientales y sociales a los que se enfrenta la humanidad tienen solución en el marco del sistema económico vigente en la actualidad. De hecho, dada la estrecha relación existente entre **desarrollo y medio ambiente** (sobre la que tanto hemos insistido), tampoco estaría de más que nos cuestionáramos acerca de la esencia de lo que solemos entender por desarrollo. Y, a partir de aquí, tal vez cabría preguntarnos también si la humanidad debería seguir desarrollándose en el sentido que los economistas más tradicionales han estado proponiendo siempre.

Este tipo de planteamientos no debería sorprendernos excesivamente. En realidad, cualquier observador atento ha podido advertir que el centro de gravedad de la cuestión medioambiental se ha des-

plazado en tiempos recientes desde las instituciones especializadas en la conservación del medio natural, a las que en un principio se circunscribió, hacia otras relacionadas con la gestión económica, en la línea trazada por instituciones tales como la OCDE o el Banco Mundial, entre otras. De forma análoga, los planteamientos éticos o estéticos que impregnaron durante muchos años el discurso estrictamente conservacionista, han ido derivando hacia el pragmatismo más generalizado de la pura argumentación económica.

Un síntoma sumamente claro de este desplazamiento de los enfoques sobre el tema del medio ambiente es el cambio observado entre el tono de denuncia que caracterizó, a principios de los años setenta, la Conferencia de Estocolmo sobre el Medio Ambiente Humano o los Informes del Club de Roma sobre los límites del crecimiento (que desataron un rechazo rotundo por parte de muchos economistas) y ese otro, mucho más conciliador, que caracterizó, en el inicio de los años noventa, al Informe Brundtland y a la Conferencia de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo. En el curso de tan sólo veinte años, se pasó de mostrar la imposibilidad física del crecimiento a sugerir la conveniencia de hacer físicamente sostenible el desarrollo, acuñando así el propósito del "desarrollo sostenible", un concepto asumido hoy en día de forma prácticamente generalizada en todos los informes de los organismos internacionales con competencias económicas.

Sin embargo, el afán de hacer del medio ambiente y de la sostenibilidad o viabilidad física de los sistemas de nuestro planeta un objeto explícito de reflexión económica, ha llevado a muchos economistas a reflexionar y a polemizar sobre el contenido de todas estas cuestiones. La avalancha de literatura sobre el tema y la diversidad de puntos de vista observados permiten presentar este tema como uno de los motivos más vivos y palpitantes del pensamiento económico actual. Tras el declive de la tradicional polémica entre socialismo y liberalismo, o entre planificación y mercado, el medio ambiente ha sido el tema estrella de las publicaciones sobre economía a lo largo de estos últimos años.

En opinión de no pocos expertos, cualquier propósito de hacer sostenible el desarrollo o de compatibilizarlo con la conservación del medio ambiente, no es en el fondo más que una posición de compromiso que, en las condiciones actuales, difícilmente puede ir mucho más allá de un enunciado de buenas intenciones.

A pesar de la **gravedad de los problemas planetarios**, diagnosticados de forma básicamente correcta en el ya mencionado Informe Brundtland, entre los que se incluye explícitamente el efecto invernadero, la acidificación del medio ambiente, la acumulación de residuos tóxicos, la desertización, la deforestación, la pérdida de suelos cultivables, o la extinción de numerosas especies animales y vegetales, el efecto final de los planteamientos de sostenibilidad resulta balsámico para acallar la conciencia de los países o personas más favorecidos de nuestro planeta, que no pueden dejar de llegar a la conclusión de que tiene que continuar el crecimiento económico en todo el planeta. Para hacer frente a la actual crisis, sólo se propone en el fondo más de lo mismo. Un buen ejemplo de lo que estamos afirmando fue la respuesta oficial del gobierno británico a la publicación del Informe Brundtland, cuando hizo público un documento totalmente a favor del desarrollo sostenible y afirmando a renglón seguido (sin sonrojarse lo más mínimo) que exactamente eso era lo que estaba llevando a cabo el tatcherismo en aquel país.

¿Qué es lo verdaderamente problemático en la apuesta por el crecimiento sin más especificaciones? Al menos dos cosas distintas. En primer lugar, el crecimiento económico *per se*, en el marco definido por las actuales estructuras nacionales e internacionales, no alivia la gran pobreza que sigue acentuándose en buena parte del mundo en desarrollo, sino que por el contrario continúa ensanchando la enorme brecha que separa a las naciones ricas de las pobres. La falacia del "hace falta crecer para repartir" no es más que eso, una falacia que los poderosos propagan en su propio interés, evitando que el conflicto político se centre en las cuestiones de equidad, justicia y redistribución de la riqueza.

Cuando tomamos en consideración, por ejemplo, la evolución del ingreso medio *per capita* de la población mundial, durante el pe-

riodo comprendido entre los años 1950 y 1990, se observa que esta magnitud se duplicó prácticamente en términos reales, hasta alcanzar los 3.300 dólares anuales por persona. Pero este crecimiento se distribuyó de forma claramente desigual. Mientras que los países más ricos prácticamente triplicaron su ingreso *per capita* en dicho periodo, en los más pobres dicho ingreso apenas se modificó. En términos más comprensibles, los ricos se hicieron tres veces más ricos, pero los pobres continuaron sumidos en su miseria original.

Desde nuestro afortunado observatorio, mientras muchas de las personas que nos rodean están instaladas en la abundancia, resulta aterrador saber que en la actualidad existen, en cifras absolutas, más personas en absoluta pobreza y más personas pasando hambre que en ningún otro momento de la historia de la humanidad. Más de 1.300 millones de personas se encuentran en ese caso.

A la vista de esta situación, parece evidente que para llegar a un mundo donde las **necesidades básicas** de todos se sean satisfechas equitativamente, el énfasis tendría que ponerse mucho más en la redistribución que en el crecimiento. Dadas las actuales tasas de crecimiento demográfico, cuando la población de la Tierra se estabilice (tal vez a mediados del presente siglo XXI), se precisará un aumento de las manufacturas en un factor de cinco o diez para elevar el nivel de bienestar y consumo de los actuales países en desarrollo a la altura de los más industrializados. A la vista de todas estas consideraciones, ¿alguien puede creer sensatamente que esa inimaginable expansión de la producción mundial puede resultar ecológicamente sostenible?

Algunos especialistas no sólo repiten, una y otra vez, que el crecimiento económico indefinido dentro de una biosfera finita no es posible, sino que afirman que hemos sobrepasado ya los límites del crecimiento. Globalmente, lo que el mundo necesita es **desarrollo sin crecimiento** (cuantitativo) y, en última instancia, ésta debería ser la única definición válida de desarrollo sostenible que no traicionara el contenido radical de este concepto.

Y todavía podríamos decir algo más. Los términos "desarrollo" tal y como se define habitualmente y "desarrollo sostenible" no son

conceptos emparentados, sino absolutamente antagónicos. En consecuencia, algunos autores opinan que será necesario, probablemente, afrontar una lucha por la interpretación correcta del concepto de **desarrollo sostenible**. En particular, deberíamos tener muy claro que cuando se habla de desarrollo sostenible, no se trata de salvaguardar la idea convencional de desarrollo (es decir, el modelo de desarrollo preconizado en los últimos decenios por las fuerzas productivistas de los países industrializados, en el que el término desarrollo se suele considerar como sinónimo de crecimiento), sino de hacer avanzar los aspectos más positivos de la noción de sostenibilidad desde un punto de vista verdaderamente progresista.

10. MEDIO AMBIENTE Y SOCIEDAD

10.1. Introducción

En los capítulos que anteceden hemos estudiado la relación existente entre medio ambiente y desarrollo. Esta relación es sumamente compleja, como hemos tenido ocasión de comprobar al ocuparnos de la contaminación atmosférica, la contaminación de las aguas, el problema de la energía, la ciudad como espacio ecológico o la contaminación acústica, entre otros temas. Fundamentalmente, lo que hemos hecho hasta este momento es proporcionar información básica sobre cada uno de estos aspectos. Los datos aportados son difícilmente rebatibles, dado que proceden siempre de fuentes contrastadas y fiables. En general, disponemos ya de una imagen clara y objetiva sobre la situación actual en relación con el tema que estamos estudiando.

En consecuencia, es muy importante que nos preguntemos ahora cuál es la **respuesta de la sociedad** sobre todas las cuestiones y problemas que hemos analizado anteriormente. La contestación a esta pregunta, en términos generales, no es nada fácil. Lo que sí está claro es que la sensibilidad de la sociedad (al menos, de amplias capas de ella, y sobre todo, de los sectores más jóvenes y preparados) en relación con el medio ambiente ha aumentado de forma muy notable en estos últimos años (aquí se podría hacer una alusión específica al caso de España). No podemos olvidar tampoco que, con el tiempo, en todos los países desarrollados sin excepción, han ido emergiendo y consolidándose un número más o menos grande de movimientos, asociaciones y grupos ecologistas, con características, objetivos y

planteamientos muy diferentes, que, sin duda alguna, han contribuido significativamente a concienciar a muchos ciudadanos sobre el medio ambiente y su importancia para la sociedad. Los medios de comunicación (televisión, prensa, radio) prestan hoy en día una atención a este tema que, hasta fecha relativamente reciente, hubiera parecido más que utópica. Nadie puede negar tampoco que las diferentes administraciones públicas, en todos sus niveles (internacional, estatal, regional o local), muestran en la actualidad un evidente interés hacia todas estas cuestiones, al margen de las críticas que puedan merecernos sus iniciativas en cada caso y situación concreta.

En principio, no resulta demasiado sorprendente que la respuesta de todos estos sectores, instituciones y agentes sociales muestren importantes diferencias en sus planteamientos, e incluso contradicciones, tanto ante temas generales como ante situaciones concretas. Todos tenemos muchos ejemplos en la mente sobre este hecho. En más de una ocasión hemos tenido ocasión de comprobar que ante una misma situación objetiva (las características y posible gravedad de tal o cual problema medioambiental de carácter local, regional o mundial) se llega con frecuencia a conclusiones muy diferentes por parte de los diferentes sectores sociales, y no digamos nada cuando se trata de proponer algunas medidas de actuación para resolver el problema en cuestión. Las diferencias pueden referirse tanto a aspectos de matiz como a cuestiones de fondo. Dichas diferencias tienen su origen en el amplio abanico de planteamientos políticos, económicos o sociales que caracterizan a las diferentes comunidades o individuos en particular.

En consecuencia, al tratar de presentar algunas **conclusiones generales** sobre el tema que nos ocupa, como cierre de nuestra exposición, nos ha parecido oportuno hacerlo de un modo tal que se pongan de manifiesto esas diferencias con toda su fuerza. Como es natural, es prácticamente imposible presentar ni siquiera un resumen de todas las opiniones que se han dado a conocer sobre estas o aquellas cuestiones en el transcurso del tiempo. Hemos considerado también que presentar solamente las oficiales, es decir, las que cuentan

en principio con un mayor respaldo institucional, equivaldría a dejar en el olvido otros puntos de vista al respecto, también interesantes y siempre respetables.

Desde esta perspectiva, vamos a exponer muy sucintamente a continuación algunos de estos planteamientos, cinco concretamente, sobre el tema del medio ambiente y la sociedad, presentados según un orden estrictamente cronológico. En nuestra selección se incluyen tanto aportaciones colectivas como individuales. Las tres primeras están fechadas en los años setenta y ochenta, cuando emergió con enorme fuerza la preocupación por el tema. En la cuarta se reproducen las conclusiones de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el medio ambiente, celebrada en Río de Janeiro en el año 1992. La última aportación, de carácter un tanto singular, corresponde ya a los albores del presente siglo XXI.

Consideramos que, aunque estos cinco documentos difieren notablemente en sus contenidos, todos presentan un gran interés y son dignos de ser dados a conocer como colofón de este libro. En el fondo, con nuestra reproducción de las líneas básicas de estas aportaciones, hemos pretendido simplemente proporcionar nuevos elementos de reflexión sobre el tema que hemos estudiado en este curso y, sobre todo, estimular el correspondiente debate sobre sus principales aspectos en la actualidad y su previsible evolución en el futuro.

10.2. Los límites del crecimiento

En Abril de 1968, un grupo de treinta personas procedentes de diez países diferentes de todo el mundo (científicos, educadores, economistas, humanistas, directivos de la industria y funcionarios civiles nacionales e internacionales) se reunió en Roma para discutir el presente y el futuro de la humanidad. Esta reunión constituyó el germen del llamado **Club de Roma**, una asociación internacional de carácter informal cuyo objetivo básico era tratar de conocer mejor los diversos elementos de tipo natural, económico, político y social que configuran el sistema global en el que estamos viviendo actualmente.

Tras su consolidación y crecimiento, el Club de Roma tomó la decisión de iniciar un ambicioso proyecto para estudiar los **problemas de la humanidad**. Los contenidos de este gran proyecto se concretaron en una serie de reuniones que tuvieron lugar durante el verano de 1970 en Berna (Suiza) y Cambridge (Estados Unidos). En esta última reunión, el profesor Jay Forrester, del Massachusetts Institute of Technology (MIT) presentó un modelo global que permitía identificar los muchos componentes específicos de estos problemas y sugería una técnica para analizar su comportamiento y las relaciones existentes entre ellos. En tal sentido, se tomaron en consideración cuestiones tales como el análisis de la pobreza en el marco de la abundancia, la degradación del medio ambiente, la pérdida de fe en las instituciones, el crecimiento incontrolado de las ciudades, la inseguridad en el empleo, la alienación de la juventud, el rechazo de los valores tradicionales, y la inflación y otros problemas monetarios y económicos.

La primera fase de este ambicioso proyecto, llevada a cabo por un equipo de diecisiete especialistas internacionales, bajo la dirección del profesor Denis Meadow (Estados Unidos), consistió fundamentalmente en el análisis de los cinco factores que, en opinión de tales expertos, determinan el crecimiento del planeta: la población, la producción agrícola, los recursos naturales, la producción industrial y la contaminación ambiental. Los resultados de este importante trabajo, recogidos en un documento titulado *The limits to growth*, fueron presentados ante el Club de Roma en 1972. En este apartado vamos a exponer algunos de los contenidos más importantes de este documento histórico.

El estudio que estamos comentando empieza recordando que, en 1650, la **población mundial** era del orden de 500 millones de personas y crecía a un ritmo del 0’3% cada año. Esta tasa de crecimiento supone que la población mundial se duplicaba cada 250 años aproximadamente. En 1970, dicha población era del orden de 3.600 millones, con una tasa de crecimiento del 2’1%, lo cual equivale a decir que dicha población se duplicaría cada 33 años. Más o menos,

la situación existente en la actualidad corrobora plenamente estas expectativas.

Como ya sabemos, estas cifras están condicionadas fundamentalmente por dos factores, uno positivo y otro negativo (fertilidad y mortalidad). En la actualidad, a nivel mundial, el saldo neto de estos dos factores es francamente positivo.

Una segunda magnitud que ha estado creciendo en el mundo durante el siglo pasado, y todavía más deprisa de lo que lo ha hecho la población humana, es la **producción industrial**. Durante el período 1963/1968 dicho crecimiento fue del 7% cada año, lo cual supone un crecimiento del 5% anual per capita.

El hecho de que la producción industrial en esa época fuera creciendo al ritmo del 7% anual en tanto que la población lo hiciera tan sólo a razón del 2% anual (datos a nivel mundial) puede parecer, en principio, profundamente positivo. Por ejemplo, una simple extrapolación de estos datos nos permitiría afirmar que el nivel de vida de la población mundial se duplicaría cada 14 años. Sin embargo, esta conclusión es radicalmente falsa, dado que los beneficios derivados de dicho crecimiento económico no se distribuyen por igual entre todos los habitantes de nuestro planeta. De hecho, a lo largo de buena parte del siglo XX, el crecimiento de países tales como Estados Unidos, Suecia, Francia, Reino Unido, Alemania o Japón ha sido espectacular, con una tendencia claramente exponencial. en tanto que en otros casos (la mayoría de los países de Asia, África o Latinoamérica), la situación ha sido completamente diferente.

Al contemplar estos hechos, en el año 1972, los expertos del Club de Roma se preguntaron qué sería necesario para sostener el crecimiento económico y de población en el mundo hasta el año 2000 e incluso más allá de esa fecha.

La lista de los ingredientes es muy amplia, aunque éstos se pueden dividir en dos categorías principales. La primera categoría se refiere a las **necesidades físicas** que son la base de la actividad fisiológica e industrial de toda la sociedad (alimentos, materias primas, combustibles fósiles y nucleares, así como sistemas ecológicos

del planeta capaces de absorber o reciclar los residuos producidos). Todos estos ingredientes son tangibles, e incluyen elementos tales como tierra cultivable, agua fresca, metales, bosques y océanos.

La segunda categoría de ingredientes necesarios para el crecimiento se refiere a las **necesidades sociales** de la población mundial. Incluso en el caso de que los sistemas físicos de nuestro planeta fueran capaces de soportar una población mucho mayor y desarrollada que la actual, tal crecimiento dependería de factores tales como la estabilidad social, la educación, el empleo y el progreso tecnológico. Estos factores son mucho más difíciles de evaluar y predecir.

Suponiendo incluso que se alcanzaran las mejores expectativas posibles en relación con todos estos factores sociales, podríamos preguntarnos cuál sería el **límite máximo de crecimiento** que nuestro sistema físico es capaz de soportar. En opinión de los autores del trabajo que ahora estamos comentando, ésta es la pregunta clave de la cuestión que estamos contemplando.

En su contestación, los expertos consideran muchos aspectos diferentes de esta cuestión. Por ejemplo, está claro que el recurso primario más importante para la producción de alimentos es la **tierra cultivable**. Sobre esta cuestión, algunos estudios recientes indican que, como mucho, en el planeta Tierra hay unos 3.000 millones de hectáreas de tierra potencialmente cultivable. Aproximadamente, la mitad de esta tierra (por supuesto, la más rica y accesible) ya está actualmente en explotación. La utilización de la restante exigiría inmensas inversiones de capital para hacerla accesible, limpiarla, irrigarla y abonarla antes de que estuviera preparada para producir alimentos. Incluso en el caso de que se realizaran tales inversiones, ¿a cuánta gente podrían alimentar los productos de estas tierras, en condiciones equiparables a las actuales? En respuesta a esta pregunta (teniendo en cuenta hechos tales como que un tercio de la actual población mundial está mal alimentada) el informe concluyó que, a finales del siglo XX, se produciría una evidente escasez de tierra cultivable en el mundo.

En principio, las **innovaciones tecnológicas** podrían extender, en el futuro, los límites previstos actualmente para la producción de alimentos (fabricación de alimentos sintéticos) o para el suministro de agua potable (mediante desalinización del agua del mar). Sin embargo, no podemos olvidar que las tecnologías con coste cero simplemente no existen en la realidad. Las industrias y materias primas para producir comida sintética, así como las instalaciones y la energía capaces de purificar el agua del mar deben proceder de nuestro mundo físico, en buena parte de fuentes no renovables.

La lista de **recursos no renovables**, materias primas vitales para nuestra civilización y muchos procesos industriales modernos, es muy extensa. En esta relación se incluyen no sólo el carbón, el petróleo y el gas natural, sino también elementos tan importantes como el aluminio, cromo, cobalto, cobre, hierro, plomo, manganeso, mercurio, níquel, estaño, plata, wolframio o zinc. Los expertos del Club de Roma calcularon que, a los ritmos de consumo actuales, algunos de estos productos vitales sólo durarán unas pocas décadas. El argumento de que estas predicciones puedan resultar excesivamente pesimistas, no resta gravedad al hecho fundamental que estamos discutiendo: no importa tanto el hecho de que las cantidades existentes de muchos de estos recursos sean más o menos grandes, sino la constatación (indiscutible) de que esas cantidades no son infinitas.

En consecuencia, la pregunta clave sobre el tema es ¿existen suficientes **recursos** en la Tierra como para atender las necesidades de una población del orden de 7.000 millones de habitantes (a principios del siglo XXI) con un nivel de vida razonable? Una vez más, la respuesta es condicional. Depende de la forma en que las principales sociedades consumidoras de estos recursos limitados gestionen el consumo de tales recursos. Existen diferentes opciones al respecto. La primera de ellas es mantener las pautas de consumo actuales, es decir, seguir actuando como si el problema no existiera; en tal caso, el futuro es muy negro. Otra opción se podría basar en el reciclaje de algunos de estos materiales (hay que señalar que en otros casos ese reciclaje es sencillamente imposible). Otra posibilidad podría

consistir en desarrollar nuevos diseños o tecnologías que aumentaran la duración de los productos fabricados con estos recursos. Una propuesta sumamente interesante en este sentido podría consistir en desarrollar nuevas formas de vida y nuevos hábitos sociales en la población, basados en una reducción y no en un aumento de las actuales pautas de consumo.

La **contaminación** es otro elemento importante de este panorama general. En el estudio que estamos comentando se subraya con toda claridad el hecho de que la cuantía de casi todos los productos contaminantes ha ido aumentando en la Tierra de forma exponencial en el curso de los últimos tiempos. Algunos de estos contaminantes están relacionados directamente con el aumento de la población, en tanto que otros tienen su origen en el desarrollo, es decir, en los procesos industriales y en el uso de las nuevas tecnologías. En particular, el consumo de enormes cantidades de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) es una fuente de contaminación ambiental muy importante en todo el mundo, sobre todo en los países más desarrollados. Aunque las tasas de crecimiento de los productos contaminantes varían mucho de unos a otros, la mayoría de ellos han experimentado un aumento superior al de la población mundial.

Desgraciadamente, los límites de la capacidad de la Tierra para absorber estos productos contaminantes no se conocen suficientemente bien. El peligro de alcanzar tales límites es especialmente elevado dado que, en muchos casos, existe un cierto retraso (que puede ser grande) entre el momento en que se produce el vertido de un contaminante dado y el momento en que se ponen de manifiesto los correspondientes efectos negativos en el ecosistema. La utilización del DDT como insecticida durante muchos años ilustra perfectamente esta cuestión. La larga vida de un buen número de productos contaminantes, como el plomo, el mercurio, el cadmio, algunos pesticidas y los residuos radiactivos producidos por las centrales nucleares, constituye un motivo adicional de preocupación en este sentido.

Aunque no exento de críticas (producidas tanto cuando fue dado a conocer como con posterioridad), muchas de las **conclusiones**

generales del estudio que estamos reseñando ahora, basadas en la aplicación de modelos de predicción muy elaborados, y referidas a los aspectos básicos del problema (población mundial, producción agrícola, recursos naturales, producción industrial y contaminación ambiental) son compartidas hoy por muchos expertos de todo el mundo. Tal vez muchos muestren su desacuerdo con la afirmación de que el aumento de la población mundial y el desarrollo deberían detenerse con carácter inmediato. Sin embargo, virtualmente nadie defiende la idea de que el crecimiento material de este planeta puede continuar indefinidamente.

10.3. Por una sociedad ecológica

En este apartado vamos presentar un breve resumen de algunas de las ideas expuestas en el libro que, con este mismo título, fue publicado en España a finales de los años setenta. Su autor es **Murray Bookchin**, del Institute for Social Ecology, de Plainfeld, Vermont, Estados Unidos. Los planteamientos y puntos de vista de este experto, claramente radicales en el fondo, se sitúan en el ámbito de lo que podríamos llamar "ecologismo libertario".

Según Bookchin, en el mundo actual, carece de sentido hablar de "ecología natural" sin tener en cuenta la circunstancia de que la naturaleza y la sociedad humana se hallan fundidas en una "naturaleza humanizada". Para bien o para mal, no hay ecología que no refleje en mayor o menor medida la influencia del hombre sobre el medio. Si el objetivo de la llamada **ecología social** (en la medida en que ésta conserve su capacidad de crítica radical) consiste básicamente en armonizar la relación de la humanidad con la naturaleza, sólo logrará dicho objetivo si armoniza al mismo tiempo la relación del hombre con el hombre, es decir, si apunta hacia el establecimiento de lo que podríamos denominar una "sociedad ecológica". Esta sociedad estaría basada en una ecotecnología de la postescasez, unas ecocomunidades descentralizadas y una estructura social que excluya por completo las clases y la explotación. Esta sociedad ecológica supondría el fin de la jerarquía y de la dominación en todas sus formas.

Para comprender adecuadamente estas ideas, nos parece interesante reflexionar un tanto sobre el tema de la **escasez**. Por lo general, vivimos inmersos en el presente de forma tan absoluta que a menudo ignoramos lo mucho o poco que nuestro propio tiempo difiere de los anteriores. Y, sin embargo, el mundo está cambiando hoy en día mucho más de lo que la mayoría de nosotros pensamos. Hasta fechas recientes, la sociedad humana se ha desarrollado en torno a los graves problemas planteados por una insuperable escasez de carácter material. Las grandes variaciones históricas que destruyeron a muchas de las civilizaciones de la antigüedad, enfrentando al hombre consigo mismo y contra la naturaleza, tuvieron su origen en los problemas de la supervivencia, problemas referidos, muy frecuentemente, al simple mantenimiento de la existencia humana. La escasez material brindó la justificación histórica para el desarrollo de la familia patriarcal, la propiedad privada, la dominación de clases y el Estado.

No tiene mucho sentido preguntarse ahora si este largo y tortuoso camino pudo haber seguido un curso distinto. De todos modos, nuestra posición dentro del drama histórico difiere sustancialmente de la que vivieron nuestros antepasados. Es en el siglo XX cuando, finalmente, la humanidad abre las puertas de un futuro de **abundancia** al alcance de todas las personas. Hemos descubierto recursos que hace solamente un par de generaciones eran completamente desconocidos. Hemos concebido máquinas que fabrican otras máquinas de forma automática. Hemos perfeccionado dispositivos que pueden realizar operaciones y cálculos con mayor rapidez y precisión que las más privilegiadas mentes humanas, así como ejecutar pesadas tareas con mayor eficiencia que los músculos humanos más fuertes y resistentes. Para abreviar, por primera vez en la historia de la humanidad estamos en el umbral de una sociedad en la cual la escasez puede ser abolida.

Hay que subrayar el significado de la palabra "umbral" que acabamos de utilizar, dado que la sociedad actual no ha asumido en todo su valor el potencial de la ciencia y la tecnología, en el sentido

de suprimir radicalmente la escasez que ha caracterizado a los tiempos pasados. Los privilegios materiales que definen al capitalismo moderno, así como su escandaloso despilfarro de recursos, no se corresponden en absoluto con el contenido racional, humanístico y realmente desalienado que cabría esperar en una sociedad de postescasez. La expresión postescasez implica, más que una mera abundancia de medios, el tipo de vida posibilitada por esos medios. Las relaciones humanas en una sociedad que haya rebasado la escasez deben reflejar plenamente la libertad, la seguridad y la expresión personal que hace posible la abundancia.

Al desarrollar todas estas ideas, Bookchin llega a la conclusión de que todo intento de resolver la **crisis ambiental** dentro del marco sociopolítico imperante en nuestra sociedad actual ha de rechazarse de plano, por quimérico. En particular, este autor afirma que el sistema capitalista es intrínsecamente antiecológico. La competencia y la acumulación constituyen sus leyes vitales esenciales. En una sociedad de este tipo, la naturaleza recibe el trato que corresponde a un mero recurso, susceptible de ser explotado y saqueado sin límites.

Desde los tiempos de la Revolución Industrial, las actitudes populares con respecto a la tecnología no han fluctuado tanto como en las últimas décadas. Por ejemplo, durante la mayor parte de los años veinte del pasado siglo, y aún bien entrados los años treinta, la opinión pública de los países más desarrollados aplaudió con entusiasmo el advenimiento de las **innovaciones tecnológicas**, identificando el bienestar global de la humanidad con los progresos industriales que caracterizaban a los nuevos tiempos. Mucha gente creyó ver una relación directa, automática, entre el progreso tecnológico y el social. La actitud esquizoide del público hacia los avances técnicos (una actitud que mezclaba el temor con la esperanza) no puede ser soslayada con ligereza. De hecho, esta actitud expresa una verdad intuitiva: la misma tecnología que era capaz de liberar a las personas en la sociedad organizada en torno a la satisfacción de las necesidades humanas, podía tender a destruirlas en el contexto de una sociedad basada en el lema de la producción por la producción misma.

En los tiempos actuales, el desarrollo tecnológico y el crecimiento de las ciudades han llevado a la alienación del hombre con respecto a la naturaleza a su punto más crítico. Una buena parte de la humanidad se encuentra confinada hoy en un entorno urbano casi totalmente sintético, físicamente distanciado de la tierra. No está familiarizado con la forma en que se producen la mayoría de sus bienes y muchos de sus alimentos guardan escaso parecido con los animales y plantas de los que derivan. Es un consumidor puro. Tal vez sería injusto decir que no tiene respeto por el medio natural. El hecho es que sabe más bien poco sobre lo que significa la ecología o sobre la conservación del equilibrio de su entorno natural.

Es necesario restaurar el **equilibrio entre el hombre y la naturaleza**. En caso contrario, la misma existencia de la especie humana estará en grave peligro. Ahora bien, esa restauración de la relación del hombre con la naturaleza ha de realizarse de forma adecuada. Por ejemplo, cualquier intento de recuperar las ideas de los utopistas clásicos, intentando suprimir la contradicción entre la ciudad y el campo, y aconsejando a los habitantes de las ciudades que volvieran a disfrutar de las tareas propias del campo, sería tan imposible como indeseable.

Como paradigma de estos planteamientos, vamos a exponer algunas de las opiniones de este autor referidas específicamente al tema de la **agricultura**. Las posibles iniciativas a tomar en este sentido deberían esforzarse por mantener la eficiencia de las explotaciones agrarias y no renunciar a una utilización racional de los avances tecnológicos. En este sentido, no deberíamos olvidar, por ejemplo, que los progresos tecnológicos experimentados por la agricultura tras la Segunda Guerra Mundial son tan aplicables a las formas ecológicas de actividad agrícola a pequeña escala como a las unidades de explotación inmensas, de tipo industrial, que han predominado en estas últimas décadas en muchas zonas del planeta. El objetivo general es conseguir que la comunidad administre las tierras de acuerdo con los principios ecológicos, de modo tal que se mantenga el equilibrio entre el medio ambiente y el desarrollo humano. Ello supone la ne-

cesidad de contemplar de forma adecuada los recursos de agua y aire, la naturaleza, el suelo, el clima, las materias primas, la flora y la fauna natural.

Las comunidades del futuro podrían desarrollar una agricultura altamente mecanizada, pero también dispondrían de la mayor variedad posible en materia de cosechas, animales y maderas. La diversificación de la fauna y la flora permitiría controlar las plagas (sin necesidad de utilizar pesticidas) y embellecer el territorio. Sólo se debería practicar la agricultura en gran escala allí donde no entrara en conflicto con la ecología de la zona. Sería necesario estudiar cada palmo de terreno y destinarlo a aquellos cultivos que fueran más favorables. En las zonas montañosas o pedregosas, las abruptas pendientes se deberían cubrir de árboles para evitar la erosión y mantener la humedad del suelo.

En particular, la mejora genética de las plantas alimenticias no tiene por qué ser excluida radicalmente, dado que muchas de las variedades vegetales que se pueden obtener con estas técnicas son resistentes a los insectos depredadores, a las enfermedades de las plantas y a las condiciones climatológicas adversas. En ocasiones, estas nuevas variedades ofrecen muchas ventajas sobre las especies naturales ancestrales y han permitido incorporar grandes superficies de tierra antes inservible a la superficie total cultivada.

Como no podía ser de otra forma, en relación con **el tema de la energía**, las ideas de Bookchin se decantan claramente hacia las energías alternativas. En particular, este autor nos recuerda que, en nuestro planeta, no existe realmente un problema de escasez de energía, sino que todavía estamos aprendiendo a utilizar algunas fuentes cuya disponibilidad es casi ilimitada. Desde esta perspectiva, la opción más atractiva es la energía solar. Si fuéramos capaces de almacenar energía solar para alimentar totalmente (o casi totalmente) los servicios de agua caliente, fundiciones y energía eléctrica, nuestras necesidades de combustibles fósiles serían relativamente pequeñas. Hoy en día podemos cocinar, hervir agua, fundir metales, producir electricidad y calentar casas con dispositivos basados exclusivamente

en la energía solar, aunque su eficiencia no es la misma en todas las latitudes terrestres y existen todavía muchos problemas técnicos en este campo que sólo se podrán resolver tras intensos programas de investigación.

Las mareas oceánicas, las diferencias de temperatura existentes en el mar o en la tierra o la energía de los vientos son otras alternativas a considerar en la resolución de la crisis energética. Por otra parte, todas estas opciones encierran también otro aspecto muy importante. Si el sol, el viento, la tierra y los mares (en una palabra, el mundo de la vida) se incorporaran a la tecnología, los lazos que unen al hombre con su entorno experimentarían un cambio muy profundo. Las comunidades humanas tomarían así conciencia directa de su dependencia con la naturaleza, y no a un nivel generalizado, sino en su entorno más inmediato. Emergería de este modo un sistema ecológico real, soportado por un delicado entramado de recursos locales, en el que tendría cabida el uso de la tecnología al servicio de la vida y del bienestar de toda la sociedad.

En gran medida, la lucha que desarrollan actualmente los **movimientos ecologistas** no es más que una acción retardada contra el desenfreno destructivo del medio ambiente. Sin embargo, algunos de los sectores más lúcidos de estos movimientos se sitúan en una perspectiva creadora y se proponen revolucionar totalmente las relaciones entre la humanidad y la naturaleza.

Cualquier esfuerzo realizado para preservar la pureza del aire y del agua, limitar el uso de pesticidas y de aditivos alimenticios, reducir la circulación rodada en zonas urbanas y carreteras, mejorar las condiciones sanitarias en las ciudades, impedir la producción de residuos radiactivos, mantener y extender las reservas naturales o defender las especies animales contra las depredaciones humanas, entre otros muchos temas, serán siempre bienvenidos.

Ahora bien, hay que tener siempre presente que estas acciones-freno no constituyen en absoluto la solución del conflicto fundamental que opone el actual orden social al mundo natural. Todas estas acciones frenan, pero no detienen, el impulso que empuja a esta sociedad



Figura 26.- Imagen de la explosión de la bomba lanzada sobre Hiroshima el 6 de Agosto de 1945, durante la II Guerra Mundial. Esta explosión produjo la muerte instantánea de unas 70.000 personas y causó muchos miles de heridos más, parte de los cuales fallecieron posteriormente.

por el camino de su autodestrucción. También en esta cuestión, las ideas de Bookchin son claramente revolucionarias: mientras los movimientos ecologistas no se fijen como principal objetivo de su actividad la revolución en todos los aspectos de la vida (social y natural, política y personal, económica y cultural), no tardarán en quedar reducidos a una simple válvula de seguridad del orden establecido.

Las **conclusiones generales** a las que llega Bookchin en sus trabajos se concretan en la necesidad de destruir el sistema imperante en la actualidad y sustituirlo por una sociedad que restablezca el equilibrio entre el mundo humano y el mundo natural, una sociedad

ecológica que empiece por quitar la venda de la ojos de la Justicia y sustituya la desigualdad entre iguales por la igualdad entre desiguales. Este autor predice que, a fuerza de devorar la biosfera, el sistema social actual reducirá la totalidad de la biosfera a la precaria simplicidad de los desiertos y regiones polares. Estamos recorriendo, aunque al revés, el curso de la evolución orgánica que diferenció la flora y la fauna en una abundancia cada vez más compleja de formas y relaciones, y vamos a crear un mundo vivo simplificado y menos estable. Las consecuencias a largo plazo de esta espantosa regresión son muy fáciles de prever: la biosfera, cada vez más frágil, acabará hundiéndose, desde el punto de vista de las necesidades de supervivencia humana, y provocará finalmente la desaparición del hombre sobre la Tierra.

10.4. El global posible

En Mayo de 1984, setenta y cinco líderes de la ciencia, gobierno, industria y grupos sociales de veinte países diferentes se reunieron cerca de Washington (Estados Unidos) para participar en una Conferencia internacional con el título de "El global posible: recursos, desarrollo y el nuevo siglo".

El objetivo general de esta Conferencia consistió en estudiar y, en su caso, contestar a la siguiente pregunta: ¿Puede el mundo invertir el actual deterioro de recursos y del medio ambiente, y, al mismo tiempo, promover una mejor calidad de vida para todos y conseguir una mejora importante en el nivel de vida de las personas más desfavorecidas del planeta?

Tras meses de preparación y días de intensas discusiones, la Conferencia emitió un comunicado de suma importancia y urgencia. Significativamente, en este contexto se llegó a una conclusión que no había sido demasiado escuchada en las alturas antes de que tuviera lugar dicha Conferencia, en la que se afirmaba que "aunque los retos que plantean los problemas de los recursos y del medio ambiente son graves, estos problemas pueden ser abordados con medios a nuestro alcance, en una forma tal que además permita plantear otros

objetivos críticos, entre los que se incluye el crecimiento económico y el progreso sostenido hacia una sociedad libre de pobreza".

Vamos a presentar a continuación algunos de los contenidos de lo que se denominó "Agenda para la acción", un documento elaborado por los diferentes grupos de trabajo de la citada Conferencia, y dirigida a gobiernos, organismos internacionales, comunidades económicas y científicas, y ciudadanos. Hay que señalar que la siguiente relación no es en absoluto exhaustiva.

En tanto que muchos países desarrollados han experimentado en tiempos recientes importantes descensos en sus tasas de fertilidad y mortalidad, en los **países subdesarrollados**, donde la mayoría de sus habitantes vive todavía en condiciones de pobreza, se están produciendo incrementos muy acusados en su población. Esta situación supone un aumento considerable de la presión sobre los recursos naturales y el medio ambiente en toda la biosfera y agrava los problemas que se plantean para alcanzar una sociedad libre de pobreza. Se ha estimado que tal vez un cuarto de la humanidad vive actualmente en condiciones denominadas de "absoluta pobreza", una situación caracterizada por la desnutrición, mala salud, carencia de recursos y cortas expectativas de vida.

En este sentido, es necesario desarrollar políticas activas en tres aspectos diferentes: acciones para reducir la pobreza, acciones para mejorar la situación y el empleo de las mujeres, y acciones para reducir las actuales tasas de fertilidad y mortalidad. Se considera que, con esfuerzos serios en estas tres direcciones, debería ser posible estabilizar la población mundial en unos 8.000 millones de personas hacia mediados del siglo XXI.

Los expertos consideran necesario reducir las tasas de inmigración hacia las **grandes ciudades**. Este objetivo se puede alcanzar mediante políticas que descentralicen las industrias y proporcionen oportunidades de empleo en el medio rural. Sería necesario también mejorar las condiciones de vida de los medios rurales proporcionando los servicios básicos adecuados en materia de salud, educación y otros servicios.

Ante la existencia de muchas zonas, regiones o incluso naciones, que están atravesando actualmente (o pronto lo harán) serios problemas de suministro de **agua no contaminada**, los expertos recomiendan diferentes acciones, tales como la búsqueda de nuevos recursos hídricos, las mejoras en la eficiencia del consumo de agua utilizada en los regadíos, el desarrollo de sistemas de almacenamiento eficaces que permitan afrontar con éxito las carencias de las épocas de escasez, o el control en la utilización abusiva de fertilizantes y pesticidas (dado que, como es sabido, éstos afectan a las aguas superficiales y subterráneas).

Una de las secciones de la Agenda que estamos comentando aquí estuvo dedicado al tema de la **diversidad biológica**, reconociendo su importancia para el adecuado funcionamiento de los sistemas naturales, la mejora de la agricultura y la ganadería, el desarrollo de nuevos productos farmacéuticos y otros productos útiles, o simplemente, los motivos científicos o estéticos. En este sentido, se hace necesario



Figura 27.- El importante puerto pesquero de la ciudad de Madras, en la India. La flota pesquera mundial está formada por unos 4 millones de embarcaciones de todo tipo, la mayoría de las cuales se encuentran en Asia. La sobreexplotación pesquera amenaza seriamente las formas de vida y la supervivencia de millones de personas en todo el planeta.

impulsar las acciones, no sólo a escala nacional, sino también en el marco de la más amplia colaboración internacional. Los esfuerzos a realizar en tal sentido deberían cubrir aspectos económicos, legislativos y de formación.

En contraste con la situación de relativa estabilidad que caracteriza a los **bosques** de los países desarrollados, las masas forestales de los países menos desarrollados se han reducido a la mitad durante el siglo XX. Su extensión se está reduciendo a razón de unos 10 millones de hectáreas por año, sobre todo, como consecuencia de la colonización de la tierra (agricultura). En la actualidad, una proporción significativa de los recursos genéticos únicos que albergan los bosques tropicales (considerados como los sistemas con mayor diversidad biológica de la Tierra) se está perdiendo de forma irreversible.

En la Agenda se proponen diversas medidas para detener o incluso invertir este grave proceso de deterioro. Dada la trascendencia global de este problema, se cree que las iniciativas a tomar no de-



Figura 28.- Imagen de una depuradora de aguas urbanas. En cualquier gran ciudad del mundo (sobre todo en los países desarrollados) se producen enormes cantidades de aguas residuales fuertemente contaminadas. La depuración y eventual reutilización de esta agua es una cuestión de enorme importancia para toda la comunidad.

berían quedar solamente en manos de los países más directamente implicados. De hecho, el verdadero liderazgo en tales acciones debería corresponder a los países industrializados.

El **medio ambiente marino** desempeña un papel muy importante en los ciclos físicos, químicos y biológicos de los que depende la vida en nuestro planeta. Hasta fecha relativamente reciente, se creía que la maravillosa capacidad de regeneración de los ecosistemas marinos les hacía posible cuidar de sí mismos. Hoy en día está claro que esta capacidad se ha superado en muchas zonas de nuestros mares, especialmente en las costeras.

Con el fin de preservar y mejorar los recursos marinos, los gobiernos y las organizaciones pesqueras regionales o internacionales, así como otros agentes sociales implicados, deberían esforzarse en regular aspectos tan importantes como las tasas de captura de pesca, el tamaño de las flotas pesqueras, o las características de los sistemas de captura utilizados (mallas de las redes, etc.). La necesidad de desarrollar programas de pesca en los países menos desarrollados está explícitamente recomendada por todos los expertos. En un sentido diferente, se subraya también la importancia de impulsar la acuicultura.

En el tema de la **energía**, los expertos se pronuncian a favor de aumentar la eficiencia de los sistemas de producción actualmente en uso. Como es natural, se dedica una atención destacada a la necesidad de desarrollar fuentes de energía renovables, especialmente la energía solar, la energía eólica, la energía hidráulica y la biomasa, eliminando los subsidios y otras ventajas de las que disfrutan hoy en día las fuentes de combustibles fósiles y nucleares. En la Agenda que estamos comentando, se insiste igualmente en la necesidad de controlar la contaminación ambiental originada por la producción de energía.

Finalmente, se reconoce que la investigación científica realizada en fechas recientes ha demostrado la posibilidad de que las actividades humanas produzcan cambios importantes en la **atmósfera** y en el **clima** de nuestro planeta. En este sentido, las mejoras en la

eficiencia en el uso de la energía, el desarrollo de fuentes de energía renovables, y la conservación de los bosques y reforestación producirán un impacto positivo indudable. La corrección del efecto invernadero y la protección de la capa de ozono, son dos cuestiones de la máxima importancia. Los acuerdos sobre estos temas deberían tomarse a escala internacional.

10.5. La Conferencia de Río

En su 43ª sesión (celebrada en el año 1989), la Asamblea General de las Naciones Unidas consideró que, tras transcurrir veinte años desde la Conferencia de Estocolmo sobre el Medio Humano, parecía necesario celebrar una segunda reunión de características similares a la primera. Esta segunda Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo tuvo lugar finalmente en Río de Janeiro en Junio de 1992. Esta importante Conferencia se planteó como meta mantener la calidad medioambiental de nuestro planeta y alcanzar un desarrollo sostenible en todos los países del mundo.

Las conclusiones más importantes de la Conferencia de Río se recogieron en la denominada **Carta de la Tierra** o declaración de los principios básicos que deberían regular el comportamiento de los Estados y de los pueblos en todos los aspectos concernientes al medio ambiente y el desarrollo, con el fin de asegurar la viabilidad e integridad futuras de nuestro planeta como un hábitat hospitalario para los seres humanos y otras formas de vida.

Dada la trascendencia de este documento, nos ha parecido interesante reproducir a continuación el texto de los 27 principios que lo integran.

1) Los seres humanos constituyen el centro de las preocupaciones relacionadas con el desarrollo sostenible. Tienen derecho a una vida saludable y productiva en armonía con la naturaleza.

2) De conformidad con la Carta de las Naciones Unidas y los principios del derecho internacional, los Estados tienen el derecho soberano de aprovechar sus propios recursos según sus propias políticas ambientales y de desarrollo, y la responsabilidad de velar por que las actividades realizadas en su jurisdicción o bajo su control no

causen daños al medio ambiente de otros Estados o de zonas que estén fuera de los límites de su jurisdicción nacional.

3) El derecho al desarrollo debe ejercerse de manera tal que responda de forma equitativa a las necesidades de desarrollo y ambientales de las generaciones presentes y futuras.

4) Con el fin de alcanzar el desarrollo sostenible, la protección del medio ambiente deberá ser parte integrante del proceso de desarrollo y no podrá considerarse de forma aislada.

5) Todos los Estados y todas las personas deberán cooperar en la tarea esencial de erradicar la pobreza como requisito indispensable del desarrollo sostenible, a fin de reducir las disparidades en los niveles de vida y responder mejor a las necesidades de la mayoría de los pueblos del mundo.

6) Se deberá dar especial prioridad a la situación y las necesidades especiales de los países en desarrollo, en particular los países menos adelantados y los más vulnerables desde el punto de vista ambiental. En las medidas internacionales que se adopten con respecto al medio ambiente y al desarrollo también se deberían tener en cuenta los intereses y las necesidades de todos los países.

7) Los Estados deberán cooperar con espíritu de solidaridad mundial para conservar, proteger y restablecer la salud y la integridad del ecosistema de la Tierra. En vista de que han contribuido en distinta medida a la degradación del medio ambiente mundial, los Estados tienen responsabilidades comunes pero diferenciadas. Los países desarrollados reconocen la responsabilidad que les cabe en la búsqueda internacional del desarrollo sostenible, en vista de las presiones que sus sociedades ejercen en el medio ambiente mundial y de las tecnologías y los recursos financieros de que disponen.

8) Para alcanzar el desarrollo sostenible y una mejor calidad de vida para todas las personas, los Estados deberían reducir y eliminar las modalidades de producción y consumo insostenibles y fomentar políticas demográficas apropiadas.



Figura 29.- Reciclado del vidrio. La moderación en el consumo, junto con el reciclado y la reutilización de muchas materias primas son actuaciones ineludibles en el mundo actual, dentro de un modelo de desarrollo sostenible. En el año 2000 se reciclaron en Suecia un 85% de todos los envases de vidrio utilizados.

9) Los Estados deberían cooperar en el fortalecimiento de su propia capacidad de lograr el desarrollo sostenible, aumentando el saber científico mediante el intercambio de conocimientos científicos y tecnológicos, e intensificando el desarrollo, la adaptación, la difusión y la transferencia de tecnologías, y entre éstas, las tecnologías nuevas e innovadoras.

10) El mejor modo de abordar las cuestiones ambientales es con la participación de todos los ciudadanos interesados, en el nivel que corresponda. En el plano nacional, toda persona deberá tener acceso adecuado a la información sobre el medio ambiente de que dispongan las autoridades públicas, incluida la información sobre los materiales y las actividades que encierran peligro en sus comunidades, así como la oportunidad de participar en los procesos de adopción de decisiones. Los Estados deberán facilitar y fomentar la sensibilización y la participación de la población poniendo la información a disposición de

todos. Deberá proporcionarse acceso efectivo a los procedimientos judiciales y administrativos, entre éstos el resarcimiento de daños y los recursos pertinentes.

11) Los Estados deberán promulgar leyes eficaces sobre el medio ambiente. Las normas, los objetivos de ordenación y las prioridades ambientales deberían reflejar el contexto ambiental y de desarrollo al que se aplican. Las normas aplicadas por algunos países pueden resultar inadecuadas y representar un costo social y económico injustificado para otros países, en particular los países en desarrollo.

12) Los Estados deberían cooperar en la promoción de un sistema económico internacional favorable y abierto que llevara al crecimiento económico y el desarrollo sostenible de todos los países, con el fin de abordar en mejor forma los problemas de la degradación ambiental. Las medidas de política comercial con fines ambientales no deberían constituir un medio de discriminación arbitraria o injustificable ni una restricción velada del comercio internacional. Se debería evitar tomar medidas unilaterales para solucionar los problemas ambientales que se producen fuera de la jurisdicción del país importador. En lo posible, las medidas destinadas a tratar los problemas ambientales regionales o mundiales se deberían basar en un consenso internacional.

13) Los Estados deberán desarrollar la legislación nacional relativa a la responsabilidad y la indemnización respecto de las víctimas de la contaminación y otros daños ambientales. Los Estados deberán cooperar asimismo de manera expedita y más decidida en la elaboración de nuevas leyes internacionales sobre la responsabilidad e indemnización por los efectos negativos de los daños ambientales causados por las actividades realizadas dentro de su jurisdicción, o bajo su control, en las zonas situadas fuera de su jurisdicción.

14) Los Estados deberían cooperar efectivamente para desalentar o evitar la reubicación y la transferencia a otros Estados de cualesquiera actividades y sustancias que causen degradación ambiental grave o se consideren nocivas para la salud humana.

15) Con el fin de proteger el medio ambiente, los Estados deberán aplicar ampliamente el criterio de precaución conforme a sus

capacidades. Cuando haya peligro de daño grave o irreversible, la falta de certeza científica absoluta no deberá utilizarse como razón para postergar la adopción de medidas eficaces en función de los costes para impedir la degradación del medio ambiente.

16) Las autoridades nacionales deberían procurar fomentar la interiorización de los costes ambientales y el uso de instrumentos económicos, teniendo en cuenta el criterio de que el que contamina debe, en principio, cargar con los costes de la contaminación, teniendo en cuenta el interés público y sin distorsionar el comercio ni las inversiones internacionales.

17) Deberá emprenderse una evaluación del impacto ambiental, en calidad de instrumento nacional, respecto de cualquier actividad propuesta susceptible de producir un impacto negativo significativo en el medio ambiente y que esté sujeta a la decisión de una autoridad nacional competente.

18) Los Estados deberán notificar inmediatamente a otros Estados los desastres naturales u otras situaciones de emergencia que puedan producir efectos nocivos imprevistos en el medio ambiente de esos Estados. La comunidad internacional deberá hacer todo lo posible por ayudar a los Estados que resulten afectados por estas situaciones.

19) Los Estados deberán proporcionar toda la información pertinente, y notificar previamente y en forma adecuada, a los Estados que posiblemente resulten afectados por actividades que puedan originar importantes efectos ambientales adversos a nivel internacional, y deberán celebrar consultas con esos Estados en una fecha temprana y de buena fe.

20) Las mujeres desempeñan un papel fundamental en la ordenación del medio ambiente y en el desarrollo. Por lo tanto, es imprescindible contar con su plena participación para lograr el desarrollo sostenible.

21) Debería movilizarse la creatividad, los ideales y el valor de los jóvenes del mundo para forjar una alianza mundial orientada a lograr el desarrollo sostenible y asegurar un mejor futuro para todos.



Figura 30.- Imagen de una ballena en aguas de Patagonia, en Argentina. En los albores del siglo XXI, la conservación de los espacios naturales (tierras y mares), la defensa de la biodiversidad y la protección del medio ambiente son elementos fundamentales para la supervivencia de la humanidad.

22) Las poblaciones indígenas y sus comunidades, así como otras comunidades locales, desempeñan un papel fundamental en la ordenación del medio ambiente y en el desarrollo debido a sus conocimientos y prácticas tradicionales. Los Estados deberían reconocer y apoyar debidamente su identidad, cultura e intereses y hacer posible su participación efectiva en el logro del desarrollo sostenible.

23) Deben protegerse el medio ambiente y los recursos naturales de los pueblos sometidos a opresión, dominación y ocupación.

24) La guerra es, por definición, enemiga del desarrollo sostenible. Por lo tanto, los Estados deberán respetar las disposiciones de derecho internacional que protegen al medio ambiente en épocas de conflicto armado, y cooperar en su ulterior desarrollo, según sea necesario.

25) La paz, el desarrollo y la protección del medio ambiente son interdependientes e inseparables.

26) Los Estados deberán resolver pacíficamente todas sus controversias sobre el medio ambiente utilizando los medios que correspondan con arreglo a la Carta de las Naciones Unidas.

27) Los Estados y las personas deberán cooperar de buena fe y con espíritu de solidaridad en la aplicación de los principios consagrados en esta Declaración y en el ulterior desarrollo del derecho internacional en la esfera del desarrollo sostenible.

La Carta de la Tierra tiene una importancia capital para la conservación y restauración del medio ambiente tanto a escala mundial como en el ámbito local. En su conjunto, este documento constituye una herramienta de inestimable valor para encauzar una política medioambiental correcta a todos los niveles, implicando en esta trascendental tarea tanto a gobiernos como a ciudadanos. Sin embargo, hay que reconocer que, en la actualidad, la aplicación práctica de algunos de estos principios deja bastante que desear en muchos sentidos. Lamentablemente, se podrían citar muchos ejemplos en los que los intereses políticos o económicos de unos pocos privilegiados



Figura 31.- Incendio forestal en la provincia de Guadalajara, acaecido en Julio del 2005. La conservación de los espacios naturales es un factor clave para las sociedades actuales y futuras. En el citado incendio murieron 11 personas y resultaron arrasadas 11.000 hectáreas de pinos, robledales, cereales y pastos.

(países o personas) parecen prevalecer injustamente frente a las necesidades de toda la humanidad.

10.6. Argumentos para el optimismo

Para concluir la presente exposición, nos ha parecido interesante resumir a continuación el texto de una conferencia pronunciada en Mayo del 2001 por el periodista británico Matt Ridley en la Royal Society of Arts (Londres), en presencia del Príncipe Felipe, heredero de la corona británica.

El contenido de esta exposición se centró en tres puntos principales. En primer lugar, el conferenciante explicó que, en general, solemos ser demasiado pesimistas sobre el medio ambiente. En segundo lugar, se expuso la creencia de que la invención y uso de nuevas tecnologías no constituye necesariamente una amenaza para el medio ambiente, sino que es más bien su mejor esperanza. Finalmente, se desarrolló la idea de que el pesimismo acerca de la relación entre las nuevas tecnologías y el medio ambiente puede ser muy peligroso.

Como es natural, no se trata de afirmar que todas las tendencias actuales sobre el medio ambiente son positivas; hay muchas cosas que están empeorando. Tampoco se pretende afirmar que la innovación no tenga consecuencias sobre el medio ambiente. Lo que se quiere poner de manifiesto es el hecho de que la situación de muchos problemas medioambientales está mejorando actualmente y que estas mejoras están producidas por las nuevas tecnologías.

El autor nos recuerda que los peores episodios de extinciones de especies entre los grandes animales, fue responsabilidad del hombre de la edad de piedra. Se citan explícitamente los casos de Australia, Norteamérica, Sudáfrica, Nueva Zelanda y Madagascar. La idea de que únicamente las modernas tecnologías han causado este tipo de problemas es claramente un mito.

El conferenciante recuerda que hace tiempo formó parte de la asociación Amigos de la Tierra. En los setenta, llevaba una pegatina en el parabrisas de su coche con el lema "Nucleares no, gracias". Sin

embargo, actualmente se muestra en total desacuerdo con muchas de las ideas de los ecologistas. Su cambio de actitud tuvo lugar en los ochenta, como resultado de su contacto con algunos economistas norteamericanos. Uno de estos economistas, Julian Simon, recopiló **miles de datos** para demostrar su creencia de que el mundo iba a mejor y no a peor. El aumento de las esperanzas de vida, la disminución de las muertes por hambre, la mejora de la asistencia médica, la disminución de las tasas de mortalidad por cáncer, la mejora general de la calidad del aire, la mejora en la calidad del agua en la mayoría de los ríos y lagos o la disminución en el consumo de energía por unidad de producto interior bruto, entre otros muchos hechos, demuestran que, en términos generales, la situación es positiva.

Lo que siempre va a peor, al parecer, es nuestra visión sobre el futuro. Las predicciones siguen siendo pesimistas. ¿Recordamos cuando hace algunos años se hablaba de la **lluvia ácida** y de que este factor iba a destruir todos los bosques de Europa y Norteamérica? En 1986, las Naciones Unidas informó que el 23% de todos los árboles de Europa estaban moderadamente o severamente dañados por la lluvia ácida. ¿Y qué ha sucedido después? Sencillamente, que las masas forestales se han ido recuperando. En la actualidad, no existe ninguna evidencia de disminución de los bosques ni en Europa ni en Norteamérica.

Y sin embargo, los medios de comunicación prestaron más atención a los temores iniciales que a la recuperación actual. Parece ser que, tal vez por razones políticas, lo que "vende" es mantener alarmada a la opinión pública.

En 1977, el propio Príncipe Felipe escribió: "¿Quién sabe cuáles serán los siguientes motivos de preocupación medioambiental que atraigan la atención del público? Tal vez sea el problema del **cambio climático** en el mundo. Incluso en el caso de que los modelos de predicción del cambio climático fueran precisos (dada la fiabilidad de las actuales previsiones del tiempo, a sólo dos días vista, el autor expresa sus serias dudas sobre las previsiones a cien años vista), todos los informes realizados en este sentido muestran una evidente



Figura 32.- Grupo de inmigrantes subsaharianos detenidos tras su llegada a las costas españolas. La supervivencia de nuestro planeta sólo será posible si somos capaces de conservar el medio ambiente y nos esforzamos para lograr que el mundo esté regido por ideales de paz, justicia y solidaridad.

propensión a destacar únicamente sus aspectos más negativos. Por ejemplo, apenas se ha comentado el hecho de que la elevación de temperaturas en la isla Heard, en el Antártico, ha producido un aumento espectacular en el número de animales que viven en ese lugar. Concretamente, en 1947 vivían allí tan sólo 3 parejas de pingüinos, en tanto que hoy en día se han contabilizado más de 25.000.

El conferenciante no dice que el calentamiento global de nuestro planeta no producirá algunos efectos negativos para la conservación de las especies o para la humanidad. Simplemente, afirma que traerá algunos resultados positivos y casi nadie parece interesado en estudiar tales efectos.

La clave de todas las predicciones pesimistas fue la preocupación por la **escasez de recursos** en el futuro, un tema que surgió con inusitada fuerza en la década de los años setenta, como hemos

tenido ocasión de indicar en otro lugar. La idea de que el petróleo, los alimentos y los minerales se iban a agotar en un plazo relativamente corto caló muy hondo en el ánimo de muchas personas.

Concretamente, en el informe del Club de Roma (1970) se decía que las reservas totales de petróleo en todo el mundo ascendían a 550.000 millones de barriles, una cantidad que se agotaría en poco más de una década (el presidente estadounidense Jimmy Carter hizo esta afirmación). Pues bien, entre 1770 y 1990, el mundo consumió unos 600.000 millones de barriles. De hecho, en 1990 se estimó que las reservas de petróleo no explotadas del mundo ascendían al menos a 900.000 millones de barriles. El Club de Roma hizo otras predicciones también equivocadas sobre el gas natural, el uranio, la plata, el estaño, el zinc, el aluminio y el cobre. En todos estos casos, dicha institución afirmó que las reservas finitas de estos materiales estaban agotándose y que sus precios se encarecerían. Pues bien, las reservas conocidas en la actualidad de todos estos recursos (salvo el estaño) son mayores incluso que las consignadas en dicho informe; en algunos casos, las correspondientes cantidades se han multiplicado por cuatro.

La historia sobre los **recursos de alimentos** ha sido todavía peor. En el año 1968, Paul Ehrlich escribió lo siguiente: "Los expertos agrícolas afirman que para alimentar adecuadamente a los 6.000 ó 7.000 millones de personas que vivirán en la Tierra hacia el año 2000, será necesario multiplicar la producción de alimentos por un factor tres. Teóricamente, este incremento podría ser posible, pero en la práctica la cifra se considera absolutamente imposible".

Otros muchos expertos e instituciones coincidieron con estas previsiones, subrayando una y otra vez que la tasa de crecimiento de la población mundial superaría muy pronto a la de producción de alimentos. Esa predicción no se ha cumplido en absoluto. Ciertamente, desde el año 1961, la población mundial se ha multiplicado por algo más de dos, pero la producción de alimentos ha crecido aún más deprisa. De hecho, la producción de alimentos por habitante (estimada a escala mundial) ha aumentado en más de un 20% desde dicha fecha.

¿Por qué todas estas predicciones maltusianas están tan equivocadas? Es un hecho objetivo que los recursos de la Tierra son limitados y llegará un momento en que se agotarán. Sin embargo, la visión optimista del tema se basa en la idea de que el **uso de nuevas tecnologías** permitirá alcanzar una situación tal en la que casi ningún recurso sea en la práctica finito. Por ejemplo, las nuevas técnicas de cultivo pueden hacer que la tierra cultivable sea un recurso más productivo. El desarrollo de nuevas técnicas de perforación costeras puede hacer posible el descubrimiento y explotación de nuevos yacimientos de gas natural. La utilización de cables de fibra óptica permitirá reemplazar los actuales cables de cobre. En general, la cuantía de los recursos depende muy estrechamente de la tecnología utilizada para su explotación.

La **sustitución de un recurso por otro** es también un factor clave en el tema que estamos exponiendo aquí. Cuando un recurso dado escasea, su precio aumenta y los sustitutos resultan entonces competitivos. El petróleo empezó a extraerse en el siglo XIX debido a que el precio del aceite de ballena utilizado hasta entonces en alumbrado y calefacción iba en aumento. El carbón empezó a extraerse de las minas para fines industriales en el siglo XVI cuando la industria inglesa de fundición de hierro se enfrentó a la escasez de madera. Según las más recientes teorías, la agricultura se inventó en el Oriente Medio hace ahora 9.000 años debido a la que la caza se iba haciendo más escasa. Cabe advertir que, en estos tres casos, la invención de una nueva tecnología salvó un recurso natural renovable reemplazándolo por otro no renovable. Las ballenas, la madera y la caza pueden ser renovables, pero se agotan con mucha mayor facilidad que el petróleo, el carbón o el suelo, respectivamente.

En particular, todos hemos escuchado en algún momento u otro hablar muy mal de la **agricultura intensiva**. Sin embargo, como sucede con los sistemas de producción de energía intensiva, la agricultura intensiva tiene un impacto muy pequeño sobre nuestros paisajes. Hoy en día, cada hectárea de tierra cultivable produce muchos más alimentos de lo que hubiéramos soñado hace sólo un par

de generaciones. El uso de semillas híbridas, fertilizantes inorgánicos y pesticidas, junto con nuevas técnicas de regadío y mecanización, son los responsables del fracaso de todas las predicciones neomaltusianas. Estas técnicas han permitido suministrar al mundo más y más alimentos a un coste más y más bajo.

Las **nuevas tecnologías agrarias** han ido transformando radicalmente las situaciones anteriores. Se ha estimado que en una sociedad cuya subsistencia esté basada en la caza se necesitan unos 5.000 acres de terreno para alimentar a una persona en un clima templado (un acre equivale aproximadamente a 400 metros cuadrados). Con una agricultura natural (ecológica u orgánica), para cubrir el mismo fin serían necesarios unos 10 acres. Gracias a la agricultura intensiva, la cifra sería del orden de 1 acre. Finalmente, utilizando ciertos sistemas de cultivo especiales en invernaderos (actualmente en fase de experimentación) se podrían alimentar hasta 1.000 personas con una extensión de 1 acre.

Aquí va un dato. Entre 1961 y 1998, la India ha doblado su población y más que doblado su producción de alimentos. Sin embargo, la superficie cultivable de la tierra tan sólo ha aumentado en un 5%. En cambio, la superficie de bosques en este país ha aumentado en más del 20% durante este mismo tiempo. Podríamos decir que la supervivencia del tigre en ese país se debe a la agricultura intensiva.

Según el autor, la principal amenaza para el futuro de la humanidad no son las nuevas tecnologías, sino el **crecimiento de la población**, especialmente en el tercer mundo. En su opinión, el mundo estaría mejor con menos habitantes. Por supuesto, ni él ni la mayoría de los ecologistas están preconizando la eutanasia. Afortunadamente, incluso en este aspecto, las previsiones son optimistas. Por una especie de milagro, parece ser que la población mundial está actualmente frenando su crecimiento (dicha tendencia podría ser calificada como un milagro porque, como zoólogo, el autor encuentra muy sorprendente que cualquier especie viva limite voluntariamente su fecundidad). Sin embargo, los hechos a los que nos referimos son innegables. No es necesaria ninguna coacción para lograr el control de

la población. Parece ser que, en cualquier nación del mundo, cuando la salud y la prosperidad alcanzan un cierto nivel, la tasa de natalidad decrece rápidamente. Sucedió en Gran Bretaña hace un siglo y está sucediendo hoy en países como Bangladesh y Kenia.

Como resultado de esta tendencia, las **predicciones** sobre cuál puede ser la población del mundo a mediados del siglo XXI no han hecho más que reducir sus cifras durante los últimos cuarenta años. En algún momento pensamos que la cifra podría ser del orden de los 15.000 millones de habitantes o más todavía. Hoy en día sólo esperamos 9.000 millones, con tendencia a disminuir. Al parecer, todo lo que debemos hacer para que esta previsión se cumpla es sencillamente mejorar los niveles de vida, elevar el nivel de educación de las mujeres y facilitar el acceso de todos a la planificación familiar.

Desde luego, 9.000 millones de habitantes es todavía una cifra importante. Sin embargo, no tenemos ninguna evidencia de que una cifra así sea insoportable, ni de que exceda la capacidad de nuestro planeta. Todo lo contrario. La evidencia indica que los recursos de la Tierra pueden sustentar esa población. Una vez más, se puede estar a favor de salvar el planeta sin ser un pesimista o un enemigo de las nuevas tecnologías. Hay una máxima que dice: "Nunca hagas predicciones, especialmente sobre el futuro". Sin embargo, rompiendo esta regla por una vez, el autor predice que los 9.000 millones de personas que presumiblemente poblarán nuestro planeta a mediados del presente siglo tendrán un nivel de vida mucho mejor que el actual, que grandes extensiones de Escocia o de Brasil estarán dedicadas a albergar vida salvaje y a usos recreativos, que el aire de Bangkok será más limpio que el de hoy en día, que los combustibles fósiles ya no serán necesarios y que la mayoría de los automóviles se moverán en relativo silencio alimentados con motores de hidrógeno.

10.7. Consideraciones finales

Como ya hemos indicado con anterioridad, en el año 1972 se celebró en Estocolmo la Primera Conferencia de las Naciones Unidas sobre el entorno natural. A la capital de Suecia acudieron delegaciones de casi todos los países del mundo, para analizar los grandes proble-

mas del planeta en el que vivimos. Para conmemorar este acontecimiento y sensibilizar a la opinión pública sobre este importante tema, a principios del mes de Junio de cada año se celebra el Día Mundial del Medio Ambiente, generalmente con escasa resonancia.

El segundo toque de atención significativo sobre estas cuestiones tuvo lugar algunos años más tarde, en 1980, cuando un organismo gubernamental de los Estados Unidos, la Environmental Protection Agency, tras llevar a cabo una serie de estudios encargados por el presidente Jimmy Carter, publicó un documento conocido como Informe Global 2000. En este documento se hacía un diagnóstico muy general de los diferentes problemas medioambientales que afectan a la Tierra (aire, aguas, océanos y mares, suelos, bosques, especies vivas amenazadas y contaminación de todas clases), llegándose a la conclusión de que el estado de la Tierra era mucho peor de lo que se había supuesto en Estocolmo.

Algo más tarde, tras la alerta de Estocolmo y del diagnóstico mencionado, se dio un paso más, que podríamos considerar como una búsqueda del método operativo general sobre estas cuestiones. En esta ocasión, las Naciones Unidas encargaron a la Comisión de Medio Ambiente y Desarrollo la realización de un nuevo estudio sobre este tema. Este trabajo, publicado finalmente en el año 1987 bajo el título de *Nuestro futuro común*, es más conocido con el nombre de Informe Brundtland, por el apellido de la mujer que fue su presidenta, jefe de Gobierno de Noruega en aquel tiempo. En el citado informe se introducía por primera vez el concepto de desarrollo sostenible, cuyos objetivos finales eran la reconciliación de todos los seres humanos con la naturaleza, rechazando, al menos desde un punto de vista filosófico, la idea de crecimiento a cualquier coste.

El siguiente paso en esta dirección hacia una comprensión global de los problemas medioambientales se produjo en el año 1992, cuando tuvo lugar la llamada Cumbre de la Tierra, que se celebró en la ciudad de Río de Janeiro, de la que ya hemos hablado anteriormente. Esta nueva Conferencia se caracterizó por una presencia mucho mayor de jefes de Estado y de Gobierno que en las citas

anteriores. Los principales logros de esta nueva reunión fueron la llamada Agenda 21 y los importantes convenios sobre cambio climático y biodiversidad.

Con todo, a pesar del espíritu que ha impulsado todas estas conferencias, cada vez es mayor el sentimiento generalizado de que los avances conseguidos hasta la fecha en la resolución de los muy graves problemas medioambientales que afectan a todo el mundo son enormemente modestos y se producen siempre con una exasperante lentitud. Sobre la parte más consciente o sensibilizada de los más de seis mil millones de personas que pueblan nuestro planeta a principios del siglo XXI, sigue fuertemente instalada la idea de si seremos capaces y llegaremos a tiempo de detener el proceso de degradación de nuestra biosfera.

Este sentimiento de pesimismo se ha puesto nuevamente de manifiesto en otras conferencias internacionales celebradas con posterioridad a las citadas. Uno de los principales caballos de batalla de las reuniones celebradas recientemente sobre el tema medioambiental se refiere a las dificultades para la ratificación del denominado Protocolo de Kioto (1997), relacionado con la reducción de emisiones a la atmósfera de los gases responsables del efecto invernadero y del cambio climático en el planeta, ya evidente en la actualidad en opinión de muchos expertos.

Aunque no se pueda ignorar la existencia de avances de cierta importancia en muchas materias relacionadas con el tema del medio ambiente y el desarrollo, el balance general en este sentido sigue siendo bastante preocupante, al menos en términos globales, entre otras razones, por el hecho de que la sensibilidad hacia los problemas ambientales no se ha desarrollado suficientemente en las políticas de numerosos países de todo el mundo, y tiene muy escasa fuerza en la práctica en unas Naciones Unidas enormemente debilitadas en estos momentos. Sin duda alguna, será necesario seguir realizando un esfuerzo considerable en tal sentido, hasta lograr que nuestro planeta sea verdaderamente azul, esté regido por ideales de paz, justicia y solidaridad, y en el que la humanidad se integre más con la naturaleza que la sustenta, ahora y en los tiempos venideros.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agencia Europea de Medio Ambiente, 2001.- *El medio ambiente en la Unión Europea en el umbral del siglo XXI*.- Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.

Aguilar, S., 1997.- *El reto del medio ambiente. Conflictos e intereses en la política*.- Alianza Editorial. Madrid.

Alexander, P., 1959.- *Atomic radiation and life*.- Penguin Books. Middlesex.

Ballesteros, J., 1997.- *Sociedad y medio ambiente.*- Editorial Trotta. Madrid.

Barry, R.G., et al., 1985.- *Atmósfera, tiempo y clima*.- Editorial Omega. Barcelona.

Berglund, B., et al., 1995.- *Community noise*.- World Health Organization. Stockholm University. Stockholm.

Bookchin, M., 1978.- *Por una sociedad ecológica*.- Colección Tecnología y Sociedad.- Editorial Gustavo Gili. Barcelona.

Bryant, E., 1997.- *Climate process and change*.- Cambridge University Press. Cambridge.

Calvo, A., et al., 1989.- *El ruido en la ciudad. Gestión y control*.- Sociedad Española de Acústica. Madrid.

Carrasco, C., 1977.- *Introducción a una ecología política*.- Ediciones de la Torre. Madrid.

Catalá, J., 1986.- *Contaminación y conservación del medio ambiente*.- Editorial Alhambra. Madrid.

Clark, R., et al., 1971- *El hombre y la Tierra*.- Salvat Editores. Barcelona.

Ferrer, M., 1973.- *La explosión demográfica*.- Salvat Editores. Barcelona.

Foley, G., 1976.- *The energy question*.- Penguin Books. Harmondsworth.

García, A., 1988.- *La contaminación acústica*.- Universitat de Valencia. Valencia.

García., A., 1995.- *La contaminación sonora en la Comunidad Valenciana*.- Consell Valencià de Cultura. Generalitat Valenciana.

García, A., et al., 2001.- *Environmental urban noise*.- WIT Press. Southampton.

Grenon. M., 1973.- *La crisis mundial de la energía*.- Alianza Editorial. Madrid.

Internet, 2005.- *Información y datos relacionados con el medio ambiente y su degradación*.- Diferentes páginas Web de Internet.

Jiménez, L.M., 2000.- *Desarrollo sostenible*.- Editorial Pirámide. Madrid.

López, D., 1994.- *El medio ambiente*.- Ediciones Cátedra. Madrid.

Margalef, R., 1991.- *Ecología*.- Ediciones Omega. Barcelona.

Meadows, D., et al., 1974- *The limits to growth*.- A report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind.- Pan Books. London.

Merino, L., y Mosquera, M.J., 1999.- *Atlas de la naturaleza y del medio ambiente en España*.- Espasa Calpe. Madrid.

Moore, P., 1996.- *Global environmental change*.- Blackwell. London.

Ridley, M., 2001.- *Technology and the environment: the case for optimism*.- Royal Society of Arts, London.

Riechmann, J., et al., 1995.- *De la economía a la ecología*.- Fundación Primero de Mayo.- Editorial Trotta. Madrid.

Senent, J., 1973.- *La contaminación*.- Salvat Editores. Barcelona.

Simó, T., et al., 2000.- *La ciudad como espacio ecológico.*- Consell Valencià de Cultura. Generalitat Valenciana.

Spedding, D.J., 1981.- *Contaminación atmosférica*.- Editorial Reverté. Barcelona.

Tamames, R., 1977.- *Ecología y desarrollo*.- Alianza Editorial. Madrid.

Tamames, R., 1992.- *La economía ecológica. Una necesidad de nuestro tiempo*.- Fundación Bancaja. Valencia.

Tyller, J.R., 1995.- *Ecología y medio ambiente.*- Editorial Iberoamericana. México.

World Resources Institute, 1984.- *The global possible: resources, development and the new century*.- Documento publicado por el World Resources Institute. Washington.