

# RECICLAJE DE RESIDUOS INDUSTRIALES

Residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora

XAVIER ELIAS  
(Editor)

# RECICLAJE DE RESIDUOS INDUSTRIALES

Residuos sólidos urbanos y fangos de depuradora

2.<sup>a</sup> Edición



© Xavier Elías (segunda edición), 2009

Reservados todos los derechos.

«No está permitida la reproducción total o parcial de este libro, ni su tratamiento informático, ni la transmisión de ninguna forma o por cualquier medio, ya sea electrónico, mecánico, por fotocopia, por registro u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito de los titulares del Copyright.»

Ediciones Díaz de Santos

E-mail: ediciones@diazdesantos.es

<http://ediciones.diazdesantos.es>

ISBN: 978-84-7978-835-3

Depósito legal: M. 58.298-2008

Diseño de cubierta: Ángel Calvete

Fotocomposición e impresión: Fernández Ciudad, S.L.

Encuadernación: Rústica-Hilo

Impreso en España

# ÍNDICE DE AUTORES

## EDITOR

---



### **Xavier Elías Castells**

Ingeniero Industrial por la ETSII de Barcelona  
(Universidad Politécnica de Cataluña)

Su actividad profesional se desarrolla en diversos ámbitos. Es Director de la Bolsa de Subproductos de Cataluña y Asesor de diversos Gobiernos Sudamericanos en temas ambientales. En la vida profesional ha dirigido Ingenierías donde se han proyectado y construido numerosos secaderos y hornos, tanto de proceso como de incineración y vitrificación de residuos.

En el área docente es profesor de cursos de doctorado y postgrado sobre temáticas de reciclado y tratamiento de residuos: Instituto Químico de Sarriá (Tecnología del Medio Ambiente), Instituto de Tecnología de Cataluña y profesor invitado en numerosas Universidades Españolas y Sudamericanas.

Ha publicado «El reciclaje de residuos industriales» y «Tratamiento y Valorización Energética de Residuos» ambos en Ediciones Díaz de Santos y es el Director de los masters a distancia: «Ingeniería Ambiental» y «Ciencia y Tecnología Cerámica», ambos de la Fundación Universitaria Iberoamericana.

Es Premio Nacional Augusto González de Linares de Medio Ambiente. Es Miembro del Consejo de Dirección de la Agencia de Residuos del Departamento de Medio Ambiente del Gobierno Autónomo Catalán, Vocal del Consejo Asesor de Calidad Ambiental del Departamento de Medio Ambiente del Gobierno Autónomo Catalán, Miembro de las comisiones de Medio Ambiente de numerosos Colegios profesionales, Asociaciones, Corporaciones, etc.

## AUTORES

---



### **Ramón Altadill Colominas**

Ingeniero Industrial por la ETSII de Barcelona  
(Universidad Politécnica de Cataluña)

En la actualidad es Director Comercial de la empresa Electrorecycling S.A., donde se reciclan los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos de Cataluña y Baleares. En la vida profesional ha trabajado para varias multinacionales en los sectores eléctrico/electrónico, la logística y el automóvil.

Ha organizado la recogida de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos de los más de 280 puntos de recogida municipal que existen en la actualidad en Cataluña. Forma parte del proyecto «Ecojoguina y R-cicla juguina» que desde la escuela de comercio internacional intenta buscar soluciones para los residuos provenientes de los juguetes.

Colaborador activo para la Universidad de Cádiz para la organización de las jornadas anuales que se desarrollan en esa provincia sobre el reciclado de aparatos eléctricos y electrónicos.

Su ámbito internacional le ha llevado a desarrollar su trabajo en países de habla inglesa, francesa y alemana.



### **Ana M.ª Andrés Payán**

Doctora en Ciencias Químicas  
por la Universidad del País Vasco UPV-EHV

Actualmente es Profesora Titular de Ingeniería Química. Universidad de Cantabria. Dpto. de Ingeniería Química y Química Inorgánica. E.T.S. Ingenieros Industriales y Telecomunicación.

Desarrolla su actividad investigadora, inicialmente en la universidad del País Vasco y posteriormente en la Universidad de Cantabria, en el área de Caracterización, Control y Evaluación Medioambiental de Residuos Industriales y Sedimentos Marinos,

a través de la dirección y colaboración en Proyectos de I+D+I a nivel Nacional y Europeo, tanto de carácter básico como en colaboración con el sector industrial.

Imparte desde 1992, asignaturas propias del área de Ingeniería Química y asignaturas de Medio Ambiente en las titulaciones de Ingeniería Química e Ingeniería Industrial. Participa asimismo en docencia de tercer ciclo dentro de dos Masters con mención de calidad.



### **Aina Bruno**

Ingeniera Técnica Química por la Universidad Politécnica de Catalunya (UPC), Barcelona (España)

Asesora en Responsabilidad Social para la Dirección Académica de Responsabilidad Social de la Pontificia Universidad Católica del Perú en Lima.

Posée 5 años de experiencia en el campo del medio ambiente, la gestión de residuos y la sostenibilidad. Es autora y coautora de una decena de publicaciones en estos campos.



### **Jordi Bruno**

Doctor en Ciencias Químicas por el Royal Institute of Technology de Estocolmo (Suecia)

Consejero Delegado de Amphos XXI Consulting SL. Es Doctor en Ciencias Químicas por el Royal Institute of Technology de Estocolmo (Suecia), y posee más de 30 años de experiencia en el campo de la gestión de residuos, análisis de riesgo y estrategias de gestión ambiental. Las principales áreas de experiencia son: asesoramiento y evaluación de riesgo químico; y evaluación del comportamiento y la seguridad de depósitos de residuos nucleares y tóxicos/peligrosos. Desde 2000 es también Director de la Cátedra de Empresa Enresa-Amphos21 de la Universidad Politécnica de Cataluña y Coordinador de Investigación Ambiental de dicha Universidad.

Es autor de más de ciento cincuenta publicaciones científicas referenciadas y tres libros, inclusive el reciente Libro Blanco sobre la Gestión de Residuos Industriales en Cataluña.



### **Alvaro Marcelo Canales Rojas**

Ingeniero Forestal de la P. Universidad Católica de Chile. Master en Ingeniería y Gestión Ambiental de la Universidad Politécnica de Cataluña

Posee experiencia en el desarrollo y gestión ambiental de proyectos de diversa índole, ha prestado asesorías a instituciones públicas y diversas empresas de los más variados sectores productivos, para el fomento de la gestión sustentable de los recursos.

Ha logrado la implementación y certificación de sistemas de gestión ambiental en empresas constructoras, industriales y pesqueras, con excelentes resultados sobre la eficiencia de las actividades. Realiza además actividades de docencia de pregrado y postgrado en Gestión Ambiental.

Actualmente se desempeña como Asesor en Desarrollo Sustentable en la compañía minera Anglo American Chile desde donde coordina y ejecuta los planes de gestión ambiental y desarrollo comunitario de la División El Soldado.



### **Amparo Cortés Lucas**

Doctora en Farmacia por la Universidad de Barcelona y Diplomada en Gestión medioambiental por la misma universidad

Su actividad profesional se desarrolla principalmente en el ámbito académico. Es Profesora Titular de Universidad (área de conocimiento Edafología y Química Agrícola) en la Universidad de Barcelona, donde imparte diversas asignaturas de grado y colabora en diversos Másteres oficiales (Planificación Territorial y Gestión Ambiental; Biotecnología Molecular; Agua: Análisis in-

terdisciplinario y gestión sostenible; Gestión de Suelos y Aguas; Gestión y Restauración del Medio Natural; Química avanzada), así como en otros cursos de Postgrado. Ha sido profesor invitado en diversas universidades españolas y sudamericanas.

Sus líneas de investigación son: la Calidad de suelos, sedimentos y aguas subterráneas; y el Saneamiento de suelos, sedimentos y aguas subterráneas contaminados.

Entre los proyectos de investigación más relevantes en los que ha participado en los últimos años se pueden citar:

- Estudio de los valores de fondo de los suelos situados en las áreas industriales de Cataluña con miras al establecimiento de estándares provisionales de calidad. Junta de Residuos de la Generalitat de Catalunya.
- Aplicación de métodos magnéticos para la caracterización de suelos contaminados en zonas industriales. Programa Nacional de Ciencias y Tecnologías Medioambientales. Ministerio de Medio Ambiente.
- Integración de técnicas de caracterización de episodios de contaminación de suelos y aguas subterráneas por DNAPLs para la definición de propuestas de rehabilitación de acuíferos. DGCICYT. CTM2005-07824.

Ha actuado como asesora en obras públicas, destacando la asesoría a la Dirección de Obra en temas de caracterización y descontaminación de sedimentos en las obras de desviación del río Llobregat. Asesora también a empresas de consultoría y a algunas administraciones.

Es miembro activo de la COST ACTION 859 «Phytotechnologies to promote sustainable land use management and improve food safety». Miembro del grupo consolidado de investigación: «GEOLOGIA ECONÒMICA y AMBIENTAL e HIDROLOGIA». Miembro de las comisiones de medio ambiente de la Cámara de Comercio de Barcelona y del Colegio de Ingenieros Industriales de Cataluña.

Ha publicado más de una cincuenta de artículos, capítulos de libros, etc. en publicaciones especializadas.



### **Gloria Díez Bernabé**

Cursa arquitectura en la ESTAB (Universidad Politécnica de Cataluña)

Su actividad profesional se inicia en 1998 en el Instituto Tecnológico de la Construcción de Cataluña en el área de I+D, donde ha colaborado en diversos proyectos de construcción y medio ambiente, tanto a nivel nacional como europeo.

Desde el año 2006 trabaja en la Unidad de Medio Ambiente de iMat-Centro Tecnológico de la Construcción, coordinando proyectos de investigación relacionados con el impacto ambiental del sector de la construcción que vinculan el proceso constructivo con estudios de Análisis de Ciclo de Vida.

En el área docente ha colaborado en el Máster de la ETSAB sobre Materiales dirigido por Fructuoso Mañá y ha realizado diversos cursos de formación sobre gestión de residuos en la construcción.

Ha participado como coautora en las publicaciones siguientes: «Buenas prácticas ambientales en las obras de construcción» (Fundación Biodiversidad-2006), «Prácticas de sostenibilidad en la edificación», (ITeC-2005) «Parámetros de sostenibilidad» (ITeC-2003), «La cubierta captadora» (ITeC-2002).



### **Xavier Elías Castells**

Ingeniero Industrial por la ETSII de Barcelona  
(Universidad Politécnica de Cataluña)

Su actividad profesional se desarrolla en diversos ámbitos. Es Director de la BOLSA DE SUBPRODUCTOS de Cataluña y Asesor de diversos Gobiernos Sudamericanos en temas ambientales. En la vida profesional ha dirigido Ingenierías donde se han proyectado y construido numerosos secaderos y hornos, tanto de proceso como de incineración y vitrificación de residuos.

En el área docente es profesor de cursos de doctorado y postgrado sobre temáticas de reciclado y tratamiento de residuos: Instituto Químico de Sarriá (Tecnología del Medio Ambiente), Instituto de Tecnología de Cataluña y profesor invitado en numerosas Universidades Españolas y Sudamericanas.

Ha publicado «El reciclaje de residuos industriales» (Ed. Díaz de Santos), «Tratamiento y Valorización Energética de Residuos» (Ed. Díaz de Santos) y es el Director de los masters a distancia: «Ingeniería Ambiental» y «Ciencia y Tecnología Cerámica», ambos de la Fundación Universitaria Iberoamericana.

Es Premio Nacional Augusto González de Linares de Medio Ambiente. Es Miembro del Consejo de Dirección de la Agencia de Residuos del Departamento de Medio Ambiente del Gobierno Autónomo Catalán, Vocal del Consejo Asesor de Calidad Ambiental del Departamento de Medio Ambiente del Gobierno Autónomo Catalán, Miembro de las comisiones de Medio Ambiente de numerosos Colegios profesionales, Asociaciones, Corporaciones, etc.



### Joan Feliubadaló Molins

Ingeniero Industrial por la ETSII de Barcelona  
(Universidad Politécnica de Cataluña)

Su actividad profesional se ha desarrollado en el sector textil (tintura y acabado) y, posteriormente y en mayor grado, en la Administración Pública local (Entitat Metropolitana de Serveis Hidràulics i Tractament de Residus), en la que se ha ocupado de multitud de temas relacionados con la gestión de residuos, tanto municipales como industriales y de construcción y demolición.

Ha intervenido en el diseño, tramitación administrativa, construcción, explotación, clausura, restauración y control ambiental pre y post clausura de buena parte de los depósitos controlados de residuos de dichos tipos establecidos en el área metropolitana de Barcelona desde 1987, así como en el seguimiento de construcción y/o mejoras y control ambiental de otras instalaciones metropolitanas de gestión de residuos como la Planta Incineradora de Besòs y diversas plantas de tratamiento integrado («Eco-parques»).

Es autor o coautor de varias ponencias presentadas a los *Sardinia Symposia*, congresos bianuales de referencia en el ámbito de la deposición controlada y de la gestión de los residuos en general, además de diversos artículos en publicaciones especializadas.

Es también Master en Ingeniería y Gestión Ambiental por la Universidad Politécnica de Cataluña y, en el área docente es, desde 2001, profesor coordinador del módulo Residuos Sólidos Urbanos e Industriales de dicho Master, en el que interviene desde 1983.



### Xavier Flotats Ripoll

(Terrassa, Vallès Occidental, 1956) es Doctor Ingeniero Industrial por la ETS de Ingenieros Industriales de Barcelona (Universidad Politécnica de Cataluña)

Director del Centro Tecnológico GIRO (Gestión Integral de Residuos Orgánicos) desde 1 de octubre de 2005. Este Centro está impulsado por la Universidad Politécnica de Catalunya (UPC), el Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentaria (IRTA) y el Ayuntamiento de Mollet del Vallès (Barcelona). Profesor Titular, en excedencia, de Ingeniería Ambiental de la Universidad de Lleida.

Su actividad científica y profesional se ha centrado en la gestión y tratamiento de residuos ganaderos, así como en la modelización matemática de procesos biológicos de reducción de materia orgánica y nutrientes. Estos trabajos han dado lugar a unas 130 publicaciones, entre artículos científicos, técnicos o de opinión, libros y capítulos de libros, unas 60 presentaciones en congresos y del orden de 90 conferencias invitadas en jornadas técnicas. Ha dirigido 69 proyectos finales de carrera de ingeniería (8 premiados) y 6 tesis doctorales. Ha sido responsable de 18 proyectos de investigación y de unos 70 convenios de desarrollo o servicios de asesoramiento con empresas y administraciones. Destacan los convenios de desarrollo sobre combinación de digestión anaerobia y procesos térmicos, que dieron lugar a la planta centralizada de tratamiento de purines de Tracjusa-Juneda (premio a la innovación tecnológica agraria 2003 a la empresa Tracjusa), y en el campo de la actividad profesional destaca el proyecto de la planta de biogás de Mas el Cros, operativa de 1983 a 2003 (premio al ahorro de energía 2001 a la granja Mas el Cros).



### Pere Fullana i Palmer

Doctor Ingeniero Industrial por la Universidad Ramon Llull

El Dr. Pere Fullana obtuvo el Premio al mejor Proyecto de Fin de Carrera en Ingeniería Química en el Instituto Químico de Sarriá. Es también Ingeniero Industrial por la Universidad Autónoma de Barcelona y ha cursado estudios de Postgrado en Gestión Empresarial e Informática Química en la Universidad Ramon Llull, en la que obtuvo su doctorado. Actualmente es Director del Grupo de Investigación en Gestión Ambiental de la Escuela Superior de Comercio Internacional (UPF), galardonado con el Premio de Medio Ambiente de la Generalitat de Catalunya 2008, en la categoría de Universidades.

Es sobre gestión ambiental de producto por lo que es más conocida su labor profesional. Es desde sus inicios delegado por España en la redacción de las normas ISO sobre análisis de ciclo de vida (ACV), ecodiseño y ecoetiquetas; y de las normas CEN

de ACV en envases y de ecoetiquetas en materiales de construcción. Su cargo más prestigioso ha sido el de Presidente del Comité de Dirección de Análisis de Ciclo de Vida de SETAC Europa, el máximo exponente mundial en el desarrollo científico de esta metodología.

Ha publicado numerosos artículos científicos y capítulos de libro, siendo autor principal de varios libros sobre ACV con la Generalitat de Catalunya, Rubes Editorial, la Comisión Europea (Programa COST) y AENOR (finales de 2008). También ha publicado «Turismo Sostenible» con Rubes Editorial y «Communication of Life Cycle Information in the Building and Energy Sectors» para el Programa de Medio Ambiente de Naciones Unidas.



### **Jordi García Martínez**

Licenciado en Ciencias Químicas por la Universidad de Barcelona

Ha sido responsable y profesor del *Master en Ingeniería Ambiental* de la Fundación Universitaria Iberoamericana así como del *Curso de Postgrado en Consultoría Medioambiental*. Ha sido coordinador de diversos cursos y seminarios organizados por el Departamento de Medio Ambiente de la Generalitat de Catalunya y la Bolsa de Subproductos de Catalunya.

Ha colaborado en el proyecto *Análisis del Ciclo de Vida de la Generación de Energía Eléctrica* desarrollado por el IDAE y la UAH. Ha sido asesor externo de los proyectos europeos LIFE-Medio Ambiente.

Ha sido responsable del desarrollo de nuevas tecnologías de valorización energética de Tratamiento Técnico de Residuos.

Ha estado vinculado profesionalmente a empresas especializadas en la fabricación, distribución e instalación de equipos para la dosificación de productos químicos y el tratamiento de agua. Ha sido profesor de diversos cursos relacionados con la manipulación de fluidos químicos y los sistemas de tratamiento de agua.

Actualmente pertenece al Departamento de Aguas e Industria de Crison Instruments, empresa especializada en el desarrollo de equipos para la medición y el control de procesos industriales.

Es coautor del libro *Tratamiento y Valorización Energética de Residuos* (Díaz de Santos, 2005)..



### **Maribel Herrero Municio**

Ingeniera Técnica Industrial por la EUTI de Madrid (Universidad Politécnica de Madrid)

Su actividad profesional se ha desarrollado en diversos ámbitos. Trabaja como ingeniera en una empresa de patentes para el desarrollo de un nuevo producto. Su función consiste en la clasificación de patentes para su posterior estudio técnico y desarrollo del prototipo.

Ha formado parte del departamento técnico en el ámbito de la construcción para el desarrollo de nuevos productos como el hormigón polímero. También ha desempeñado funciones de ingeniera de procesos en una empresa de aerogeneradores.



### **Lorena Jurado de Gracia**

Licenciada en Ciencias Ambientales por la Universidad de Girona (España)

Es técnico de medio ambiente del Consejo General de Cámaras de Comercio de Cataluña y de la Bolsa de Subproductos de Cataluña, donde realiza labores de análisis de normativa, asesoramiento y desarrollo de programas intercamerales en relación a la gestión de residuos y las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Es miembro de varias comisiones técnicas del Departamento de Medio Ambiente del gobierno autónomo catalán en relación con la minimización de residuos y la certificación ambiental, así como de la comisión de medio ambiente de la Cámara de Comercio de Barcelona.



### **Marga López Martínez**

Ingeniera Técnica Agrícola en Explotaciones Agropecuarias (UPC)  
y Licenciada en Ciencia y Tecnología de los Alimentos (UB)

Ha estado trabajando en el ámbito de la gestión de residuos desde el año 2001 junto con Montserrat Soliva en la Escuela Superior de Agricultura de Barcelona (Universitat Politècnica de Catalunya), concretamente con lodos de depuradora y residuos orgánicos en general y profundizando en procesos de compostaje, sobre el cual está desarrollando su tesis doctoral. Ha impartido diversos cursos sobre compostaje y gestión de residuos. Actualmente es profesora en la Escuela Superior de Agricultura de Barcelona, participando en asignaturas de análisis químico y gestión de residuos.



### **Albert Magrí Aloy**

Doctor Ingeniero Agrónomo por la Universitat de Lleida

Actualmente forma parte del área de innovación de procesos del GIRO Centro Tecnológico (Mollet del Vallès, Barcelona), donde participa en actividades de investigación y transferencia tecnológica relativas a la gestión y el tratamiento de residuos orgánicos, focalizando su trabajo en la dinámica del nitrógeno.

El manejo de las deyecciones ganaderas, la eliminación biológica de nitrógeno mediante nitrificación-desnitrificación y la modelización matemática de procesos biológicos de tratamiento de residuos, son algunas de sus principales áreas de experiencia, tanto a nivel científico como profesional. En este sentido, ha trabajado en empresas privadas del sector así como en centros públicos de investigación. También ha impartido docencia universitaria y participado en diferentes másteres y cursos de temática ambiental. En la actualidad forma parte del equipo docente del departamento de biología de sistemas de la Universitat de Vic.



### **Fructuós Mañà Reixach**

Dr. Arquitecto por la Universidad Politècnica de Catalunya

Catedrático del Departamento de Construcciones Arquitectónicas de la ETSAB (UPC). Ex director de la Oficina consultora Técnica del Col·legi Oficial d'Arquitectes de Catalunya. Ex director Adjunto de Investigación del Intitut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya. Autor de diversos libros y artículos. Asesor a profesionales y administraciones en patología de la edificación y estructuras.



### **Juan Bautista Menendes Arias**

Ingeniero de Minas por la ETSIMO (Universidad de Oviedo).  
Profesor de la Universidad Politècnica de Catalunya

Desarrolla la actividad en la Escuela Politècnica Superior de Ingeniería de Manresa (EPSEM) en la especialidad de Ingeniería minera como profesor de la asignatura «Impacto Ambiental y Restauración», de especial aplicación a los impactos ligados a la actividad minera. Su actividad profesional siempre ha estado ligada a campos relacionados con la actividad minera y ambiental, donde el tema residuos tiene un tratamiento diferencial. Ha participado en varios trabajos y estudios sobre la problemática ambiental de las escombreras de sal. Ha sido invitado, como profesor, en varias ediciones del Master de Medio Ambiente de la Universidad de Oviedo y en varias ediciones del Curso de Posgrado sobre «Gestión de Residuos municipales, industriales y específicos» de la Universidad Politècnica de Catalunya. Posee amplia experiencia en el diseño y dirección de la recuperación de la morfología en canteras de áridos a cielo abierto mediante el relleno con escombros estériles procedentes de la construcción y obra pública, publicando al respecto en el XI Congreso Internacional de Minería (Zaragoza 2002) y participando en un programa emitido por «2000 ff» (TV3) sobre la misma temática.

**Jorge Molina Beltrán**

Ingeniero Civil en Minas por la Universidad de Santiago de Chile

Tras especializarse en el área de residuos, su actividad profesional se ha desarrollado en diferentes actividades. Actualmente Ingeniero de Negocios y Proyectos de Grupo Urbaser-kiasa (Chile), Profesor del Master en Gestión Integrada de la Universidad de Cataluña, ex-director por dos temporadas de la Asociación de Empresas y Profesionales por el Medio Ambiente (AEPA, [www.aepa.cl](http://www.aepa.cl)), integrante, por dos años, de la mesa de discusión del proyecto de cooperación Chileno-Alemán «Gestión de Residuos Peligrosos en Chile», con la participación de ASIMET, SOFOFA, AEPA, SESMA, MINSAL y CONAMA. ha sido, además, coordinador de proyectos de la Fundación Universitaria Iberoamericana y director académico.

Ha realizado proyectos para empresas e instituciones públicas, sobre gestión de residuos y estudios de impacto ambiental, etc y es Auditor Registrado de Acuerdo de Producción Limpia (INN-Instituto de Normalización Nacional de Chile).

**Susana Pombo da Torre**

Licenciada en Química (Especialidad Medio Ambiente)  
por la Universidade de Santiago de Compostela

Actualmente su actividad profesional se desarrolla en el ámbito de la consultoría ambiental privada (Adantia, S.L.) como Técnico de Medio Ambiente.

Anteriormente fue técnico de Investigación en el Departamento de Modelización Ambiental de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería, donde participó en el convenio entre la Consellería de Medio Ambiente e Desenvolvemento Sostible de la Xunta de Galicia y la Universidade de Santiago de Compostela: «*Implantación de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrado de la contaminación en Galicia*».

Coautora de guías metodológicas de aplicación de la autorización ambiental integrada en explotaciones porcinas, explotaciones avícolas y en la industria conservera de pescados y mariscos, publicadas por la Consellería de Medio Ambiente e Desenvolvemento Sostible de la Xunta de Galicia.

Ha obtenido la distinción de los cinco mejores expedientes de la 2.<sup>a</sup> promoción del Máster en Ingeniería Ambiental impartido por la Universidade de Santiago de Compostela. Su proyecto final de Máster consistió en el Estudio de viabilidad de la recogida y pre-tratamiento de aceites vegetales usados en la provincia de A Coruña.

**Rita Puig Vidal**

Doctora en Ingeniería Química por el IQS de Barcelona  
(Universidad Ramon Llull)

Su actividad profesional se desarrolla dentro de la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC) como profesora e investigadora. Como investigadora está especializada en temas ambientales, concretamente el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) y la Ecología Industrial (EI). Es autora del primer libro sobre Análisis del Ciclo de Vida escrito en español y publicado por la editorial Rubes en 1997. Es Directora de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Igualada (UPC). Esta Escuela es uno de los líderes mundiales en la formación sobre ingeniería y tecnología del cuero.

Es actualmente directora también de dos programas de postgrado de la UPC relacionados con la gestión ambiental, el aseguramiento de la calidad y la prevención de riesgos.



### **Miquel Rigola Lapeña**

Ingeniero Químico y Profesor Titular de la Universitat de Girona

Después de ocupar diversos cargos profesionales y directivos en la empresa privada, desde 1990 es Profesor Titular de la Universidad de Girona donde imparte diversas asignaturas de Ciencias Ambientales, con enfoques que van desde la prevención de la contaminación a los diversos aspectos de tratamiento de las corrientes residuales. Es Director del Instituto de Medio Ambiente de la misma Universidad.

También ha sido Director de la Subdivisión de Medio Ambiente y Energía en la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUUDI), teniendo a su cargo la implantación del programa de *Cleaner Production*, entre otras responsabilidades.

Ha publicado «Producción + Limpia» (Ed. Rubes), «Tratamiento de Aguas Industriales» (Ed. Marcombo), y dos manuales para la Generalitat de Cataluña sobre «Prevención en origen de la contaminación en la empresa» y «Prevención de la contaminación en el uso de disolventes», así como capítulos de libros, incluyendo «Risk Reduction through Cleaner Industrial Production» en el libro «Risk reduction-Chemicals and Energy into the 21<sup>st</sup> century». (Ed. Taylor & Francis), y numerosos artículos técnicos y científicos.

Participa en las Redes catalana y española de Anàlisis del Ciclo de Vida, y es Miembro del Consejo de Dirección de la Agencia de Residuos del Departamento de Medio Ambiente del Gobierno Autónomo Catalán.



### **Marta Roca Lamolla**

Economista por la Universidad de Barcelona (UB), Master Intervención y Gestión Ambiental (UB), Post-Grado «Economía y Medio Ambiente»(UB), Cursos de medio ambiente y sostenibilidad

Su actividad profesional es en diversos ámbitos. Ha dirigido «l'Escola de la Donna» economista del servicio de medio ambiente, ambos de la Diputación de Barcelona. Conferencias, jornadas, ponencias, miembro de la comisión del Colegio de Economistas de Cataluña, congresos, workshops de expertos, participación en revistas y periódicos, asesoría empresa y entes locales, estudios de medio ambiente y Sostenibilidad.

Docencia: Profesor 20 años del Master; Economía, persona y Sociedad (UB) Economía de la Sostenibilidad en las Cámaras de Comercio de Sabadell y Tarrasa. Y Colegio de Economistas y Registradores de Barcelona. CONAMA.

Publicaciones: «Del paso de la pime a la pime sostenible» publicado por la Conselleria de Medi Ambient i Habitatge de la Generalitat de Catalunya. «Diseño de contenidos mínimos de los indicadores económicos de las Memorias de Sostenibilidad» publicado por el Colegio de Economistas de Cataluña. «Nueva edición del anterior, por Editorial Deusto». «Tratamiento contable de los aspectos medioambientales de la empresa» en proceso de publicación. Conselleria de Medi Ambient. Generalitat de Catalunya. «Empresa XXI; hacer rendible lo sustentable». Editorial Dunken Buenos Aires. «Adaptación y nuevos capítulos para los Países de la Mediterránea» del libro Del paso... (frances, castellano e ingles).

Participación en los libros «Plan de Residuos e Indicadores ambientales Municipales» de la Diputación de Barcelona.



### **Montserrat Soliva Torrentó**

Doctora en Ciencias Químicas por la Universidad Autónoma de Barcelona

Su actividad profesional se ha desarrollado en el ámbito de la docencia y de la investigación y asesoramiento en el ámbito del tratamiento de residuos orgánicos.

Profesora durante más de 30 años de la Escola Superior d'Agricultura de Barcelona-UPC.

Especializada en compostaje y en la caracterización, diagnóstico y aplicación al suelo de residuos orgánicos. Ha publicado numerosos artículos y ha participado en proyectos de investigación y congresos relacionados con el tema.

# PRÓLOGO

La aplicación de las políticas de residuos en los últimos años y el desarrollo de normas específicas para determinados flujos está enfrentándonos con el reto de identificar cual es la gestión más adecuada para los diferentes flujos de residuos de composición diferente y de origen diverso (los industriales, la basura doméstica, los lodos de depuración de las aguas residuales, etc.). Se trata por tanto aplicar la política ambiental en materia de residuos para gestionarlos correctamente, seleccionando en cada caso los tratamientos más adecuados a las características de un residuo, los que sean ambiental y económicamente viables, sin olvidar la proporcionalidad entre los costes asociados a los tratamientos y los resultados obtenidos.

La aplicación de las políticas de gestión de residuos respetando el principio de jerarquía establecido en la normativa de residuos, conduce a tomar medidas para reducir en origen la carga contaminante de los residuos, a disminuir la cantidad de residuos generados, a seleccionar tratamientos adecuados y a fomentar el reciclado de materiales, y por último a la valorización energética frente a la eliminación.

El libro aborda la problemática de los residuos de forma detallada, analizando la problemática de los diversos flujos desde la generación, los problemas de contaminación asociados, las características, y las tecnologías de tratamiento. Como se puede extraer de su título describe múltiples posibilidades de reciclaje de distintos tipos de residuos, incluyendo también aspectos relacionados con la valorización energética. Es sin duda en este contexto una herramienta valiosa para mejorar el conocimiento sobre las posibilidades de reciclaje de residuos de distinta procedencia, y también para facilitar la selección de las tecnologías de tratamiento adecuadas y las posibilidades de valorización energética de los distintos tipos de residuos. En definitiva este libro permite explorar las distintas opciones de gestión y seleccionar las opciones más adecuadas en distintas situaciones para residuos de determinadas características.

La publicación de este libro supone una fuente valiosa de información para las administraciones y los técnicos del sector sobre las posibilidades de las diferentes opciones de gestión. Estamos seguros de que su lectura va a contribuir a orientar una gestión óptima de los residuos.

ELENA ESPINOSA  
Ministra de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino

# PRESENTACIÓN

Esta *segunda edición* (la primera publicada en 1999) añade problemáticas tan importantes como los residuos domiciliarios, los fangos de depuradora, los residuos de la minería o la biomasa.

La ingente cantidad de residuos que genera nuestra sociedad es percibida por el ciudadano como un problema con connotaciones económicas, un estorbo con implicaciones ambientales y, con frecuencia, como un tema sanitario. En el espíritu de este libro subyace la idea de ir formando especialistas y divulgadores para alterar la percepción de la población y que cambie la idea de un problema hacia la necesidad del recurso material que ahora denostamos como residuos.

El volumen más significativo de la obra estriba en explorar las posibilidades de valorización, o reciclaje, de un sin fin de residuos agrupados por topologías o por sectores productivos. Sin embargo, para poder recuperar y reciclar residuos es preciso conocer las tecnologías que permiten estos procesos de una manera segura. Estos aspectos son los descritos en la primera parte del libro.

El mundo de los procesos industriales se ve de manera muy diferente cuando se enfoca desde la óptica ambiental. El arroz, por ejemplo, es uno de los alimentos básicos para la mayoría de los habitantes del planeta. Su producción masiva emite metano, gas de potente efecto invernadero, el residuo que deja es muy importante pero, en particular la cascarilla constituye, en la mayoría de los países productores un problema ambiental. La pirólisis es una tecnología que permite recuperar la sílice amorfa (uno de los materiales de construcción más sofisticados ya que potencia las características del hormigón) a la vez que permite transformar en energía fácilmente reutilizable la fracción orgánica remanente en la cascarilla.

La cultura imperante en nuestra sociedad industrial ha sido la de producir y tirar. Es decir, ha sido la sociedad de consumo y vertedero hasta que se ha llegado a extremos, que hemos convenido en definirlos como insostenible. Con la globalización de la economía y los medios de producción hay quien piensa que podemos transferir este problema a los países productores. Quizás esto sea posible a corto plazo, pero la realidad se impondrá y todos deberemos empaparnos del reciclaje como cultura de supervivencia.

## OBJETIVOS DEL LIBRO

El hilo argumental de la obra sigue fielmente la lógica en que parece vamos descubriendo los habitantes del siglo XXI: la materia prima, incluso la más abundante, no es infinita y con el reciclaje disponemos de una herramienta para poder reutilizar los residuos y volverles a dar vida como materiales. Solo hay que poner un ejemplo para comprenderlo. Un coche nuevo, máximo símbolo de nuestra civilización, es una fuente constante de residuos. Pero cuando es «nuevo» contiene un mínimo del 60% en peso de material reciclado y todo el mundo no se lo plantea, en cambio ponemos mala cara cuando nos enteramos que un material de construcción está hecho a partir de un residuo.

Siguiendo este guión, la publicación se estructura en tres partes. En la primera, que hace las veces realmente de introducción, es el capítulo destinado a la ciencia de los materiales y el reciclaje, puesto que

es un preludio de los restantes capítulos de la obra y señala las posibilidades del reciclaje y su correlación con la ciencia de los materiales.

La segunda parte pasa revista a la lista de residuos, de acuerdo con la clasificación establecida por el Catalogo Europeo de Residuos y, atendiendo básicamente a su naturaleza orgánica o inorgánica, así como las posibilidades de reciclaje que ofrecen de acuerdo con las tecnologías descritas anteriormente. Esta sección pretende desarrollar algunas de las tecnologías disponibles que pueden ser aplicables a los procesos de reciclado de residuos. La finalidad consiste en considerar el tratamiento como una etapa puente que, partiendo de la inertización del residuo, lo transforma y lo valoriza en un material útil o reciclado. Asimismo, también se estudian las tecnologías basadas en los procesos anaerobios y el compostaje en particular como técnica de reciclaje de los residuos orgánicos, dada su enorme importancia y trascendencia actual.

Una vez descritas las tecnologías de tratamiento y valorización aptas para el reciclaje de residuos, se exponen las diversas características y tipologías de los residuos, para explicar como pueden ser valorizados. En líneas generales, la filosofía que puede desprenderse del texto parte del catálogo europeo de residuos pero los va clasificando en residuos livianos de naturaleza orgánica, aptos para su transformación en biocombustibles o materiales de construcción ligeros, dadas sus buenas propiedades de aislamiento térmico y acústico. Mientras que los residuos de naturaleza inorgánica, más densos, son adecuados para su reciclaje en forma de materiales para la construcción, pues presentan altas prestaciones mecánicas. Finalmente existe otra topología de residuos que, de momento, no hay otra alternativa que el tratamiento.

La tercera parte, la más extensa, dedica un capítulo a cada una de las gamas de materiales reciclados que pueden lograrse con residuos industriales, residuos domiciliarios (RSU), fangos de depuradora, residuos mineros, biomasa residual, etc. Cada uno de estos capítulos, hasta un total de diez, esta lleno de ejemplos prácticos de reutilización de residuos. También se hace mención al estado de la tecnología mundial sobre tratamiento de residuos, así como sus previsibles tendencias.

FERNANDO REYERO SUÁREZ  
Presidente de la Federación Española de Asociaciones  
del Medio Ambiente (FEAMA)

# CONTENIDO

Índice de autores .....	IX
Prólogo .....	XIX
Presentación .....	XXI
Capítulo 1. Generalidades, concepto y origen de los residuos..... ( <i>Xavier Elias</i> )	1
Capítulo 2. Clasificación y gestión de residuos. La Bolsa de Subproductos..... ( <i>Xavier Elias, Pere Fullana, Jordi Garcia, María Martín, Miquel Rigola, Marta Roca, Josep. M.<sup>a</sup> Salas</i> )	43
Capítulo 3. Tecnologías aplicables al tratamiento de residuos. Valoración y fabricación de materiales a partir de residuos..... ( <i>Xavier Elias, Jordi Garcia, Marga López, Montserrat Soliva</i> )	91
Capítulo 4. Tipología de los residuos en orden a su reciclaje..... ( <i>Xavier Elias, Joan Feliubadaló, Xavier Flotats, Jordi Garcia, Albert Magrí, Susana Pombo, Rita Puig</i> )	173
Capítulo 5. Residuos destinados a la fabricación de materiales aislantes..... ( <i>Xavier Elias</i> )	261
Capítulo 6. Residuos destinados a la fabricación de materiales densos..... ( <i>Xavier Elias</i> )	339
Capítulo 7. Residuos vitrificables .....	429 ( <i>Xavier Elias</i> )
Capítulo 8. Valoración de residuos procedentes de grandes industrias..... ( <i>Xavier Elias</i> )	533
Capítulo 9. Los residuos mineros..... ( <i>Xavier Elias, Juan B. Menéndez, Jorge Molina</i> )	637

---

Capítulo 10. Aprovechamiento de residuos agrícolas y forestales.....	697
<i>(Alvaro Marcelo Canales, Xavier Elias, Maribel Herrero)</i>	
Capítulo 11. Métodos de valoración y tratamiento de residuos municipales.....	785
<i>(Xavier Elias)</i>	
Capítulo 12. Vías de tratamiento y valorización de fangos de depuradora.....	909
<i>(Xavier Elias)</i>	
Capítulo 13. Los plásticos residuales y sus posibilidades de valoración .....	997
<i>(Xavier Elias, Lorena Jurado)</i>	
Capítulo 14. Reciclaje y tratamiento de residuos diversos.....	1033
<i>(Ramón Altadill, Ana Andrés, Aina Bruno, Jordi Bruñol, Amparo Cortés, Gloria Díez, Xavier Elias, Fructuos Mañá, Enric Ripoll)</i>	
Anexo. Glosario .....	1155
Índice analítico .....	1251

---

# Generalidades, conceptos y origen de los residuos

---

# 1

*Xavier Elias*

## ÍNDICE

---

<b>1. Generalidades, conceptos y origen de los residuos</b> .....	3	1.6. Noción de residuo cero .....	26
1.1. El medio ambiente .....	3	1.7. Los límites del reciclaje .....	27
1.2. Los vectores contaminantes .....	4	1.8. El reciclaje y la ciencia de los materiales ..	28
1.3. Introducción a la contaminación atmosférica .....	6	1.9. La sostenibilidad .....	32
1.4. Introducción a la contaminación de las aguas .....	12	1.10. Problemas medioambientales comunes en la UE .....	36
1.5. Definiciones sobre residuos .....	18	1.11. Noción de ecología industrial .....	40
		<b>Bibliografía</b> .....	41

## RESUMEN

---

En la primera parte de este capítulo se lleva a cabo una ligera introducción al problema que la contaminación atmosférica, las aguas residuales y los residuos contribuyen al deterioro del ambiente y la salud.

La parte central está destinada a la evaluación de los distintos tipos de residuos que se producen en España, así como la política de gestión a seguir. También se introducen los conceptos de residuo cero y sostenibilidad, en particular la energética.

La parte que hace las veces realmente de introducción es el capítulo destinado a la ciencia de los materiales y el reciclaje, puesto que es un prelude de los restantes capítulos de la obra y señala las posibilidades del reciclaje y su correlación con la ciencia de los materiales.

## 1. Generalidades, conceptos y origen de los residuos

Este capítulo de carácter introductorio, pretende explicar aquellas definiciones y aspectos más generales que surgen en la relación medio ambiente/residuos. Así, partiendo de la definición de residuo y de la importancia de su generación y distribución; se contextualizarán en el marco de los distintos «vectores ambientales», enfatizándose el hecho de que, al final de los procesos de tratamiento, y tecnologías anticontaminantes, siempre se contabiliza un aumento de residuos. De ahí arranca la necesidad del reciclaje.

De esta forma se produce la aparente paradoja, de que a medida que se depuran las aguas residuales y las emisiones atmosféricas, se generan más residuos sólidos. Ello es debido a que en lugar de diluir y dispersar los contaminantes en el río, mar, o atmósfera, estos se separan y concentran en forma de fangos y residuos en fase sólida (lodos, polvos...), apareciendo como resultado final. Es decir, cuanto más se depura, mayor es el volumen de residuos generados. Como quiera que en muchos casos la polución es un efecto de la «ineficiencia» del sistema de producción, con la instalación del sistema de separación/concentración, se producen dos efectos:

- La polución se cuantifica en forma de residuo y se pone de relieve de manera estridente la ineficiencia productiva.
- La gestión de este residuo supone un coste que debe asumirse.

El residuo generado por la producción de una tonelada de acero, pasta de papel o fibra artificial se ha reducido sustancialmente en los últimos años, como consecuencia de implantarse sistemas productivos mucho menos contaminantes, denominados limpios, por ejemplo las BAT's (*Best Available Technology*).

El avance tecnológico afortunadamente, en la gran mayoría de casos, va a favor de una mayor eficiencia productiva e incluso los nuevos equipos y factorías, desde su inicio, incorporan el concepto de minimización del impacto ambiental, con lo que su incidencia por tonelada producida es progresivamente menor. El único freno en esta dirección proviene de tres aspectos:

- La garantía sanitaria, especialmente en la industria alimentaria. Es decir, este sector no per-

mite el uso de determinados subproductos recuperados (caso de las harinas cárnicas) o el empleo de envases reciclados.

- Aquellos sistemas productivos abastecedores y productores «just in time» que generen polución con el cambio de producción.
- Los controles destructivos para verificar la calidad.

Así mismo, se comentarán aquellos aspectos sobre la gestión de residuos surgidos a partir de las directrices políticas internacionales, que han determinado la urgente necesidad de reciclar, apareciendo dentro de este apartado, la viabilidad de las Bolsas de Residuos como herramienta de gestión. Todos estos principios están contenidos en el documento sobre Crecimiento y Sostenibilidad que en el año 1992 elaboró la Comisión Europea.

En los capítulos destinados a los residuos, se indicará claramente la jerarquía de los principios aplicables a la gestión de los residuos, que empieza por la minimización, sigue con la valorización y termina con los tratamientos finalistas de los residuos.

Al final del capítulo, también se recogerá de forma sintética, la importancia que la energía tiene en el reciclaje; además de realizar una breve incursión introductoria a la nueva herramienta ambiental que representa el análisis del ciclo de vida (ACV).

### 1.1. EL MEDIO AMBIENTE

En primer lugar, es necesario introducir el concepto de medio ambiente debido a la importancia que juega en el contexto de esta obra. La complejidad y alcance de las connotaciones asociadas con el medio ambiente requiere siempre de un análisis multidisciplinar, que contemple desde todas las facetas, la creciente relación del binomio sociedad/medio.

El medio ambiente podría definirse como el conjunto de sistemas físicos y biológicos que aparecen como resultado de la interacción del hombre moderno con el hábitat que le rodea.

Es evidente que el desarrollo de la definición del párrafo anterior, tan escueta, será interpretado de manera completamente diferente según la formación de las personas que analicen un mismo fenómeno, así, por ejemplo, la hipotética afectación al medio ambiente que ocasionará la implantación de un polí-

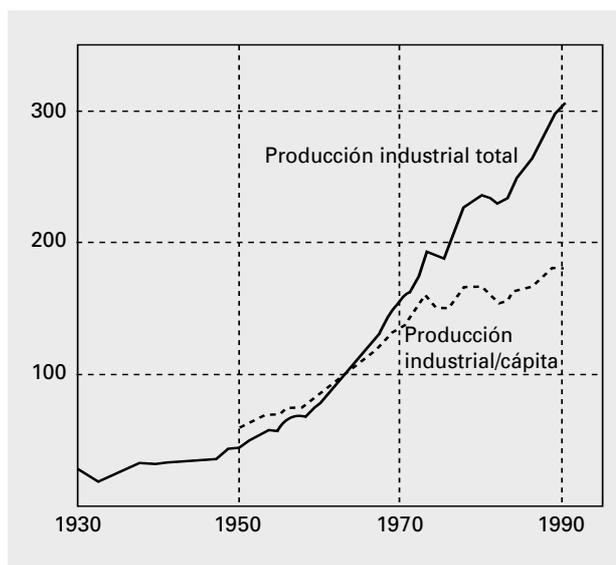
gono industrial, podría ser interpretado de la siguiente manera:

- El biólogo analizaría el impacto que la construcción y funcionamiento del conglomerado industrial ejercería sobre la flora y fauna local.
- El urbanista se decantaría por los problemas derivados de la ocupación del suelo, o los efectos que el incremento del tráfico provocaría sobre las poblaciones vecinas.
- El ingeniero atendería a los problemas de infraestructura sanitaria, que incluiría la evacuación de los efluentes y la contaminación atmosférica.
- El geólogo prestaría más atención a la alteración de las aguas subterráneas y a la posible contaminación del subsuelo.
- El sociólogo analizaría el impacto que el funcionamiento de la actividad industrial ejerce sobre las personas y su modo de vida.
- El médico dedicaría sus esfuerzos a prevenir los efectos que el desarrollo de la citada actividad pudiera ejercer sobre la salud de los vecinos.

Así, se podría ir citando la perspectiva y actitud de los diversos profesionales frente a un determinado escenario. Con lo cual, debería convenirse que el medio ambiente admite un análisis multidisciplinar, donde cada profesional puede aportar su conocimiento específico que permita hacer más compatible las actividades de la sociedad contemporánea con su entorno.

Tomando como punto de partida la reciente historia contemporánea, dicha relación persona/medio, se encuentra muy condicionada, con independencia que durante el último siglo la humanidad ha conseguido un indudable nivel de bienestar a base de una potente industrialización, que ha desplazado a gran parte de la población hacia las ciudades, habiéndose desarrollado espectacularmente. Existen tres factores importantes: *demografía*, *densidad de población* e *industrialización* que han alterado profundamente la relación sociedad/medio, precisándose de múltiples mecanismos para recuperar el equilibrio de aquello que se ha convenido en denominar medio ambiente.

El gráfico de la Figura 1.1 indica que, a partir de 1950 década siguiente a la finalización de la segunda guerra mundial, el incremento de la actividad industrial ha sido incesante. Aquí surge una pregunta inquietante desde la óptica ambiental: ¿Hasta donde se



**Figura 1.1.** Producción industrial en el mundo. Índice (1993 = 100). (Fuente: Naciones Unidas. Oficina sobre población).

puede crecer? La gráfica a trazo discontinuo indica que se tiende a una cierta estabilización y ello es debido a que, si bien la producción industrial ha aumentado, la demografía lo ha hecho en mayor proporción, con lo que el cociente tiende a mantenerse. Sin embargo, una mayor población equivale a una agricultura más intensiva, más servicios, más residuos, más energía, etc. Y ello conduce a otra pregunta clave en el terreno del medio ambiente ¿Un desarrollo sostenible es compatible con un incremento sin límite de la población?

## 1.2. LOS VECTORES CONTAMINANTES

Una de las primeras facetas que deberían abordarse para el estudio del problema, consiste en analizar las vías por las que se produce la afectación del medio ambiente. Los diversos impactos ambientales, es decir, los posibles efectos negativos provocados sobre el medio ocasionados por el flujo de materias primas, energía o emisiones, se ha convenido estructurarlos en varios factores, denominados vectores contaminantes, que sintéticamente son:

- *Aire*: La calidad del aire, así como el ruido son dos parámetros básicos con los que se evalúa el estándar de vida. Con el término aire se engloba todo el flujo de contaminantes que emanan del tráfico, la generación de electricidad, la industria, calefacciones, etc.

- *Agua:* La contaminación del agua puede tener un origen difuso, como sucede por ejemplo con las prácticas agrícolas, o bien proviene de los vertidos de aguas residuales que aparecen como resultado de las diversas actividades industriales, urbanas, turísticas, etc. Estas aguas deben depurarse antes de ser devueltas al río o al mar, debido a su alta carga contaminante. El agua actúa como disolvente y soporte físico que transporta los contaminantes que se han vertido en ella. En general los países disponen de una legislación que señala los límites máximos de contaminantes que pueden contener estas aguas antes de ser vertidas al cauce público.
- *Residuos:* que actúan como vectores de todo tipo, siendo el último eslabón de cualquier actividad, ya sea doméstica, industrial, agrícola, etc. Por ejemplo, el agua residual, una vez depurada deja un residuo denominado fango. La finalidad básica de toda depuración consiste en transferir el contaminante de un medio muy difundible, como es el agua, a otro más controlable como es el fango. Lo mismo acontece con los gases. El gas es el medio más fácilmente expandible y, por tanto, contaminante. La instalación de un filtro, o un equipo de tratamiento de la corriente gaseosa, retira los elementos de la corriente gaseosa y los transfiere a un medio sólido o líquido.
- *Utilización de la energía:* la energía, en cualquiera de sus formas, está omnipresente en nuestra vida. El nivel de desarrollo de un país es generalmente función de este parámetro, puesto que la energía interviene en la inmensa mayoría de procesos de fabricación, transporte,

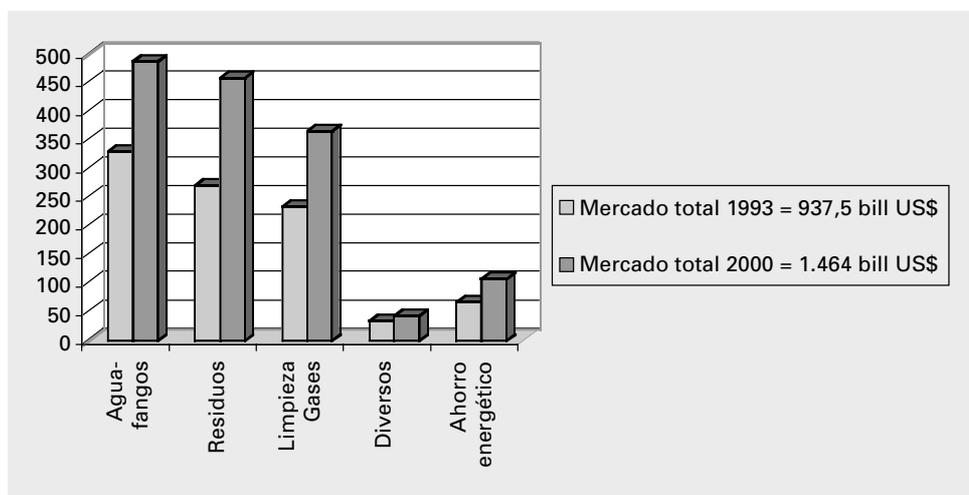
climatización, etc. Su generación, transporte, transformación y usos, provoca una afectación al medio.

- *Ruido, olores:* Estos vectores ampliamente distribuidos en las sociedades industriales, afectan directamente a la calidad de vida. Cuando su intensidad y/o persistencia es pertinaz pueden adquirir carácter patológico.

Para ilustrar, aunque sea de manera indirecta, la importancia asignada a los diversos vectores, se acompaña el histograma de la Figura 1.2 que representa las inversiones que los países destinan a cada uno de ellos. En 2001, el sector público de la UE ha invertido casi 54.000 millones de euros, lo que se traduce en el 0,6% del PIB de la UE, los gastos de los servicios 75.000 millones y la industria 38.000 millones de euros. Según la Oficina Europea de Estadística (Eurostat), entre 1996 y 2002 los gastos en medio ambiente procedentes del sector público aumentaron en un 6%.

En el 2005, estas cifras eran muy superiores. En la UE, y también en los EE UU, la legislación obliga a tomar medidas para la protección del medio ambiente. Así, por ejemplo, en la UE es obligatorio depurar las aguas residuales en poblaciones de más de 2.000 habitantes. Ello equivale a decir que el monto económico que se deberá destinar a ejecutar esta legislación obligará a unas cuantiosas inversiones.

Según fuentes procedentes de las Agrupaciones Empresariales de Tratamiento de Residuos Industriales, en comunicaciones llevadas a cabo en la Feria Tem/Tecma (Madrid 2006), el sector español de residuos industriales facturó, en 2005, 830 millones de €, cifra que espera incrementar en un 7,8% en 2006.



**Figura 1.2.** Inversiones que los países dedican a cada vector contaminante.

En contrapartida, un estudio llevado a cabo por el Banco Mundial presenta como resultado que la mala gestión ambiental derivada de prácticas ilegales o corrupción es los aspectos de manejo forestal y biodiversidad provoca un daño económico mundial cercano a los 30.000 millones de dólares americanos al año. De este total entre 15.000 y 20.000 millones se atribuyen a pérdidas fiscales por explotaciones forestales; 9.000 millones se deben a la pesca salvaje; y entre 6.000 y 10.000 millones se atribuyen al tráfico de especies.

En los países en vías de desarrollo el daño económico causado por la mala gestión de sus recursos y valores naturales puede estimarse entre un 4 a 8% de su PIB.

### 1.3. INTRODUCCIÓN A LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

La atmósfera es un reservorio ambiental muy extenso y constituye el destino de la mayor parte de los contaminantes que arroja el hombre. Algunos de los compuestos emitidos son muy ligeros y persistentes lo que produce un impacto a largo plazo de consecuencias insospechadas, sirva de ejemplo el caso de los freones y la disminución de la capa de ozono estratosférico.

Se puede definir la contaminación atmosférica como la presencia en el aire de sustancias, o formas de energía, que impliquen riesgo, daño o molestia grave para personas, animales o bienes de cualquier tipo.

Las alteraciones del aire pueden ser:

- Físicas (calor, radiaciones,...).
- Químicas: naturales (polvo,  $SO_2$ ,...) o artificiales (CO, COV's,...).
- Biológicas (microorganismos, bacterias, esporas...).

Cerca de un 80% de la población de la UE vive en núcleos urbanos. La conjunción del tráfico, las calefacciones, las industrias próximas y el propio

clima generan una serie de interacciones entre los diversos vectores y los parámetros de intervención: meteorológicos, demográficos, energéticos, topográficos, urbanísticos, etc., que desequilibran el ecosistema urbano y conforman un escenario agresivo con el medio receptor: los ciudadanos.

La atmósfera urbana puede considerarse como un inmenso reactor químico extremadamente complejo donde se forman, de manera permanente, una serie de compuestos químicos ajenos a la composición normal de la atmósfera y que son respirados habitualmente por las personas.

Las principales fuentes contaminantes se hallan reflejadas en la Figura 1.3.

Estos valores corresponden a Cataluña. Dividiendo esta cifra por los 6.000.000 de habitantes y los días del año, se llega a la conclusión de que cada ciudadano emite a la atmósfera casi 16 kg de gases contaminantes por día.

#### 1.3.1. Emisión e inmisión

En términos muy sencillos la emisión puede definirse como la cantidad de contaminantes que un foco fijo, una chimenea, o móvil, un vehículo, lanza a la atmósfera. Por tanto, sus límites deberán ser fijados por las autoridades ambientales.

La inmisión puede definirse como el efecto que produce sobre las personas las dispersiones atmosféricas de las emisiones. En este sentido puede afirmarse que los límites que deberán imponerse a las inmisiones, las deberá fijar la autoridad sanitaria. Un estudio realizado entre 2002 y 2005 en seis ciudades europeas, entre ellas Madrid, ha demostrado que la cantidad de contaminación a la que estamos expuestos puede ser, en contra de lo que se creía, muy diferente al nivel propio de la ciudad de residencia. Es decir, se puede vivir en una ciudad muy polucionante y los ciudadanos permanecer a salvo de la contaminación y viceversa. Así, en Cataluña, el Departamento

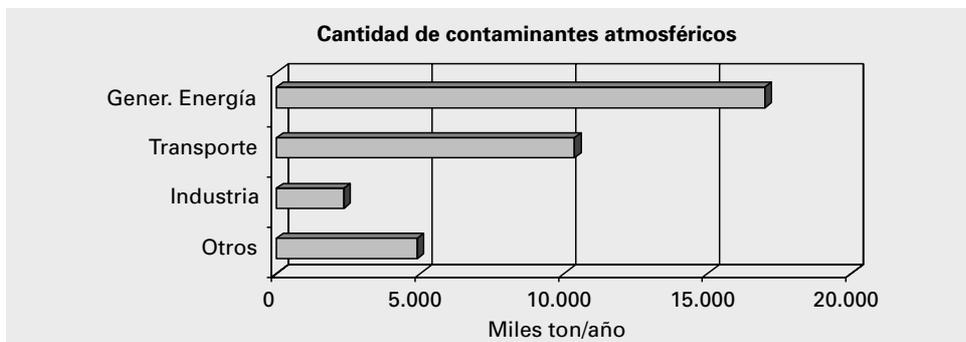


Figura 1.3. Origen de los contaminantes atmosféricos.

de Medio Ambiente tiene instalada una red de las más extensas y densas a nivel mundial (XVPCA), no obstante, los expertos concluyen que, de momento, la citada distribución espacial no permite extrapolar valores de la calidad del aire de una parte del territorio a otras. Otro ejemplo de lo expuesto lo constituye la medida de plomo, en su mayor parte debida al consumo de gasolina con plomo. La Directiva 1999/CE/30 establece un límite de  $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  que, si bien no se alcanza en ninguna zona del territorio del área metropolitana de Barcelona, los máximos valores se registran en Sant Llorenç dels Hortons, pequeña localidad alejada de Barcelona.

La Figura 1.4 esquematiza, la interacción de una forma de contaminación atmosférica con la contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. La deposición sobre el terreno, puede dar lugar a fenómenos de contaminación de suelos.

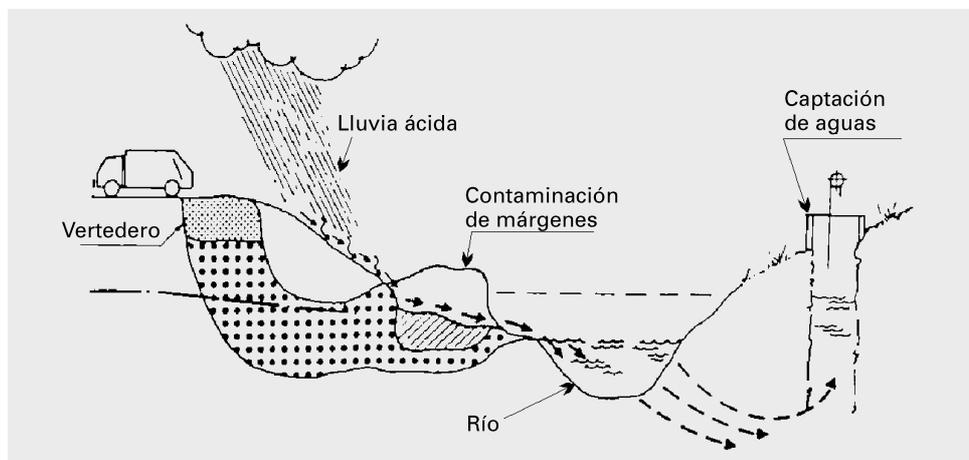
### 1.3.2. Los contaminantes atmosféricos

Una breve referencia a los principales grupos de contaminantes atmosféricos comprendería:

- *Dióxido de carbono  $\text{CO}_2$* . Las actividades naturales generan una gran cantidad de  $\text{CO}_2$ , y se calcula que tan sólo el 5% es de origen antropogénico. Sin embargo, no es aconsejable menospreciar dicha cantidad, ya que, por desgracia, va en aumento cada día contribuyendo de manera decisiva al efecto invernadero. En España, el transporte es el mayor emisor de  $\text{CO}_2$ . Curiosamente, según un estudio de la Universidad de Columbia en Nueva York (publicado en la revista *Nature*), el aumento de  $\text{CO}_2$  podría hacer aumentar los recursos de agua dulce y el riesgo de inundaciones. El  $\text{CO}_2$  reduce la capa

de transpiración de los vegetales y ello se traduce en que las plantas absorben menos agua del suelo.

- *Óxidos de azufre  $\text{SO}_x$* . La fuente antropogénica principal procede de la combustión de algunos combustibles fósiles (carbones y derivados del petróleo). Es irritante, soluble en agua y su vida media en la atmósfera es de pocos días. El efecto más conocido sobre el medio es la lluvia ácida pero en el organismo de los seres vivos provoca todo un sinfín de alteraciones como: disminución de la flora intestinal, afectación al sistema cardiovascular, irritaciones en el sistema respiratorio, mucosas, etc. Los  $\text{SO}_x$  también provocan oxidaciones en los metales férricos y edificios.
- *Monóxido de carbono  $\text{CO}$* . Es un componente que tiene su origen principal en una oxidación parcial del carbono, fruto de las combustiones incompletas. Dentro las áreas urbanas el principal responsable de la presencia de  $\text{CO}$ , es el tráfico. Concentraciones de 50 a 100 ppm son peligrosas para las personas. Otras zonas de generación son los vertederos (descomposición anaerobia de la materia orgánica). El principal riesgo del  $\text{CO}$  es su afinidad por la hemoglobina (300 veces superior que por el oxígeno), lo que puede conducir a intoxicaciones letales. Su vida media en la atmósfera es de un mes.
- *Óxidos de nitrógeno  $\text{NO}_x$* . Los óxidos de nitrógeno tienen un origen antropogénico como consecuencia de combustiones a alta temperatura y aparecen como resultado de la combinación del oxígeno con el nitrógeno atmosférico. Su vida en ella es muy larga. La formación de  $\text{NO}_x$  es directamente proporcional al exceso



**Figura 1.4.** Repercusión de la contaminación atmosférica.

de aire en las combustiones y a la temperatura. A partir de 10 ppm causa irritaciones en las mucosas y en el sistema respiratorio. El NO puede unirse al CO para reducir la capacidad de transporte de oxígeno a las proteínas.

- *Sulfuro de hidrógeno*  $H_2S$ . Presente en todas las reacciones de fermentación anaerobia. Desprende un olor desagradable (huevos podridos) que lo delata. En mayores proporciones es un gas letal. Liberado a la atmósfera se oxida a  $SO_2$ .
- *Metano*  $CH_4$ . Las fuentes principales son las emisiones fugitivas en el transporte de gas natural desde la zona de extracción hasta las plantas de combustión, los incendios, las emisiones de biogás de vertederos, la ganadería, etc. La reducción de  $CH_4$  en la atmósfera se considera factible, por ser un compuesto que puede ser aprovechado como fuente energética alternativa. Tiene más eficacia que el  $CO_2$  en el proceso de absorción de la radiación terrestre (unas 25 veces más), aunque su contribución al efecto invernadero es menor, ya que su concentración atmosférica es más pequeña. Se calcula que su presencia en la atmósfera es de unos 11 años.
- *Ozono*  $O_3$ . Es un contaminante secundario, es decir que no procede directamente de ningún foco emisor, sino que es fruto de reacciones químicas de otros contaminantes. Por motivos naturales el ozono se genera por causa de las descargas eléctricas en las tormentas. Su acción en la zona estratosférica es fundamental para neutralizar la acción de los rayos ultravioletas procedentes del sol; aunque a nivel troposférico (zona de la atmósfera donde respiramos) sea contemplado como un gas irritante y de fuerte poder oxidante, por lo que su presencia incontrolada en el suelo es perjudicial para las personas.
- *Hidrocarburos*  $C_nH_m$ . La contaminación atmosférica de estos compuestos presenta diversos problemas, especialmente con los hidrocarburos aromáticos que son tóxicos, pero su presencia en la atmósfera contribuye a la formación del «smog» fotoquímico. Las principales fuentes de producción de estos compuestos son las emisiones de los automóviles y las procedentes de las industrias petroquímicas. Algunos COV muy volátiles y reactivos, como los halocarbonos, alcanzan la estratosfera y destruyen el ozono.
- *Partículas*. Existen múltiples fuentes de generación de partículas, tanto por causas naturales

como antrópicas. Las partículas se pueden diferenciar entre sedimentables, de tamaño superior a 30 micras y en suspensión inferiores a 30 micras. Las partículas en suspensión suelen ser las más perjudiciales para el organismo ya que se inhalan fácilmente. La composición química es muy variable y en combinación con otros contaminantes pueden incrementar significativamente sus efectos nocivos. En las áreas urbanas suelen estar provocadas por la combustión y contienen gran cantidad de HPA (hidrocarburos poliaromáticos) y también COV's y organoclorados. Pueden permanecer en la atmósfera largos períodos de tiempo antes de caer.

- *Humos*. Se podrían definir como un aerosol formado por polvos de tamaño inferior a la micra. Están compuestos por partículas sólidas como carbono, olefinas, metales, etc. La combinación de alguno de estos compuestos como anhídrido sulfuroso, ácido sulfhídrico, ozono, fibras, metales junto a determinadas condiciones climáticas puede provocar un efecto muy negativo para la salud.

El color del humo está en relación con la cantidad y cualidad de contaminantes que contiene. Así:

- Humo blanco o gris suele ser debido a una insuficiente temperatura de combustión de la materia orgánica. Cuando la temperatura de la chimenea se halla entre 150 y 250 °C los hidrocarburos remanentes y/o formados por la insuficiente combustión, condensan y forman aerosoles que dan lugar a este color. La presencia de compuestos inorgánicos también origina esta tonalidad de color. Finalmente hay compuestos que tienen color definido: los compuestos de azufre son de color amarillo y los óxidos de calcio grises.
- Humo negro generados cuando la combustión es deficitaria en oxígeno. Los hidrocarburos se reducen parcialmente y aparecen partículas de carbón (hollín). Se generan, normalmente, en procesos de pirólisis.

En la Tabla 1.1 aparece la contribución de algunos gases de efecto invernadero (no hay que olvidar que el vapor de agua es también gas de efecto invernadero que, por razones obvias, no se incluye en la lista de gases contaminantes), los más representativos, y los límites de su presencia en la atmósfera que marca la Directiva 1999/30/CE.

**Tabla 1.1.** Algunos gases de efecto invernadero y límites de inmisión

Contaminante	GWP	Directiva 1999/30/CE $\mu\text{g}/\text{m}^3$
CO <sub>2</sub>	1	
CH <sub>4</sub>	24,5	
N <sub>2</sub> O	320	40
SO <sub>2</sub>	—	20
CO	—	10
H <sub>2</sub> S	—	
CFC-11	4.000	
CFC-12	8.500	
CFC-13	11.700	
CFC-113	5.000	
CFC-114	9.300	
HCFC-22	1.700	
HCFC-123	93	
HCFC-124	480	
HCFC-141b	630	
HCFC-142b	2.000	
HCFC-225ca	170	
CCl <sub>4</sub>	1.400	
Halon-1301	5.600	

Otros componentes presentes en el aire son los metales. Aunque la cantidad siempre suele ser pequeña, sus efectos son muy tóxicos. Algunos de ellos proceden de las actividades industriales, del tráfico, de la minería, de la incineración de residuos, etc. y, debido a sus efectos sobre la salud de las personas, vale la pena resaltar:

- **Mercurio (Hg).** Es quizás el más nocivo de los metales. Su poder de difusión es enorme debido a su baja temperatura de evaporación (prácticamente la ambiente). Su concentración es particularmente alta en zonas frías (polos) y montañosas. La exposición a pequeñas dosis provoca daños irreversibles en el cerebro, sistema nervioso y riñones. Provoca un progresivo debilitamiento de los músculos, ceguera, parálisis, coma, deformaciones en los fetos y la muerte. La UE estudia la posibilidad de prohibir su empleo para la fabricación de instrumentos (Se calcula que al año se emplean más de 30 toneladas de Hg para la fabricación de termómetros). La industria del cloro emite mucho mercurio. Este metal también va a ser prohibido en la fabricación de materiales electrónicos.
- **Arsénico:** El metabolismo y la potencial toxicidad de este elemento se ven complicados por la biotransformación de formas inorgánicas amono y dimetilarsénico, y por su efecto acumulativo a través de las cadenas tróficas. Se conoce que la forma trivalente es la forma tóxica principal, alterando proteínas y enzimas, al nivel de aminoácidos con grupos sulfidrilos. Otras patologías asociadas al arsénico en el agua de consumo humano son bronquitis, cólicos intestinales, melanosis arsénica y keratosis arsénica. El hidroarsenismo es una enfermedad de tipo endémica (esta patología es también conocida como HACRE o hidroarsenicismo crónico regional endémico).
- **Plomo (Pb).** Se trata de un metal bioacumulable que produce desde anemias a dolores de cabeza, pasando por esterilidad, defectos en los fetos, ceguera, convulsiones e incluso la muerte. Una de las enfermedades asociada a este metal es el saturnismo. Uno de los objetivos de la Comisión europea es prohibir la presencia de este metal en la fabricación de aparatos electrónicos y juguetes, debido a que todas las formas plomo biodisponibles son tóxicas para los organismos vivos. Como buena noticia se calcula que en 1990, el 60% del plomo usado en EE UU procede de reciclado.
- **Cadmio (Cd).** Es un elemento que interfiere en el metabolismo de otros metales como el Zn y el Cu en el cuerpo humano. Afecta al sistema enzimático llegando a causar hipertensión y enfermedades cardiovasculares.
- **Níquel (Ni).** El compuesto NiCO es considerado como el causante de los cambios patógenos en los pulmones y vías respiratorias, llegando a causar cáncer de pulmón. Se encuentra en el humo del tabaco.
- **Cromo (Cr).** El cromo hexavalente es el más tóxico y la propiedad de ser soluble aumenta su peligro. Provoca dermatitis, irrita las mucosas, erosiona el esmalte dental, pérdida de peso, etc. Está considerado como un agente cancerígeno.

### 1.3.3. El EPER (Registro Inventario Europeo de Emisiones Contaminantes)

De acuerdo con la Directiva IPPC, y la Ley nacional y autonómica derivadas, las actividades incluidas en el Anexo I deben informar al denominado EPER, cuyo objetivo es disponer de información relativa a las emi-

siones a la atmósfera y a las aguas por las instalaciones industriales afectadas por la Normativa IPPC, según los requisitos de la Decisión 2000/479/CE, y siempre que se superen los umbrales de notificación establecidos en la misma.

Se han planteado un total de 63 contaminantes (37 en relación con la atmósfera y 26 en relación con las aguas) a controlar y notificar en caso de superación de los valores límites umbrales, tal como se presenta en la Tabla 1.2.

La intención del EPER es que la propia población, que podrá efectuar las consultas por cada sector industrial, por sustancia emitida y localización geográfica, pueda ejercer una cierta presión sobre las industrias más contaminantes para que implanten medidas de reducción y minimización de la contaminación con el objetivo de proteger el medio ambiente. Conviene destacar que el EPER sólo afecta a las siguientes actividades:

1. Industrias energéticas: instalaciones de combustión mayores de 50 MW, refinerías de petróleo y de gas, coquerías, instalaciones de gasificación y licuefacción de carbón.
2. Producción y transformación de metales: industria del metal e instalaciones de calcinación o sinterización de minerales metálicos, e instalaciones para la producción de metales ferrosos y no ferrosos.
3. Industrias de transformación de minerales: instalaciones de fabricación de cemento (>500 t/d), cal (>50 t/d), vidrio (>20 t/d), ma-

teriales minerales (>20 t/d) o productos cerámicos (>75 t/d), e instalaciones para la obtención de amianto y para la fabricación de productos a base de amianto.

4. Industria química: fabricación de productos químicos orgánicos de base, productos químicos inorgánicos de base y fertilizantes, biocidas y explosivos, y fármacos.
5. Gestión de residuos: instalaciones para la valorización o eliminación de residuos peligrosos (>10 t/d) o residuos municipales (>3 t/h), e instalaciones para la eliminación o aprovechamiento de los residuos no peligrosos (>50 t/d) y vertederos (>10 t/d).
6. Fabricación de pasta de papel a partir de madera o de otras materias fibrosas y de papel y cartón (>20 t/d).
7. Tratamiento previo de fibras o productos textiles (>10 t/d).
8. Curtido de cueros (>12 t/d).
9. Industrias agroalimentarias y explotaciones ganaderas: mataderos (>50 t/d), instalaciones para la producción de leche (>200 t/d), materias primas animales (>300 t/d), materias primas vegetales (>300 t/d), instalaciones para la eliminación o aprovechamiento de canales o desechos de animales (>10 t/d), e instalaciones destinadas a la cría de aves de corral (>40.000), cerdos (>2.000) o cerdas (>750).
10. Tratamiento de superficies de materiales, de objetos o productos con utilización de disolventes orgánicos (>200 t/a).
11. Fabricación de carbono o grafito.

**Tabla 1.2.** Identificación de contaminantes atmosféricos con arreglo al anexo A1 de la Decisión relativa al EPER

Contaminante/ Sustancia	Descripción e identificación
CH <sub>4</sub>	Masa total de metano
CO	Masa total de monóxido de carbono
CO <sub>2</sub>	Masa total de dióxido de carbono, de acuerdo con las directrices del IPPC utilizadas por el CMCC
HFC	Masa total de hidrofluocarburos (HFC)
N <sub>2</sub> O	Masa total de óxido nitroso
NO <sub>x</sub>	Masa total de óxidos de nitrógeno, expresados como dióxido de nitrógeno
NH <sub>3</sub>	Masa total de amoníaco
NMVOC	Masa total de compuestos orgánicos volátiles, salvo metano
PFC	Masa total de perfluocarburos (PFC)
SF <sub>6</sub>	Masa total de hexafluoruro de azufre
SO <sub>x</sub>	Masa total de SO <sub>2</sub> y SO <sub>3</sub>

### 1.3.4. Impactos atmosféricos y efectos colaterales: Protocolo de Kyoto

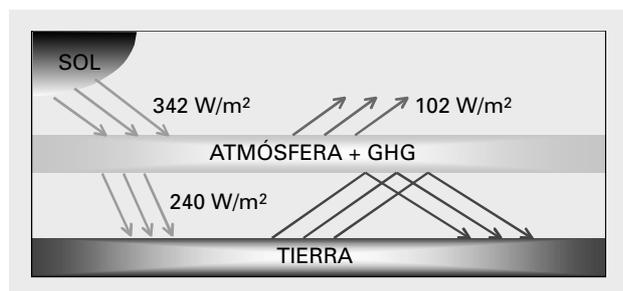
Se considera un impacto de tipo global cuando su efecto se extiende a grandes distancias, alejado del foco de emisión. El ejemplo más claro es el del efecto invernadero a causa de la emisión de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub>. Este impacto global prevé una variación de la temperatura y de las precipitaciones y un aumento del nivel del mar, lo que deriva en diversas consecuencias negativas sobre los ecosistemas terrestres. Los impactos regionales y locales están localizados cerca de las fuentes de emisión, afectando indistintamente a aire, agua y suelos a causa de la presencia de sustancias contaminantes en estos tres medios. Entre estos impactos destaca la generación de resi-

duos, la contaminación de suelos, los impactos visuales y paisajísticos, o la generación de ruidos.

Los sistemas energéticos contribuyen rápidamente al agotamiento de los recursos, y al aumento de la entropía lo que significa degradar muchos ecosistemas. Si se dispone de un modelo energético en consonancia con los criterios de sostenibilidad, la degradación será más lenta ya que se potenciará el empleo de recursos renovables, lo que minimizará los impactos ambientales. La utilización de los recursos energéticos renovables sintoniza claramente con la definición de sostenibilidad, ya que implica el aprovechamiento de energías con una baja intensidad de impactos ambientales, a la vez que posibilita aumentar el ahorro y la eficiencia energética.

El efecto invernadero debe su nombre a que una parte de las radiaciones emitidas por la Tierra quedan retenidas de forma similar a como sucedería en un invernadero convencional, donde el cristal deja pasar la radiación solar pero retiene la radiación infrarroja que se emite desde el interior. En la atmósfera sucede lo mismo, en el sentido que entra más energía de la que sale. La atmósfera es prácticamente transparente a las radiaciones de onda corta, mientras que algunos de los gases presentes absorben la radiación de onda larga proveniente de la Tierra.

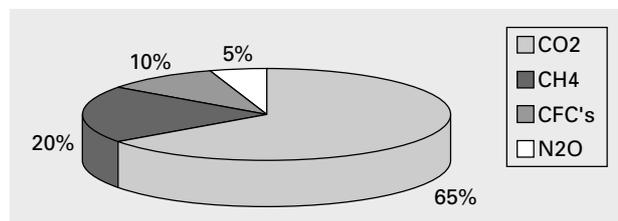
Del total de la radiación solar que llega a la Tierra ( $342 \text{ W/m}^2$ ), aproximadamente, como indica la Figura 1.5, una tercera parte se refleja al espacio, ya que el albedo de la Tierra, o su capacidad de reflejar energía, es de 0,3. El resto de la energía no reflejada (unos  $240 \text{ W/m}^2$ ) es absorbida por la atmósfera, hidrosfera, litosfera o biosfera.



**Figura 1.5.** Cantidad de radiación solar que llega a la Tierra a través de la atmósfera.

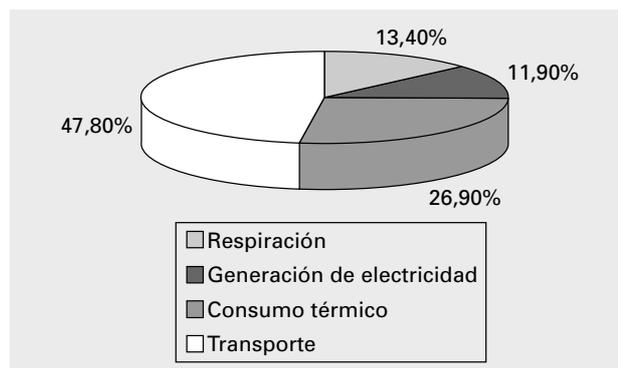
La absorción de la radiación no es la misma en todas las zonas, ya que los componentes atmosféricos no absorben por igual. Por ejemplo, el oxígeno y el nitrógeno son transparentes a casi todas las radiaciones, mientras que el dióxido de carbono, el óxido

nitroso, el vapor de agua o el metano son capaces de absorber radiaciones de ciertas longitudes de onda. Además, la contribución relativa de todos ellos es diferente. La Figura 1.6 muestra la contribución del  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  y CFC's (clorofluorocarbonos) al efecto invernadero.



**Figura 1.6.** Contribución de los principales gases de efecto invernadero al cambio climático. (Fuente: IPCC).

Existen diversas actividades humanas que contribuyen al calentamiento global al emitir grandes cantidades de  $\text{CO}_2$ . Entre ellas cabe destacar el uso de energía eléctrica y térmica, y el transporte. En la Figura 1.7 se muestra la contribución porcentual de dichas actividades a la generación de dióxido de carbono. Por otro lado hay que ser conscientes que actividades que parecen tan normales, y ecológicas, como la agrícola y ganadera, genera en la UE el 10% de los gases de efecto invernadero. La fermentación entérica (intestinal), la gestión de los residuos ganaderos y las emisiones del suelo agrícola supusieron, respectivamente el 32%, el 20% y el 44% de las emisiones producidas por el sector.



**Figura 1.7.** Contribución de las actividades antropogénicas a la generación de  $\text{CO}_2$ .

La generación antrópica media de cada persona es de unos 4 kg diarios de  $\text{CO}_2$ . En los países más ricos, se superan los 12 kg por persona y día, mientras que en los países en vías de desarrollo es apenas de 1 kg diario por persona.

## 1.4. INTRODUCCIÓN A LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS

En la Tierra habitan actualmente unos 6.000 millones de personas, de las cuales, cerca del 20% viven en 50 países que tienen graves insuficiencias de este vital líquido, consecuentemente este déficit es el factor limitante a su desarrollo económico y social. Además de los problemas de cantidad hay que añadir los referentes a su calidad, especialmente en los aspectos microbiológicos, todas estas deficiencias producen la muerte de unos tres millones de personas al año. Así mismo el creciente aumento de la demanda y consumo de agua se convertirá (se ha convertido ya) en un problema capaz de generar conflictos armados y que incidirá negativamente en el futuro de la biodiversidad de muchas zonas del planeta.

Se entiende por consumo doméstico de agua por habitante, al volumen de agua potable que dispone una persona para sus necesidades diarias de consumo, aseo, limpieza, etc., y se mide en litros por habitante y día (l/habitante-día). Es un valor muy representativo de las necesidades y/o demanda real de agua dentro de una comunidad o población y, por consiguiente, refleja también de manera indirecta su nivel de desarrollo económico y social. Este indicador se obtiene a partir del suministro medido por contadores, estudios locales, encuestas o la cantidad total suministrada a una comunidad dividida por el número de habitantes.

Desde comienzos del siglo xx, la población mundial se ha duplicado, mientras que, como resultado del desarrollo industrial y la extensión de la agricultura, la cantidad empleada de agua se ha sextuplicado. Teniendo en cuenta que en el mundo existe actualmente la misma cantidad de agua que hace 2.000 años y, que se ha incrementado simultáneamente la sobreexplotación, la contaminación y los efectos del cambio climático, actualmente, casi el 40% de los seres humanos cuentan con problemas de escasez de agua, circunstancia que, para el 2025 afectará a un 66% de la población mundial asentada básicamente en África y Asia Occidental.

### 1.4.1. Consumo de agua *per capita*

Se estima que actualmente se consume al año el 54% del agua dulce disponible y, según la UNESCO, a mediados del siglo XXI la población mundial alcanzará los 12.000 millones de habitantes previstos, la demanda se habrá duplicado y las reservas hídricas de nuestro planeta llegarán a su límite.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera que la cantidad adecuada de agua para el consumo humano (beber, cocinar, higiene personal y limpieza del hogar) es de 50 l/hab-día. A estas cantidades debe sumarse el aporte necesario para la agricultura, la industria y, por supuesto, la conservación de los ecosistemas acuáticos, fluviales y, en general, dependientes del agua dulce. Teniendo en cuenta estos parámetros, se considera una cantidad mínima de 100 l/hab-día. (En España, y según valores de 2005, el consumo medio se sitúa en 171 litros por habitante y día).

El destino aplicado al agua dulce consumida varía mucho de una región a otra del planeta, incluso dentro de un mismo país. Por regla general, el consumo elevado de agua potable se da en países ricos y, dentro de estos, los consumos urbanos duplican a los consumos rurales. Mundialmente se extraen en la actualidad unos 3.600 km<sup>3</sup> de agua dulce para la actividad humana, es decir, 1.600 litros/hab-día, de los cuales, aproximadamente la mitad no se consume (se evapora, infiltra al suelo o vuelve a algún cauce) y, de la otra mitad, para el mundo más industrializado, se calcula que el 65% se destina a la agricultura, el 25% a la industria y, tan sólo el 10% a consumo doméstico (En el mundo el reparto es 73% agricultura, 21% industria y 6% consumo doméstico). En la Tabla 1.3 se muestra una aproximación de este reparto en función de la renta *per cápita*.

**Tabla 1.3.** Consumos medios de agua *per cápita*.

Ámbito	Renta alta	Renta baja	Media mundial	España
Agricultura	40	80	65	62
Industria	45	10	25	25
Urbano	15	10	10	12

Para determinar la disponibilidad de agua en un país o área geográfica determinada, se maneja el «umbral de presión hídrica» (1.700 m<sup>3</sup>/hab-año), por debajo del cual aparecen frecuentemente las sequías y el «umbral de penuria» (1.000 m<sup>3</sup>/hab-año) valores inferiores suponen problemas de abastecimiento a la agricultura e industria. Actualmente, se estima que 2.300 millones de personas están sometidas a presión hídrica y 1.700 millones sufren penuria, y se prevé alcanzar respectivamente los 3.500 y 2.400 millones de personas en el año 2025.

Por otro lado y, debido a la contaminación ambiental (aguas residuales, emisiones a la atmósfera, residuos sólidos, etc.), una fracción importante del

agua dulce disponible sufre algún tipo de contaminación. Las fuentes naturales de agua cuentan con procesos de autodepuración, pero cuando se emplea en exceso o es escasa, en general empeora su calidad. Según la OMS, más de 1.200 millones de personas consumen agua sin garantías sanitarias, lo que provoca entre 20.000 y 30.000 muertes diarias y gran cantidad de enfermedades. Los ratios de consumo por habitante difieren enormemente entre distintas zonas del planeta, dependiendo principalmente de la disponibilidad del agua y del nivel de desarrollo del país. En la Tabla 1.4 se aprecia el consumo en diferentes zonas del planeta (datos 1996).

**Tabla 1.4.** Consumos medios de agua por zonas

Área geográfica	Consumo	
	m <sup>3</sup> /hab.-año	l/hab.-día
América del Norte y Central	1.874	5.134
Europa	1.290	3.534
Oceanía	887	2.430
Asia	529	1.449
América del Sur	485	1.329
África	250	685
Media mundial	657	1.800
España	1.201	3.290

En conclusión, se puede establecer que, a pesar de que la cantidad de agua disponible en el planeta teóricamente es suficiente para cubrir las necesidades de la población, su irregular distribución en el espacio y en el tiempo, irregularidad que también se halla en la distribución de demanda, unida a su consumo excesivo e incorrecto en muchos países, podría provocar un grave empeoramiento en la disponibilidad de este recurso dentro de pocos años. Ante esta situación es necesario un cambio del actual modelo, para pasar al establecido en la denominada «nueva cultura del agua», basado en el ahorro de agua, la optimización de su gestión, el respeto y sensibilización hacia este recurso, su reparto equitativo y la valoración como activo ecológico y social.

#### 1.4.2. El ciclo del agua

Al igual que se ha expuesto con la contaminación atmosférica, en el presente apartado, se intenta sentar las bases de la contaminación o polución de las aguas y las consecuencias que ello conlleva sobre el medio ambiente. La incidencia de la contaminación en las aguas aparece de manera más directa y suelen ser más graves que las provocadas en el medio atmosférico.

A título de introducción habría que distinguir entre:

- *Aguas residuales.* O aguas con cierta cantidad de polución. Su concentración en los parámetros convencionales como: Sólidos en suspensión, DQO, DBO<sub>5</sub>, etc., se halla en rangos en los que después de un tratamiento convencional pueden ser vertidas a cauce público.
- *Residuos líquidos.* Aunque técnicamente se trata de aguas, uno o varios contaminantes contenidos supera de tal manera los límites permitidos que imposibilita su tratamiento, por ello se prohíbe su vertido al medio natural (normalmente un río) y debe ser gestionado por una empresa especializada.

Las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) además de cumplir con su objetivo básico de obtener un agua de calidad idónea para su vertido, actúan en la práctica como grandes fábricas de fangos residuales, los cuales corresponden a la polución separada por dicha EDAR. En los tratados sobre depuración de aguas contaminadas, se suele distinguir entre:

- *Aguas residuales urbanas.* Desde el punto de vista de los residuos y el reciclaje, el gran reto es la gestión de los grandes volúmenes de estos fangos.
- *Aguas residuales industriales.* A diferencia de las anteriores y debido a su origen la cantidad y calidad son muy variables y con frecuencia causa disfunciones en las EDAR donde finalmente inciden. En este apartado también deben incluirse las aguas procedentes de explotaciones mineras. La gestión de estos lodos residuales suele ser compleja, especialmente, cuando contienen metales u otros contaminantes de riesgo.
- *Las aguas y lixiviados de residuos sólidos* de la ganadería estabulada se suelen aplicar como abono en la agricultura. Su gestión deficiente (por sobredosificación) provoca grandes problemas en muchas zonas de Europa, al contaminarse con nitratos sus aguas subterráneas. Existe una directiva de la UE para afrontar este problema.

La Figura 1.8 muestra de manera comparada el desarrollo del ciclo de evacuación del agua en el medio rural (izquierda) y en el espacio urbano (derecha). Al margen de la cantidad de agua reevaporada, que tiene indudables repercusiones en el microclima, desde el punto de vista medioambiental el factor más diferenciador es la cantidad de escorrentía canalizada.

Tanto en las zonas urbanas, como en las áreas in-