

**DISCURSO DEL
EXCELENTÍSIMO SEÑOR DOCTOR DON
ARTURO ROMERO SALVADOR**

Depósito Legal: M-42658-2001

Diseño y Maquetación:

Gráficas Chile, S.A.L.

Chile, 27

Tel./Fax 91 359 57 55

28016 MADRID

ÍNDICE

Discurso del Excmo. Sr. Dr. D. Arturo Romero Salvador

1. INTRODUCCIÓN.....	7
2. LA ÉPOCA DE LAS MÁQUINAS: REVOLUCIÓN INDUSTRIAL..	9
2.1. Fuentes de tecnología	11
2.2. El protagonismo tecnológico	14
2.3. Repercusiones ambientales	16
3. LA ÉPOCA DE LOS PRODUCTOS	20
3.1. El modernismo y el progreso: la confianza en la tecnología.....	22
3.1.1. Productos para la alimentación.....	22
3.1.2. Productos para el vestido	25
3.2. La protección ambiental.....	27
3.2.1. Tecnologías de fin de línea.....	29
3.2.2. Reciclado.....	30
4. RESPUESTAS DE LA TECNOLOGÍA AL DESAFÍO AMBIENTAL ..	32
4.1. El conocimiento tecnológico	34
4.2. El medio como sistema complejo.....	35
4.3. Prevención, reutilización y valorización.....	37
4.4. Instrumentos conceptuales para comparar alternativas	39
4.5. Procedimientos de fabricación	40
4.5.1. Productos para vender prestaciones	41
4.5.2. Productos y subproductos destinados a reciclado	42
4.6. Producción más limpia.....	44
4.7. El problema: energía y productos.....	45
5. CONCLUSIÓN.....	49
6. BIBLIOGRAFÍA.....	51
Discurso de contestación del Excmo. Sr. Dr. D. Federico López Mateos ..	55

**Excelentísimo Señor Presidente,
Excelentísimos/as Señores/as Doctores/as Académicos/as,
Señoras y Señores:**

En un momento como este, mis primeras palabras no pueden ser más que de sincero y profundo agradecimiento a los miembros de esta Real Academia de Doctores por haberme elegido para compartir sus tareas como Miembro de Número, y, por qué no, de disculpa por la tardanza de este acto de lectura. La deuda de gratitud es especial con los Excmos Sres. Académicos D. Ángel Vián Ortuño, Dña. María Cascales Angosto y D. Isidoro Asensio Amor que patrocinaron mi candidatura.

A Doña María Cascales le agradezco la benevolencia que me ha demostrado durante varios años, demasiados, que sólo se justifica por su admirable entusiasmo y cariño hacia las actividades de esta Academia. Desgraciadamente, D. Ángel Vián no está con nosotros. Él fue uno de los grandes maestros universitarios que llevado por su vocación y pasión intelectual supo inculcar en sus alumnos mucho más que los conocimientos propios de las disciplinas que con tanta brillantez contribuyó a desarrollar y transmitir. Su fecunda labor merece mucho más que este pequeño recuerdo lleno de gratitud y respeto.

Unas palabras de recuerdo a quien desde 1948 hasta 1996 me precedió en el lugar que ustedes me han invitado a ocupar. D. Enrique Blanco Loizelier ha sido un hombre dedicado a las matemáticas y a la economía. Gracias a su formación multidisciplinar pudo abordar los campos de la estadística, del control de calidad y de sus aplicaciones a la tecnología

industrial, cuando el siglo XX todavía no había recorrido la mitad de su camino. Mi conocimiento de su persona y de su obra son demasiado limitados pero suficientes para identificar en este salmantino a un hombre preocupado por incorporar los conocimientos que procedían del acervo internacional, interesado en aplicar nuevas técnicas para mejorar los procesos de fabricación y en transmitirlos desde su puesto de profesor de estadística en la Facultad de Ciencias Económicas.

Una deuda imposible de saldar es la que tengo con todo lo que ha sido y es el núcleo de mi vida, con mi familia, con mis maestros, con mis colaboradores y con mis amigos. Todos y cada uno sabéis el valor que tiene para mí vuestro permanente e incondicional estímulo y apoyo. Vosotros conocéis que mi carácter no es proclive a pormenorizar los sentimientos, incluso en situaciones que, como esta, lo requieren. También, por disculparme os doy las gracias.

1. INTRODUCCIÓN

Los seres humanos han sido capaces de modificar la Naturaleza por medio de una serie de instrumentos y procedimientos que denominamos tecnológicos. El resto de los animales ha resuelto sus necesidades vitales adaptándose al medio natural. Por ello, sólo la especie humana ha podido cambiar la regla de adaptarse o morir, por otra diferente, transformar para vivir. Con el trabajo dedicado a construir instrumentos y máquinas que potencien y refuercen su organismo modifica el ambiente para asegurar su supervivencia. De este modo, en lugar de una adaptación fisiológica que compense sus debilidades, se produce una adaptación ambiental que le permite defenderse de las hostilidades del medio.

Su capacidad para transformar el entorno ha ido aumentando continuamente y gracias a esta transformación se ha servido del medio para desarrollar su vida. Cuando el hombre tiene necesidad de alimentos crea la agricultura y la ganadería. Para las necesidades de vestido desarrolla las fibras, la hilatura y el tejido. Las necesidades de agua las satisface abriendo pozos, canalizando ríos o potabilizando aguas salobres. Los barcos, automóviles y aviones responden a las necesidades de transporte. Todos estos ejemplos muestran el impulso creativo de la necesidad y la búsqueda de respuestas, dependientes de sus propias actuaciones, a los problemas que se plantean en su relación con el entorno.

La creación de instrumentos, la mejora de los antiguos, el empleo de unos instrumentos para hacer otros diferentes o la transmisión de los conocimientos técnicos a sus descendientes son algunas características de la cultura instrumental que le permite mejorar las condiciones materiales de

su vida. Sin embargo, los productos, máquinas y objetos que componen el mundo tecnológico, no son soluciones directas a los problemas generados por la alimentación o la defensa, sino que son manifestaciones del modelo que el hombre ha elegido para desarrollar su vida. Las prácticas agrícolas o arquitectónicas, la indumentaria o los vehículos, incluyen muchos aspectos que no están relacionados con las necesidades de alimentación, vivienda, vestido o transporte. Por tanto, la Tecnología no es una actividad que la Naturaleza impone a la humanidad, sino que es una elección cultural, aunque esta elección esté condicionada por presiones materiales externas a la cultura¹.

Del mismo modo que la diversidad es una característica del mundo de los seres vivos, también aparece en el universo de objetos y productos creados por la actividad humana. La variedad de productos tecnológicos surge cuando el hombre aplica su capacidad para modificar lo que conoce o para concebir ideas y objetos nuevos. Con ello ha conseguido ventajas para resolver necesidades materiales, ha logrado una relación más favorable con el medio o simplemente ha satisfecho su curiosidad y se ha deleitado. A medida que el conjunto de procedimientos que se ponen en práctica para lograr un resultado determinado (Técnicas) se va articulando en un sistema tecnológico, las acciones humanas no pueden escapar de sus procedimientos. Normalmente, en las sociedades que disponen de una tecnología que les permite alcanzar un nivel de vida que considera satisfactorio, no existen deseos de cambios significativos y por tanto no aparecen motivos para indagar nuevas posibilidades tecnológicas.

La variedad de recursos naturales, los conocimientos disponibles sobre el mundo físico y los cambios que experimentan los valores y las preferencias humanas en las diferentes culturas, son los principales inductores de la diversidad en el mundo tecnológico. Cuando diferentes individuos buscan una solución a un problema pueden encontrar una amplia variedad de alternativas, muchas de ellas inviables, de las que pueden tomarse partes con las que construir una respuesta aceptable². En primer lugar, es necesario reconocer que un artificio, un producto o un procedimiento

¹ Ortega. Ortega define la tecnología como la producción de lo superfluo al no ser necesaria para satisfacer necesidades básicas.

² Para Marx, la invención es un proceso social que se basa en la acumulación de muchas mejoras menores y no en los esfuerzos de unos pocos genios.

necesitan un cambio que elimine los problemas detectados y después reunir las herramientas precisas para lograr su modificación. Finalmente, las soluciones intuitivas que se han encontrado deben someterse a un laborioso proceso de validación y mejora continuada. Sin embargo, la acumulación de invenciones no garantiza el cambio tecnológico ya que este cambio requiere la interacción de factores psicológicos, sociales y económicos³.

Durante la mayor parte de su existencia, el hombre ha desarrollado técnicas con muy poca capacidad para alterar la Naturaleza y no ha tenido más remedio que adaptarse a las condiciones que le marca su entorno. En la misma medida con que fueron aumentando sus deseos de emanciparse y creciendo sus posibilidades técnicas, fueron apareciendo modelos de vida basados en tecnologías con una excesiva capacidad de alterar la Naturaleza. No es extraño que en estas sociedades se fuera desarrollando una preocupación, más o menos generalizada y más o menos intensa, por las posibles consecuencias de estas prácticas, especialmente cuando se iban conociendo los efectos negativos, reales o potenciales, inherentes a su modelo de vida.

2. LA ÉPOCA DE LAS MÁQUINAS: REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

Se responsabiliza a la Tecnología del inicio de un proceso de industrialización que se caracterizó por ir acompañado de varias transformaciones sociales, como la demográfica, la económica o la ocupación territorial. La relación hombre-medio que se había mantenido durante muchos siglos, se sustituyó por otra en la que aparecieron como rasgos de identidad el aumento de la población, la intensificación de las necesidades humanas y el crecimiento de la presión sobre los ecosistemas. Paulatinamente se fue configurando una concepción de la vida apoyada en las máquinas, el productivismo y el crecimiento económico, sin considerar los efectos negativos sobre el ambiente o la propia sociedad.

Durante los últimos tres mil años se ha desarrollado una gran variedad de máquinas utilizando componentes no orgánicos para transformar la

³ Mitcham analiza y compara las dos principales tradiciones de la filosofía de la tecnología a partir de la obra de sus principales representantes: J Ortega y Gasset, M. Heidegger, L. Mumford, E. Kapp, F. Dessauer o J. Ellul

energía, para realizar un trabajo, para incrementar las capacidades mecánicas o sensoriales del cuerpo del hombre o para reducir a un orden y a una regularidad mensurables los procesos de la vida. Mediante una combinación de partes resistentes se obligaba a las fuerzas de la naturaleza a realizar un trabajo por medio de ciertos movimientos determinantes y aunque el desarrollo de estas máquinas sea el hecho técnico más visible del último milenio, muchas adaptaciones ambientales proceden de utensilios, aparatos y obras⁴.

El Renacimiento es la época de la Historia en que se comienza a establecer un paralelismo entre lo orgánico y lo mecánico, dos mundos hasta entonces dispares. Los nuevos instrumentos tecnológicos y los métodos que aplica la ciencia moderna muestran que tal disparidad es solo aparente. La denominación “Filosofía Mecánica” es de procedencia newtoniana y emplea los principios de la mecánica para explicar el mundo como una máquina. Desde entonces el flujo de las analogías se produce en dos direcciones: Una primera que explica las estructuras y procesos de los organismos vivos mediante conceptos mecánicos y una segunda, a mediados del XIX, que pretende interpretar la tecnología mediante analogías fisiológico-mecánicas.

El término “la maquina” se utilizó para definir no sólo a las propias máquinas, sino a todo un conjunto de elementos tales como el conocimiento, las pericias y las artes derivadas de la industria o implicadas en la nueva técnica y a las diferentes herramientas, instrumentos, aparatos y obras.

En la filosofía de la tecnología de Kapp⁵ se considera que los instrumentos y las armas no son otra cosa que diferentes tipos de proyección de los órganos cuya función y poder deben ser aumentados. No es sorprendente que en la época victoriana apareciera la idea de que las máquinas se

⁴ Reuleaux realiza un interesante análisis de las características que tienen las máquinas desde el punto de vista de su morfología y de los movimientos que realizan o que podrían realizar

⁵ Kapp considera que el proceso de desarrollo tecnológico no siempre es consciente, ya que en muchos casos el paralelismo morfológico se establece después de producirse el invento. En estas analogías, el ferrocarril aparece como una exteriorización del sistema circulatorio y el telégrafo como la extensión del sistema nervioso.

desarrollaban de forma similar a los seres vivos. No importaba que las máquinas fueran incapaces de reproducirse; se argumentaba que la reproducción en el reino mecánico operaba de diferente forma: la máquina-herramienta es la parte fértil mientras que sus productos son estériles. La identificación de las máquinas como un nuevo reino similar a los existentes permitía efectuar su clasificación en especies y géneros, y con ellas construir un árbol evolutivo que pusiera de manifiesto las conexiones entre las distintas formas de vida mecánica. Pueden encontrarse fácilmente muchos ejemplos de máquinas que cambian lentamente, que sustituyen a modelos antiguos, que mantienen estructuras residuales durante mucho tiempo después de haber perdido su función o de máquinas que el hombre obliga a luchar por su supervivencia.

A pesar de la falta de realismo en estos planteamientos, las analogías entre el mundo material y el mundo orgánico o vivo han sido de gran ayuda en el estudio del mundo interno de la tecnología y constituyeron la fuente de inspiración de los escritores de ciencia-ficción cuando planteaban la superación de la humanidad por formas tecnológicas capaces de autorreproducirse. No se puede olvidar la predilección de la sociedad por las tecnologías fantásticas que acompañó a la industrialización en los siglos XIX y XX y cuyo principal exponente fue la ciencia-ficción. Julio Verne y sus submarinos y naves espaciales, H. G. Wells y su máquina del tiempo o K. Capek y las naves espaciales y rayos láser son ejemplos de esta literatura.

2.1. Fuentes de tecnología

Para Dessauer⁶ la esencia de la tecnología no se encuentra en la manufactura industrial (invención para la producción en masa), ni en los productos (meros objetos que utilizan los consumidores), sino en el acto de la creación técnica que se produce en armonía con las leyes de la naturaleza a instancias de objetivos humanos. Por tanto, los propósitos alcanzables y el respeto a las limitaciones son las primeras condiciones necesarias para que pueda producirse la innovación técnica.

⁶ Dessauer, Este autor considera que ese algo más que falta, "elaboración", es lo que une la mente del inventor con un "cuarto reino" de las soluciones preestablecidas para resolver problemas técnicos. Esta elaboración es la que hace posible el mundo real de la invención. La invención tecnológica da lugar a la existencia real originada en ideas.

En el siglo XV aparece la descripción de máquinas fantásticas pero carentes de los detalles mecánicos necesarios para su construcción y tan alejadas de las posibilidades tecnológicas de la época que no han podido influir en el posterior desarrollo tecnológico. La colección de este tipo de máquinas más conocida es la de Leonardo da Vinci (1452-1519) que representa la exuberancia intelectual que caracteriza a las sociedades occidentales, pero no deben considerarse como profecías del futuro desarrollo tecnológico. Los siglos XVIII y XIX se caracterizan por el optimismo en encontrar una sociedad utópica basada en la tecnología pero a pesar del fracaso y de las consecuencias negativas de la tecnología, sus visiones siguen produciéndose e interesando al público. Incluso en la actualidad, no faltan noticias sobre artefactos técnicos que superan con asombrosa facilidad las enormes dificultades de ciertos problemas tecnológicos sin otra herramienta que un planteamiento enigmático y visionario.

Las máquinas destinadas a lograr el movimiento sin aporte externo de energía han sido motivo de atención durante muchos años, aunque se supiera que violaban los principios científicos y en consecuencia son "máquinas imposibles" En los siglos XVIII y XIX las leyes termodinámicas no fueron capaces de disuadir a los inventores del movimiento continuo. El siglo ha transcurrido desde que la Oficina de Patentes de EE.UU declarara que no se aceptarían solicitudes de patentes de máquinas de movimiento perpetuo sino iban acompañadas de modelos que funcionasen, no ha impedido la búsqueda de estas máquinas, que se intensifica cuando llegan las crisis energéticas. Ni las leyes de la física ni la experiencia tecnológica desaniman a los inventores para afrontar este reto del movimiento perpetuo.

Si se considera que la invención es una combinación de los elementos culturales existentes y conocidos para formar un nuevo elemento, el resultado obtenido no puede ser otra cosa que una serie de pequeños cambios que no modifican la cultura material anterior⁷. El invento aparece cuando se alcanza un número crítico de nuevos elementos a los que es preciso incorporar -aún reconociendo el carácter social de la invención y la importancia que tiene la acumulación de las pequeñas mejoras- los esfuerzos de los inventores individuales para no reducir su papel a meros instrumentos

⁷ Ogburn analiza las modificaciones introducida en diferentes culturas y los cambios que se producen en ellas como consecuencia de su incorporación.

de un proceso histórico predeterminado⁸. Por tanto, es necesario reconocer la importancia de los inventores en el proceso.

Independientemente de que la pérdida de antecedentes tecnológicos ha tenido lugar a lo largo de toda la historia, la creación del mito del inventor heroico corresponde a los últimos 300 años. Antes del XVIII la historia de la tecnología es casi anónima debido, probablemente, a que los inventores no tenían un reconocimiento especial por sus desarrollos. Sin embargo, durante la Revolución Industrial muchos inventores fueron aclamados por haber conseguido máquinas ingeniosas que fomentaban el progreso económico, social y cultural. En esta época el inventor era valorado como un héroe romántico que se enfrentaba a la inercia social y a las poderosas fuerzas naturales para entregar a la sociedad los frutos de la tecnología⁹.

El nacionalismo imperante durante la Revolución Industrial vinculaba las técnicas a revoluciones, en lugar de hacerlo a evoluciones, para poder definir con facilidad la posición de cada nación en el mundo. En este marco no es extraño que la historia de las invenciones obedeciera más al orgullo patriótico que a la propia realidad e hiciera olvidar no sólo a los inventores de otros países, sino también a sus fundamentos, bases conceptuales y antecedentes lo que se traducía en una imagen discontinua del proceso innovador. En muchas invenciones se desconocen, unas veces por pérdida y otras por ocultación deliberada, cuáles son sus antecedentes. La naturaleza aplicada y el valor económico de la tecnología hacen que el inventor olvide a sus antecesores.

El renacimiento mecánico se asoció con las conmociones de las Cruzadas al tomar selectivamente ideas e inventos procedentes de una cultura sólida y ponerlos a disposición de otras culturas para su reconstrucción e integración. El sincretismo de invenciones, allegadas de los restos de otras civilizaciones, hizo posible el nuevo cuerpo mecánico. La rueda

⁸ Usher muestra la importancia que han tenido los inventores en el desarrollo de las invenciones a través de un pormenorizado recorrido por las principales tecnologías sobre las que se dispone de la documentación, sobre los antecedentes y el proceso seguido.

⁹ Nieto-Galán analiza el mito del inventor a través de tres figuras cuyas aportaciones en el siglo XIX fueron significativas. A pesar de la importancia que tenía la imagen del inventor, la historia muestra que el proceso de invención es complejo y no puede reducirse a la obra de grandes genios.

hidráulica, los molinos de agua, los de viento, el papel, la brújula, la pólvora, que son algunas de las invenciones y descubrimientos que sirvieron de núcleo para un ulterior desarrollo mecánico. Procedían de Oriente pero adoptaron nuevas formas en Europa y crecieron con rapidez extraordinaria.

Las opciones de la invención tecnológica están limitadas por tres variables: peculiaridades físicas de la materia que se desea transformar (materiales), herramientas disponibles para actuar sobre la materia (maquinaria) y procedimientos para aplicar las fuerzas de la naturaleza (energía). Cuanto mayor sea el número de posibilidades contenidas en cada una de estas variables, mayor serán las posibles soluciones tecnológicas disponibles.

Las técnicas que permitieron desarrollar el complejo tecnológico de la Revolución Industrial tenían sus bases en todo el esfuerzo que se había realizado en los siglos precedentes¹⁰. Antes de que aparecieran las modernas técnicas, que caracterizaban esta tecnología, fue necesario reunir las desarrolladas por otras culturas anteriores, de modo que pudiera comenzar un proceso generalizado de adaptación e invención. Es cierto que durante este período se favorecieron todos los elementos clave para el desarrollo de la máquina pero también lo es que no hay ningún elemento que no estuviera como embrión o al menos como germen aunque fuera de forma independiente.

2.2. El protagonismo tecnológico

Al identificar el cambio tecnológico con el cambio socioeconómico se produce la confusión de la tecnología con todas sus ramificaciones sociales y económicas. El apelativo de Revolución Industrial que se ha dado a un período histórico, se sigue aplicando actualmente para aludir a cambios industriales que se derivan de la incorporación de determinados avances técnicos. La secuencia natural de un proceso que comienza con el invento, sigue con el desarrollo tecnológico y finaliza con su implantación industrial, no justifica la denominación de revolución tecnológica porque

¹⁰ Leroi-Gourhan realiza un análisis de los medios de fabricación que emplea el hombre partiendo de los materiales que le ofrece el medio para realizar su actividad técnica.

desplace a otros procesos ni tampoco por el número de unidades que introduzca en el mercado. Incluso la denominación “revolución industrial” se emplea para definir una alteración fundamental de la sociedad producida por la tecnología¹¹. No es sencillo separar los cambios tecnológicos de los económicos y sociales para asignar a cada uno su papel. Los cambios del XVIII y del XIX fueron revolucionarios para la vida y la fortuna de la gente, pero las máquinas y los motores que los movían eran el resultado de cambios evolutivos en la tecnología y no revolucionarios. Estos cambios económicos y sociales que transformaron el orden social se atribuyeron a la tecnología y esta puede ser la causa de la denominación, aunque no se produjera ninguna revolución, en las diferentes técnicas utilizadas.

Desde la Revolución francesa, a la obra científica de Copérnico, de Galileo, de Kepler y de Newton se les ha denominado con el término revolución, según una metáfora política que implica una ruptura violenta con el pasado y la implantación de un nuevo orden. La misma metáfora se ha aplicado a cualquier cambio sustancial producido en los diferentes campos de la ciencia: química, física, biológica, etc. Estas revoluciones científicas solo toman un protagonismo especial para el estudio de los cambios tecnológicos si se subordina la tecnología a la ciencia, lo que se produce cuando se define la tecnología como la aplicación de la teoría científica a la resolución de problemas prácticos, es decir, ciencia aplicada. De este modo, si la una cambia por medios revolucionarios la otra también lo hará por el mismo procedimiento. Sin embargo, la tecnología de este período no se basó en conocimientos científicos por la sencilla razón de que todavía no estaban disponibles.

El historiador de la tecnología, Gilfillan¹², señaló que en el desarrollo de la tecnología se han dado dos procesos complementarios: la mejora evolutiva y la invención revolucionaria. La diferenciación entre estos dos procesos es compleja y difícil de precisar. La mejora evolutiva es un dato que se obtiene de la experiencia de la vida cotidiana, como ocurre al observar los cambios que año tras año se producen en nuestros automóviles con

¹¹ Bernal realiza un recorrido por la Historia para buscar las relaciones que se han producido entre la sociedad, la ciencia y la tecnología.

¹² Los conceptos que utiliza Gilfillan sobre el perfeccionamiento evolutivo e invención revolucionaria se parecen a las ideas de Kuhn acerca de la ciencia normal y la revolucionaria.

la aplicación de los principios smeatonianos. Las invenciones revolucionarias caen dentro de dos categorías: las realizadas en una tecnología preexistente, como por ejemplo la acomodación de una máquina de vapor de Watt, y las que crean una nueva tecnología donde antes no la había, como ocurre con la prensa de imprimir de Gutenberg, la telegrafía sin hilos de Marconi o el ordenador personal.

Los estudios encaminados a conocer la evolución tecnológica¹³ se basan principalmente en la determinación de la diversidad, continuidad, novedad y selección.

2.3. Repercusiones ambientales

El gran cambio tecnológico de la Revolución Industrial se debió al uso del carbón como fuente de energía mecánica, al empleo de nuevos medios de hacer efectiva esa energía -la máquina de vapor- y a la implantación de nuevos métodos de fundir y de trabajar el hierro. De este complejo tecnológico, hierro-carbón-máquina, surgió una civilización que se consideró capaz de dominar a las fuerzas externas de la naturaleza. A mediados del XVII las fábricas trabajaban afanosamente en Europa Occidental y el interés dejó de centrarse en los valores vitales para desplazarse a los valores pecuniarios. No bastaba que la industria proporcionara un medio de vida, su misión principal era la creación de fortunas para los dueños del capital.

La industria se instaló en los lugares donde se encontraban las materias primas. Muy pronto se identificó la importancia de un centro productor por el tamaño de sus instalaciones. No solamente crecían para ser gigantes sino que se aglomeraban y apiñaban sin pretender adaptar la dimensión a la eficacia. Probablemente, este fenómeno era una consecuencia del defectuoso sistema de comunicación que precedió a la llegada del teléfono y que limitaba la administración eficaz de la fabricación a una sola instalación. También se vio favorecido por las dificultades de producción económica de energía con pequeñas máquinas de vapor o por el limitado alcance del vapor en las tuberías sin excesivas pérdidas, lo que obligaba a que los ingenieros se esforzasen por acumular el mayor número

¹³ Basalla realiza un análisis de los diferentes procesos que pueden originar cambios en la tecnología y describe la evolución que siguen muchos instrumentos habituales en función de los elementos seleccionados.

posible de unidades productoras sobre un mismo árbol de transmisión. Con este sistema se resolvían este tipo de problemas técnicos, pero eran inevitables las pérdidas de energía por fricción, los peligros para la vida de los obreros y imposibilidad de utilizar grúas para el transporte local como consecuencia de la ocupación del espacio que ocasionaba la jungla de correas que dominaba el paisaje de las instalaciones.

El humo procedente de la combustión del carbón fue la primera alarma que informaba de la repercusión ambiental de las nuevas actividades industriales. La prosperidad se identificaba con el ruido producido por de la máquina de vapor de Watt y con las arrogantes humaredas las de las chimeneas que contaminaban el aire de los alrededores. La concentración de la industria se traducía en una concentración de efluvios de imposible asimilación por el ambiente. La luz del sol era un fenómeno desconocido en las zonas industriales y su aparición se identificaba con depresiones económicas o cierres de factorías. Las nuevas industrias químicas se instalaban junto a las zonas habitadas de las ciudades a pesar de las emisiones que provocaban sus actividades. Hasta la implantación de la ley de álcalis de 1863 la emisión del ácido clorhídrico formado en la fabricación de sosa por el método Le Blanc provocaba, aparte de lesiones en el tracto respiratorio, efectos nocivos sobre la vegetación y las estructuras metálicas.

A la preocupación por la contaminación atmosférica siguió la inquietud por el deterioro de las aguas. Los productos de deshecho de las industrias acababan en el medio acuático. Los ríos cercanos a las fábricas se fueron ensuciando hasta que sus aguas se inutilizaron para la vida acuática y para el consumo humano. El resto de los residuos que se generaban en las industrias y que por sus características no eran adecuados para su vertido acababan formando montones o rellenando los barrancos de las zonas cercanas.

Pero esto no era todo lo que ocurría¹⁴. Con el humo procedente de la combustión del carbón se perdía una parte del combustible y con las emisiones atmosféricas de otras industrias se desaprovechaban muchos productos útiles. La mayor parte de los residuos que acabaron en el agua o en

¹⁴Derry y Williams describen con precisión el modo de trabajar con la tecnología de este período, incluyendo importantes detalles técnicos sobre las razones que motivaban la contaminación y los procedimientos que se iban aplicando para evitarla.

el suelo eran susceptibles de aprovechamiento pero ni la economía ni los valores imperantes aconsejaban actividades ajenas a capitales, costes y precios.

Este período se caracteriza por un despilfarro desconsiderado de los recursos que acabó contaminando el entorno de las instalaciones fabriles hasta niveles jamás conocidos. La persecución de beneficios inmediatos, hizo que no se prestara atención al ambiente que los rodeaba ni a las consecuencias futuras de sus acciones. Las ventajas de la “máquina” sobre los procedimientos tradicionales eran tan grandes, que no había tiempo para observar que, con estas prácticas, se tiraba el dinero a los ríos o se le dejaba escapar con los humos, ni tampoco que la vida transcurría sobre desperdicios, a la vez que inutilizaban las tierras agrícolas de las que dependía su alimentación. Al no existir otra conciencia ambiental que aquella que determinaba la máquina, no existían limitaciones ambientales al desarrollo tecnológico y las emisiones atmosféricas, los vertidos a los ríos o la acumulación de residuos, procedentes de la fabricación o de las mina, en las zonas de actividad industrial eran la consecuencia necesaria de los procedimientos empleados. El modelo económico tampoco valoraba las tremendas pérdidas de energía y materias primas que acompañaban a cada uno de los productos fabricados.

El hábito de atribuir a los perfeccionamientos mecánicos un papel directo como instrumento de la cultura y civilización pide a la máquina lo que la máquina no puede dar. Sin unos requisitos socio-económicos y sin un sistema de valores, la técnica más refinada carece de valor para la sociedad, ya que sus potenciales aportaciones necesitan una asimilación cultural y una adaptación a las necesidades humanas. Al mismo ritmo que triunfaba la cultura de la máquina, apareció un nuevo proletariado sin tierra y sin tradición, con salarios de subsistencia, que vivía y moría sin memoria y sin esperanza¹⁵. Las mismas fuerzas e intereses que inicialmente se habían dirigido hacia la conquista del medio y la perfección de la cultura humana desde un concepto cuantitativo de la vida y una búsqueda del poder, demostraron que los perfeccionamientos mecánicos no

¹⁵ Mumford analiza la historia de la máquina en el mundo occidental y sus complejas relaciones con el medio social y cultural que permitió su nacimiento y después resultó afectado por su desarrollo. Además, realiza una profunda reflexión sobre las posibilidades de que las máquinas se pongan al servicio de la felicidad y del progreso de la humanidad en lugar de constituir un amenaza.

eran suficientes para producir resultados sociales aceptables, y tampoco grados de eficiencia industrial razonables.

Durante el siglo XIX una serie de hechos llamaron la atención sobre los problemas que aparecían al invadir la naturaleza y exterminar sin discriminación la vida silvestre. Las investigaciones ecológicas de Darwin y de los biólogos posteriores establecieron la trama de la vida y ayudaron a comprender esa compleja interrelación de las formaciones geológicas, el clima, el suelo, las plantas, los animales, los protozoos y las bacterias que mantienen un ajuste armonioso de las especies del hábitat.

Era muy difícil esperar que el propio modelo implantado en la Revolución Industrial fuera capaz de subsanar sus deficiencias sociales y ambientales. Hacia 1850 se había realizado una buena parte de los descubrimientos científicos fundamentales para poder disponer de un sistema tecnológico diferente y entre 1875 y 1900 se había logrado la incorporación de estos inventos a los procedimientos industriales. Las últimas décadas del XIX y las primeras del XX incorporaron nuevas invenciones que unidas a las anteriores sirvieron para ir configurando un sistema tecnológico diferente que poco a poco fue desplazando al anterior.

Con la aplicación de la electricidad a la industria se logran importantes transformaciones en las estrategias de producción. Al no depender la fuente de energía de la mina de carbón, las industrias pesadas no estaban obligadas a instalarse en zonas próximas a la mina o en lugares que disponían de medios de transporte -canales, ferrocarril- baratos. La electricidad puede generarse con un gran número de fuentes de energía: carbón, petróleo, corrientes rápidas de los ríos, saltos de agua, rayos del sol, molinos de viento, etc. Comparada con el carbón o el vapor, la electricidad es mucho más fácil de transportar a grandes distancias sin que se produzcan pérdidas elevadas de energía y se requieran costes altos. Los hilos de alta tensión de corrientes alternas pueden cruzar las montañas por donde no pasaría ningún vehículo y una vez instalada no requiere un mantenimiento especial. Además, la electricidad puede convertirse con facilidad en diferentes formas de energía.

Los lugares más alejados se convirtieron por primera vez en zonas válidas para la moderna industria. La introducción del motor eléctrico produjo una transformación dentro de la propia fábrica al poder colocarse unidades individuales donde se necesitaban y dio lugar a un aumento de la eficacia como consecuencia de la transmisión directa. Se habían suprimi-

do las correas de transmisión que quitaban la luz, impedían la instalación de grúas, dificultaban la autonomía de las máquinas o causaban importantes pérdidas energéticas que había que sumar a los graves daños que con frecuencia se causaba a los obreros por este modo de transportar la energía.

El tamaño de la unidad productiva ya no estaba condicionada por el conjunto de exigencias del emplazamiento, de la máquina de vapor o del personal de dirección; con la incorporación de las nuevas técnicas pasó a ser función de la propia operación¹⁶. La fabricación de productos estandarizados fue un gran incentivo para la automatización de las operaciones industriales pero trajo como consecuencia el despido de los operarios de sus puestos de trabajo¹⁷. Estos cambios significaban que el modelo tecnológico representado por la “máquina” se había sustituido por otro diferente.

3. LA ÉPOCA DE LOS PRODUCTOS

Mientras que las herramientas y las máquinas han permitido un determinado modo de acondicionar el ambiente, los utensilios y aparatos se han utilizado para efectuar transformaciones químicas con las que se logra un acondicionamiento diferente. Las técnicas de curtido, de fabricación de cerveza, de destilación o el teñido han sido tan importantes en el desarrollo tecnológico del hombre como la forja, el tejido o hilatura. Sin embargo, la mayor parte de estos procedimientos que implicaban transformaciones químicas se mantuvieron en su estado tradicional hasta la mitad del siglo XIX. La vitalidad con que surgen las industrias químicas¹⁸ permite que rápidamente se consigan avances tan importantes como los logrados con la electricidad o la metalurgia.

¹⁶ Con el uso de la electricidad, como ha señalado Henry Ford, las pequeñas unidades de producción pueden ser utilizadas por grandes unidades de administración, pues la administración eficiente depende de llevar un registro, de planificar, de disponer y dirigir en orden de una serie de operaciones, de la comunicación, y no necesariamente de una inspección local.

¹⁷ Entre 1919 y 1929 las industrias de los EEUU prescindieron de dos millones de obreros, a pesar de que en este período la producción aumentó.

¹⁸ El libro, “La Industria Química en le Siglo XXI. Desarrollo Sostenible y Compromiso de Progreso”, recoge un conjunto de aportaciones de diferentes autores sobre el estado de la Industria Química y la evolución de los principales productos y procesos químicos.

El alquitrán, que en su momento fue el deshecho del horno de coque, se convirtió en una importante fuente de riqueza. Gracias al análisis de los innumerables componentes de este subproducto se pudieron fabricar, con pequeñas transformaciones químicas, muchas sustancias útiles que se fueron aplicando en los más variados campos. Imitando o reconstruyendo compuestos orgánicos naturales, la industria química iba disponiendo de mayores cantidades de productos muy demandados por la sociedad. La fijación del nitrógeno atmosférico supuso un hito para la industria química inorgánica, como años después lo supuso el petróleo para la orgánica. La destilación y el craqueo fueron los procedimientos aplicados para conseguir moléculas pequeñas, pero muy reactivas con las que construir un universo de productos -diferentes a los que venían utilizando a partir de productos naturales o de los separados y ligeramente modificados del alquitrán- capaces de resolver problemas seculares.

El empleo de la energía procedente del viento y del agua había tenido como compañeros a la piedra, la madera y el vidrio. A la energía obtenida quemando carbón le acompañó el hierro. Sin embargo, la electricidad creció al amparo de un enjambre de materiales: nuevas aleaciones, tierras raras, metales más ligeros, celuloide, vulcanita, bakelita, resinas sintéticas, seda artificial, y tantos y tantos más. Sin los avances de la química todo este mundo de materiales no hubiera visto la luz, por lo que es indudable su decisiva contribución en la formación del nuevo complejo tecnológico.

Hasta el momento en que se produjo la incorporación de estos nuevos materiales, el desarrollo de la industria dependía de la disponibilidad y de las posibilidades que ofrecían unas pocas materias primas. A partir de él, el ámbito de dependencia para fabricar los productos que necesita la sociedad tiene una dimensión similar a la dimensión que tiene la Ciencia o a la Tecnología¹⁹. Es decir, a medida que se iban incorporando los nuevos productos al mercado, se iba produciendo la globalización de las ahora numerosas materias primas que permiten su fabricación. El consumidor aceptaba los nuevos productos con la misma rapidez con la que identificaba las prestaciones o las mejoras que introducían. El optimismo inicial se fue transformando en desconfianza ante la invasión de productos cuya utilidad

¹⁹ Cardwell analiza el desarrollo de la tecnología enfatizando el papel del inventor y el papel de la ciencia especialmente las doctrinas sobre la energía y la teoría del campo magnético.

no identificaba. Tampoco fueron ajenos a la pérdida del optimismo, el conocimiento de los daños ocasionados para la salud humana por algunos productos o de las profundas modificaciones en los ecosistemas. Con el tiempo se fue extendiendo la opinión de que los nuevos productos eran unos invasores que habían desplazado a los clásicos productos naturales, simplemente, porque eran más baratos y de peor calidad.

3.1. El modernismo y el progreso: la confianza en la tecnología

Inicialmente, el marco de desarrollo de la actividad industrial se caracterizaba porque el impulso tecnológico procedía de la propia sociedad que demandaba mayores cantidades de productos y sobre todo nuevos productos que, sin saber cómo ni por qué, mejorarían su calidad de vida, o mostraban necesidades para las que esperaba una respuesta. Este era el progreso y la modernidad a los que la tecnología daba innumerables satisfacciones. La sociedad aceptaba de buen grado sus realizaciones y disculpaba los errores y accidentes que con demasiada frecuencia se producían. Todos los inconvenientes, por grandes que fueran, quedaban compensados por la bondad de unos productos que permitían logros materiales sin precedentes.

La cultura moderna valoraba la Ciencia como el instrumento imprescindible para explicar la vida humana y la Tecnología como el procedimiento capaz de resolver los problemas generales de la humanidad y los concretos de cada uno de los individuos. Su piedra filosofal era un equilibrio entre la razón y la ciencia.

3.1.1. *Productos para la alimentación*

La agricultura, desde su aparición en el neolítico, ha sido la fuente principal de alimentos para la humanidad. Cada vez ha tenido que afrontar retos más difíciles, ya que la población ha crecido continuamente, y ha buscado dietas más copiosas, completas y sabrosas. Al aumentar la población se produce un descenso del espacio disponible para los cultivos, ya que las personas necesitan también ese mismo espacio para desarrollar sus actividades vitales. Este descenso de espacio debe compensarse con el aumento de la productividad de las tierras. Por otra parte el número de fru-

tos de la tierra que permite la alimentación humana y animal no es demasiado grande y además las cosechas que pueden obtenerse dependen del tipo de terreno, su situación geográfica, el clima, el suministro de nutrientes y los ataques de enfermedades, malas hierbas, insectos, etc. Mientras fue posible encontrar tierras fértiles para los cultivos, la humanidad no necesitaba recurrir a otros procedimientos para aumentar los alimentos vegetales. Cuando se acabaron los descubrimientos de nuevas tierras para la agricultura se hizo necesario recurrir a otros modos de conseguir más alimentos.

Hay dos direcciones para aumentar el rendimiento de las cosechas si se recurre al empleo de productos de síntesis. Una destinada a resolver las carencias que las plantas encuentran en el suelo, frecuentemente, nitrógeno, fósforo y potasio. La otra consiste en evitar que se produzcan pérdidas excesivas por insectos dañinos, enfermedades de las plantas y malas hierbas. La agroquímica fue demostrando su capacidad para aumentar la fertilidad de los suelos pobres y de mejorar las cosechas. El desarrollo de abonos cada vez mejor dosificados y formulados permiten la correcta aportación de nutrientes al suelo. Los productos fitosanitarios han ido aumentando su efectividad, a la vez que su seguridad al disminuir los efectos secundarios no deseados, evitando perjuicios al hombre, a los animales, al suelo y al agua.

En los países industriales más de la mitad de las proteínas que se consumen proceden de la carne y de la leche. A medida que ha ido creciendo el consumo de proteína animal, ha ido aumentando, de forma simultánea, la necesidad de alimentos para animales. Estos piensos proceden fundamentalmente de los vegetales que, al no ser capaces de aportar por sí solos todos los componentes que requiere la alimentación animal equilibrada, deben completarse con aportes externos de vitaminas, minerales, micronutrientes, etc. No hay que olvidar que los microorganismos encuentran en los piensos, especialmente si están húmedos, un ambiente ideal para proliferar rápidamente, lo que obliga a desarrollar agentes de conservación apropiados. Incluso hay razones para efectuar aportes específicos a una determinada especie animal, como ocurre con las adiciones de carotenoides y fosfatos para la pigmentación del huevo o fosfatos para que las vacas produzcan leche.

Reconociendo como principal problema alimentario la existencia de

casi 1.000 millones de seres humanos que pasan hambre, el resto de la población por unas razones o por otras sufren carencias importantes debido a una alimentación inadecuada. Así, en los países en desarrollo la población sufre avitaminosis, que se traduce en las enfermedades características de estas zonas y en una gran sensibilidad a las infecciones. En las naciones industrializadas, aunque la población tiene la oportunidad de tomar con los alimentos la cantidad suficiente de micronutrientes, minerales, vitaminas, fibra o microelementos, se producen importantes carencias en ciertos grupos de población, por los hábitos alimentarios, modas o necesidades especiales provocadas por el consumo de fármacos, tabaco, alcohol, etc. Aunque todavía hay muchas cuestiones abiertas en la dosificación de vitaminas, los conocimientos actuales muestran la necesidad de aportes adicionales a la alimentación, ya que su falta perjudica la salud. Para responder a la demanda ha sido necesario fabricarlas por síntesis química, copiando la estructura de las vitaminas naturales para lograr el mismo efecto.

La comida además de hidratos de carbono, grasas, proteínas, sustancias minerales y vitaminas, tiene que tener armonía de sabores. El aroma de los alimentos es el resultado de un gran número de sustancias químicas con una dosificación muy precisa de cada uno de los componentes. La producción de determinados alimentos no es suficiente para satisfacer el consumo por lo que debe recurrirse a la obtención de sustancias aromáticas a partir de destilados de plantas por complicados procesos de separación y transformaciones posteriores de naturaleza química o biológica. Cuando se descubre la clave de un gusto, se consigue fabricar esa combinación, de forma idéntica a la de la naturaleza y en unas cantidades que ella no es capaz de suministrar.

Los avances realizados en otros campos se incorporan a los hábitos de consumo creando nuevos problemas para poder satisfacer los requisitos que se piden a los alimentos. Así ocurre con los alimentos cocinados a enorme velocidad, (microondas), en los que el tiempo de cocción no es suficiente para que puedan desarrollar sus propios aromas, siendo necesario añadir sustancias gustativas naturales o idénticas a las naturales.

Hay otros muchos productos químicos que, de una manera aparentemente menos directa, contribuyen a satisfacer la demanda de alimentos. Un ejemplo de estos materiales lo constituyen las dispersiones acuosas que

se emplean para recubrir el papel, el plástico o el metal que se destina a contener alimentos. Ellos permiten su aislamiento para evitar la permeación de vapor de agua, de gases o de aromas, pero a la vez deben resistir a las grasas y aceites, carecer de olor y no provocar contaminación de los alimentos. Del mismo modo, las nuevas técnicas de cultivo se logran gracias al empleo de productos que la naturaleza no nos ofrece directamente.

3.1.2. Productos para el vestido

El empleo de vestidos es el procedimiento que ha utilizado el hombre para protegerse del frío, del calor, de la humedad y de todo aquello que pueda molestarle en su ambiente más cercano; además, le sirve de adorno y de expresión de su personalidad. Los primeros materiales que empleó para la confección de sus vestidos fueron los productos que la naturaleza ponía a su alcance: pieles, pelo lanoso, hilos de seda, fibras de plantas como el lino, borra de las semillas del algodón, etc. Con la manipulación adecuada logró construir su cámara climática personal. A medida que iba aumentando la población, se hacía imposible vestir a todas las personas utilizando exclusivamente estos materiales. Poco a poco se fue exigiendo que la ropa tuviera más prestaciones funcionales y mayor estética. Las demandas de vestido se dirigían en dos direcciones, mayores cantidades de materiales -aumento de la producción de los conocidos o desarrollando materiales nuevos- materiales con mejores propiedades -tejidos más adaptables a requisitos de peso, facilidad de manipulación, posibilidades de coloración, mojabilidad, etc- que era necesario seguir.

Se considera que el primer procedimiento de fabricación industrial de productos químicos es la obtención de sosa a partir de cloruro sódico. Las principales necesidades de sosa procedían precisamente del campo de los vestidos, tanto para tratar el algodón como para obtener jabón y poder lavar las prendas. Este producto no era visible como materia que formara parte de las prendas, pero su concurso era esencial para satisfacer las necesidades de vestidos.

A finales del siglo XIX, la industria química era capaz de obtener las primeras fibras no naturales, aunque partiendo de un producto natural como es la celulosa y por ello denominadas semisintéticas (rayón o viscosa), con las que fabricar ropas. En 1938 aparecen las primeras fibras sin-

téticas, el nylon o poliamida 6.6 descubierta en EE.UU y el perlón o poliamida 6, descubierta en Alemania. Ambas eran resistentes, elásticas y brillantes como la seda. Fueron un símbolo de la generación de la posguerra ya que gracias a estas fibras se pudieron hacer medias que solo pesaban 20 gramos, brillaban como la seda y eran asequibles a las clases modestas. Hasta este momento solo había medias de seda demasiado caras y medias de punto fabricadas con algodón y viscosa mucho más bastas y pesadas y menos estéticas. Las últimas décadas de este siglo han desarrollado las grandes posibilidades que tenían estas fibras sintéticas, a las que se unieron el poliéster y el poliacrilonitrilo. El desarrollo de este tipo de fibras no ha terminado todavía. Todos estos materiales sintéticos proceden principalmente del petróleo con lo cual, las tierras dedicadas a producir fibras para el vestido, quedan libres y pueden dedicarse a la producción de alimentos.

El perfeccionamiento de los procesos de fabricación de las fibras sintéticas permite disponer de los polímeros suficientemente puros para hilar fibras cada vez más finas. Cuando se construyen tejidos con hilos muy finos, los poros tienen un tamaño tan pequeño que permiten la salida del sudor al exterior, pero no permiten que el agua penetre al interior. Logrando que los polímeros tengan una gran pureza se consiguen tejidos similares a una segunda piel.

Los vestidos no están compuestos solamente de fibras, es necesario que tengan los colores apropiados para que incorporen la belleza que demandan los usuarios. Desde los tiempos remotos se han buscado sustancias que fueran capaces de colorear los vestidos. Al principio se utilizaron los colores que proporcionaba directamente la naturaleza; después, debido a su escasez y a sus limitaciones, se dedicó un gran esfuerzo para copiarlos y fabricarlos. La química de los colores se inicia con la anilina procedente del alquitrán de hulla. Este compuesto fue la materia prima básica para fabricar los colorantes añil y alizarina por vía de síntesis, lo que permitió aportar cantidades adicionales a las procedentes de fuentes naturales y dar respuesta a las crecientes demandas del mercado. Desde entonces se emprendieron investigaciones sistemáticas para obtener una gran variedad de colorantes de la máxima pureza y rendimiento.

Actualmente se fabrican del orden de mil sustancias diferentes para aportar color a los vestidos, que se diferencian no solo por el color sino por

su comportamiento para teñir las distintas fibras, y además por el modo de responder a los requisitos exigidos a todos ellos: compatibilidad con el cuerpo, preferencias del cliente, características ambientales, uniformidad del producto, exigencias de las máquinas de tintura, etc.

Se requieren, además de los dos tipos de productos fundamentales comentados antes, una amplia gama de sustancias con diferentes propiedades para que las sociedades, dentro del sistema tecnológico disponible y utilizado, pueda tener los vestidos en la cantidad, calidad y variedad que demandan. Los hilos deben soportar los esfuerzos de la tejeduría para lo que es preciso reforzar el material con encolantes. Para que los tejidos sean más resistentes a la temperatura que deben soportar en el proceso de fabricación, se deben incorporar productos químicos capaces de lograr este objetivo. Otros aditivos consiguen que la lluvia resbale sobre ellos y no alcance la piel. Existen también aditivos para que la suciedad no se fije fuertemente sobre ellos ayudando a que el lavado sea más sencillo. A lo largo de los años el número de aditivos ha ido aumentando para dar respuesta a las necesidades de fabricación o para lograr mejores prestaciones.

La limpieza de la ropa ha sido siempre un objetivo cuya consecución tenía importantes consecuencias para prevenir enfermedades y para devolver la comodidad a los tejidos, además de ser una necesidad social. Los productos empleados para este fin han permitido lograr cada vez mejores prestaciones a costa de incorporar nuevos productos químicos, algunos de los cuáles han ocasionado problemas para el ambiente, lo que ha obligado a buscar otros productos que cumpliendo las mismas funciones, no fueran perjudiciales.

3.2. La protección ambiental

Las sociedades modernistas han ido creando una compleja red de actividades productivas, de prestación de servicios y de hábitos de consumo que han configurado nuestra civilización. Como consecuencia de los modos con que operan los sistemas humanos se producen materiales de deshecho que se caracterizan por su abundancia, por acumularse en determinadas zonas y por contener sustancias que provocan un cortocircuito en los ciclos naturales. Tanto la degradación ambiental, que se fue produciendo a escala local y global, como la previsible escasez de materias pri-

mas y de energía, tiene relación directa con el modelo socio-económico que se ha implantado en el siglo XX gracias al nuevo sistema tecnológico.

No es fácil evaluar la diferencia de calidad y capacidad ambiental entre una situación inicial y otra final, como consecuencia de la actividad humana. La estructura causal que se adopte para describir los sistemas ambientales afecta al resultado de la evaluación y en consecuencia a las medidas a adoptar.

Se adoptó, en primer lugar, el procedimiento determinista para construir el denominado paradigma tradicional²⁰. La estructura de los sistemas ambientales se define mediante la relación causa- efecto para cada uno de los elementos, lo que permite analizar los problemas ambientales de forma independiente ya que la misma actuación produce el mismo impacto. Todos los elementos se definen con expresiones lineales, al duplicar la actividad se duplica el impacto, sin que se vean afectadas por la existencia de otros elementos que actúen sobre el sistema. Cuando se supone que los sistemas ambientales cambian gradualmente y de manera continua, los efectos de las acciones humanas aparecen inmediatamente y cambian progresivamente con el tiempo, siendo sus efectos tanto más pequeños cuanto mayor sea la distancia a la causa. Al considerar que los sistemas ambientales son globalmente estables, la respuesta a las perturbaciones tiende a un valor fijo, por lo que una vez desaparecida la perturbación se vuelve al estado inicial (reversibilidad). En consecuencia, si los sistemas ambientales no modificados por el hombre representan el equilibrio de la naturaleza, la meta a lograr es constancia del ambiente.

Los avances técnicos, los estudios en el campo de la biología, y el nivel de vida en continuo aumento, se hacen incompatibles con el olvido de las repercusiones ambientales y el despilfarro de materias primas y energía de la época de la máquina. Para evitar el deterioro ambiental se tomaron una serie de medidas como la prohibición de utilizar productos que se habían mostrado perjudiciales, la modificación de las instalaciones existentes con el único fin de ahorrar energía, la implantación de tecnologías destinadas a evitar que los contaminantes alcancen el medio en con-

²⁰Galopin analiza las diferencias que existen entre el paradigma tradicional y el adaptativo para describir los sistemas ambientales y su repercusión a la hora de efectuar la planificación de actividades.

centraciones excesivas y al desarrollo de tecnologías para utilizar los residuos como materias primas para la fabricación de productos.

El aprovechamiento y utilización de la chatarra, de los deshechos del caucho y de las escorias permitió limpiar el paisaje de los desperdicios paleontológicos. La electricidad ayudó a proteger el medio con ella desaparece la nube de humo y los vertidos procedentes de los lavados de las minas o de las viejas fábricas químicas a los ríos, apareciendo nuevamente los cielos claros y las aguas limpias.

El significado de las cantidades minúsculas -lo mismo que ocurre en medicina y en filosofía- es característica de esta nueva fase. En la etapa paleotécnica solo interesaban las cifras enteras mientras que ahora la preocupación pasa a las que están a la derecha del decimal.

La opinión pública va conociendo una serie de accidentes y desastres que tienen graves consecuencias para vida y salud de las personas y para la calidad ambiental: smog de Londres (1952); envenenamiento por mercurio en Minamata, Japón (1959,1965); liberación de petróleo, Torrey Canyon (1967) y Amoco Cádiz (1978); dioxinas liberadas por Hofman-La Roche en Seveso, Italia (1976); liberación de metilisocianato por Monsanto en Bopal, India (1984); contaminación del Rin por vertidos de Bayer y Sandoz (1986).

3.2.1. Las tecnologías de fin de línea

El interés despertado para la protección ambiental se ha traducido en el desarrollo y utilización de tecnologías destinadas a controlar la contaminación al final del proceso. El principal objetivo de estas prácticas es limitar el vertido de materiales tóxicos al aire, al agua o al suelo. Con la aplicación de estas tecnologías se logra mejorar la calidad del aire y del agua ya que con su empleo se alcanza el objetivo buscado. Sin embargo, estos planteamientos curativos provocan continuas disputas entre los principales actores ambientales. Para unos suponen costes excesivos y sujetos a la voluntad del legislador, mientras que para otros son un medio de cumplir la legislación, trasladando los contaminantes de un medio a otro, sin abordar la causa del problema.

A medida que la legislación ambiental ha ido imponiendo limitaciones

cada vez más estrictas para las emisiones, vertidos y deposición de residuos, ha sido necesario introducir modificaciones en las plantas industriales existentes que permitieran adaptarlas al marco legal vigente mediante las tecnologías ambientales de fin de línea. Para cumplir los valores de emisión establecidos, las industrias deben instalar filtros, convertidores catalíticos, absorbedores o cualquier otro procedimiento, al final de los equipos utilizados en los procesos de producción. El aumento continuo de los costes, junto a las limitaciones técnicas de determinados procesos, en muchos casos demasiado antiguos y a veces obsoletos, obligó a cerrar instalaciones y sustituirlas por otras adaptadas a los condicionantes ambientales.

Independientemente de que el desarrollo, difusión y aplicación de estas tecnologías de fin de línea ha seguido un proceso continuo, actualmente el debate ambiental ha derivado hacia cuestiones más complejas como el agotamiento de los recursos, la reducción de los residuos, el cambio climático o los contaminantes persistentes. Los procedimientos implantados evolucionan continuamente para adaptarse a las exigencias, económicas o ambientales, que se plantean en cada momento, pero acaban siendo desplazados por otros que se han concebido para que se adapten, desde que nacen, a las exigencias de ese momento, una vez que han alcanzado un grado de desarrollo suficiente. Del mismo modo que para poder cumplir los cada vez más pequeños límites de emisión fue preciso desarrollar y aplicar una tecnología ambiental, creada para este fin o adaptada de la tecnología disponible en procesos de fabricación, este nuevo planteamiento del debate ambiental necesita concebir y aplicar las herramientas apropiadas.

3.2.2. Reciclado

El reciclado consiste en un conjunto de métodos de tratamiento de residuos que permite obtener una materia prima a partir de la cual se obtendrán otros productos. Estos procedimientos tienen unos efectos sobre el ambiente, como cualquier otro procedimiento de fabricación, unas consecuencias económicas derivadas del mercado de productos reciclados y un ahorro de materias primas.

Es indudable que la reintroducción de materiales de valor comercial en el ciclo de consumo supone un descenso de las materias primas a utilizar

y una reducción de la cantidad de residuos a tratar por otros procedimientos, pero el proceso de reciclado requiere la separación previa de los materiales a reciclar y un proceso de fabricación apropiado. Según fueron creciendo las preocupaciones por la protección ambiental se fue imponiendo la idea de que el reciclado era el paradigma de la gestión de residuos. Su significado protector del medio ambiente ha calado en las diferentes capas sociales sin prestar atención a la naturaleza del material a reciclar, a la tecnología de reciclado o a la existencia de mercados para productos reciclados. Paulatinamente se fue asociando la calidad de los modelos de gestión de residuos con la cantidad de residuos sometidos al proceso de reciclaje y con la cantidad de productos que se obtenían a partir de los residuos.

La tecnología de reciclado se caracteriza, lo mismo que cualquier otra tecnología de fabricación, por consumir energía, necesitar materias primas adicionales a las procedentes de los residuos, producir emisiones de sustancias contaminantes y nuevos residuos. Por tanto, el proceso de reciclaje tiene factores ambientales positivos pero también tiene otros factores negativos. El balance entre unos y otros es el que debe determinar las ventajas ambientales de estos procesos frente a otras opciones de tratamiento de residuos.

El producto obtenido en el proceso de reciclado puede tener aplicaciones similares a las del producto virgen -reciclado directo- o muy diferentes a las que tenía el producto del que procede el residuo, reciclado indirecto. Ciertas prácticas de reciclado indirecto son muy similares a ciertos procesos de valorización por lo que son dudosas las razones para establecer diferencias de denominación y menos para favorecer las unas frente a las otras.

Cuando se establece la denominación de productos reciclados, se suele aceptar que forman parte de un mercado diferente. Este mercado se rige por otras reglas debido a su condición de producto reciclado. Por una parte, es necesario buscar aplicaciones para estos productos, aunque casi siempre estas aplicaciones tienen importancia secundaria y por ello, sus precios son menores. Por otra, se deben incluir en el producto reciclado los costes de gestión del residuo empleado como materia prima. La utilización de estos productos sólo es posible si el consumidor los acepta, lo que suele depender de la implantación de políticas destinadas a primarlos económicamente. La importancia que pueden alcanzar estas diferencias se puede

traducir en la creación de mercados -innecesarios- para dar salida a estos productos, con lo que no logra ninguna mejora medioambiental.

Sirvan estas consideraciones para mostrar que el reciclado no constituye la panacea para tratar los residuos o para reducir el consumo de materias primas y energía o para evitar la tendencia a la fabricación innecesaria. La repercusión ambiental de las tecnologías de reciclado, lo mismo que la incorporación de los productos procedentes del reciclado, no es igual para todos los residuos. El reciclado de determinados materiales es una práctica de indudable interés ambiental, pero no significa que este interés se mantenga para todos los materiales. Del mismo modo, un determinado proceso de reciclado puede ser respetuoso con el ambiente y otro muy perjudicial, aunque ambos se apliquen al mismo residuo. Los últimos años del siglo XX han visto las consecuencias negativas de la aplicación indiscriminada de las prácticas de reciclado. El reciclado de residuos cárnicos o de aceites minerales para fabricar piensos ha sido el responsable de las enfermedades de vacas y pollos en Gran Bretaña y en Suiza respectivamente.

4. RESPUESTAS DE LA TECNOLOGÍA AL NUEVO DESAFÍO AMBIENTAL

La década de los setenta es el momento en el que esta cultura modernista entra en crisis y el progreso científico- tecnológico se desplazó del puesto preeminente que había ocupado durante muchos años²¹. En su lugar aparece el conservacionismo y el convencimiento de que toda innovación o progreso científico produce un riesgo desconocido. La sociedad valora los avances que abren nuevos horizontes o que resuelven problemas que percibe, pero ignora los realizados para resolver los mismos de otra manera. El aumento de la sensibilidad hacia los temas relacionados con el deterioro ambiental ha ido acompañado de una preocupación creciente por el previsible agotamiento de materias primas como consecuencia del excesivo consumo²². La aceptación de estos problemas ha contribuido significa-

²¹ Queraltó analiza las principales características sociales, económicas, tecnológicas y culturales en la época que señala el fin de la modernidad.

²² Vian considera que la técnica es el elemento del ecosistema que tiene mayor elasticidad en la oferta y constituye un buen apoyo para recuperar el equilibrio natural.

tivamente a crear la desconfianza en la Ciencia y la Tecnología, como procedimiento para mejorar la calidad de vida, que se percibe en las sociedades avanzadas.

Además, el cambio cultural que comenzó a producirse durante las últimas décadas del siglo XX, en el sentido de dar mayor importancia a los aspectos ambientales, entre otros valores diferentes a los que sirvieron para configurar el mundo industrial moderno, se traduce en profundas modificaciones de consumo. Una consecuencia de esta preocupación por conservar nuestro patrimonio natural es la predisposición de los consumidores a pagar más por aquellos productos que muestren beneficios para el ambiente.

Del mismo modo que el hombre ha sido capaz de aumentar su independencia de la Naturaleza, no ha podido evitar sus miedos a los riesgos que espera del futuro. Junto a los ancestrales temores a las catástrofes naturales, han aparecido los nuevos temores a las catástrofes científico-tecnológicas que no son otra cosa que el testimonio de los peligros que encierran sus adelantos. Hemos aceptado que este temor difuminado puede concretarse en cualquier lugar y por cualquier progreso que se realice. La Ciencia nos ha enseñado que la falta de pruebas de hoy no implica que nuestras prácticas sean inocuas, porque es posible que estudios posteriores demuestren mañana sus efectos negativos.

En la década de los noventa se identifican²³ los problemas ambientales más importantes y entre ellos destacan los siguientes:

- Cambios climáticos
- Pérdida de biodiversidad
- Acidificación
- Gestión de las aguas continentales
- Gestión y amenazas en zonas costeras
- Presiones urbanas
- Disminución del ozono estratosférico
- Grandes accidentes
- Ozono troposférico y otros oxidantes fotoquímicos

²³ El primer análisis de conjunto sobre el estado ambiental en Europa se publicó en 1995 y presenta la lista de los problemas más importantes. Entre los primeros doce problemas, aparecen nueve relacionados con cambios globales.

- Degradación de los bosques
- Reducción y gestión de residuos
- Riesgos químicos

La tecnología es la herramienta que puede emplear la sociedad para evitarlos o corregirlos, modificando las técnicas disponibles o implantando un modelo diferente.

4.1. El conocimiento tecnológico

La tecnología es tan antigua como la humanidad y existía antes de que los científicos comenzaran a recopilar los conocimientos necesarios para poder utilizarlos en la transformación y control de la naturaleza. El advenimiento de la ciencia moderna **no puso** fin a muchos desarrollos tecnológicos que **no se basaban** en conocimientos teóricos. Las máquinas inventadas durante la Revolución Industrial tenían poco que ver con la ciencia que se hacía en aquella época. La historia detallada de la máquina de vapor, del ferrocarril, de la fábrica de tejidos, del barco de hierro, podría escribirse sin hacer más que una mínima referencia a los conocimientos científicos disponibles por sus inventores. Todos estas invenciones se realizaron aplicando el método de la **práctica empírica**, mediante ensayo y selección, por hombres ingeniosos de las minas, las fábricas, los talleres de máquinas, los de relojería y cerrajería o los curiosos aficionados a manipular materiales y a imaginar nuevos procedimientos.

Sólo en la segunda mitad del siglo XIX comenzó la ciencia a tener influencia en la industria, siendo los desarrollos en química orgánica los que hicieron posible la producción a gran escala de los colorantes, y los conocimientos de la electricidad y del magnetismo el desarrollo de la industria eléctrica. El siglo XX se caracteriza por la gran expansión de las tecnologías basadas en conocimientos científicos y por la incorporación del método científico a campos ajenos a las matemáticas y la física como ocurrió en el campo de la tecnología. La interacción de la ciencia y de la tecnología es una de las claves del actual desarrollo de la humanidad. Ambas actividades tienen muchos puntos comunes pero están claramente diferenciadas.

La Ciencia es una forma especial de conocimiento que se expresa por

medio de ideas y teorías que se consideran a sí mismas como verdaderas. Cuando el concepto de tecnología se limita a un concepto de fabricación y uso de artefactos se convierte en una práctica o actividad cuya relación con la comprensión general de la naturaleza parece lejana. Así, cuando las ideas se asocian a la tecnología parecen ser meras ideas científicas empleadas en un nuevo contexto, lo que ha dado lugar a considerar a la tecnología moderna como la ciencia aplicada. De este modo, se limita la tecnología a la utilización de ideas para obtener resultados prácticos. Sin embargo, existen ideas propiamente tecnológicas como el concepto de máquina, optimización, cibernética, aerodinámica, control, etc.

Dentro de la tecnología no se asume que las teorías tecnológicas sean verdaderas sino que se asume que las mismas funcionan y que el trabajo que realizan sea bueno y/o útil. Cuando se plantean dudas sobre su funcionamiento y su utilidad, o se cuestiona la talla moral de sus actuaciones y resultados, o las ideas en las que se basan, es cuando se comienzan a desarrollar ideas y no teorías sobre la tecnología.

4.2. El medio como sistema complejo

La estructura causal de los sistemas ambientales se define por una red interconectada de cadenas causa-efecto con sus bucles de retroalimentación en la que tiene más importancia la estructura de conexiones que la identificación de todos los elementos. Además, las relaciones entre los elementos no suelen ser lineales y los efectos no son aditivos sino sinérgicos. Los sistemas ambientales no presentan cambios graduales sino que muestran discontinuidades, umbrales y límites, que explican los sorprendentes cambios ante variaciones insignificantes. También es posible que los efectos de las actividades humanas aparezcan separados de la acción original, tanto del tiempo en que ocurrió como del lugar en que se produjo, que se originen impactos fuera de los límites del sistema particular analizado o que los efectos acumulados no se puedan detectar hasta que emergen inesperadamente en el futuro. La dinámica interna de los ecosistemas y su capacidad de adaptación ante las perturbaciones hace que el equilibrio se sustituya por la variabilidad dinámica²⁴. Las acciones humanas que pre-

²⁴Ioos muestra las dificultades que ofrecen los sistemas ambientales para lograr su descripción.

tenden conseguir sistemas ambientales estables manteniendo inalteradas sus variables, pueden provocar una pérdida de la resiliencia y hacerlos más frágiles a nuevas perturbaciones.

Es evidente que existe una gran incertidumbre sobre el modo que tiene el medio de reaccionar ante las acciones humanas, con lo cual, las medidas destinadas a conservar el ambiente deben centrarse en estrategias adaptativas que permitan desplazar el sistema hacia modos de comportamiento deseables, pero evitando que pierda capacidad de respuesta ante nuevas situaciones.

El procedimiento que emplea la Naturaleza con sus recursos contrasta con el que aplican las organizaciones humanas. Los residuos que generan sus actividades, cada vez más cuantiosos y complejos, pueden considerarse uno de los resultados que mejor pone de manifiesto las diferencias y la conveniencia de explorar otros caminos de desarrollo tecnológico²⁵. Gastar solo lo necesario y considerar que todo residuo puede ser un recurso son las dos primeras enseñanzas de los sistemas naturales para diseñar nuestras actividades productivas. Tampoco se debe olvidar que, cuando las limitaciones económicas o tecnológicas impidan aplicar estos principios hasta sus últimas consecuencias, es preciso que nuestros residuos no constituyan un peligro para el desarrollo de la vida actual o futura.

Por tanto, la tecnología, y la industria como agente básico de la economía, se enfrentan a unos requerimientos ecológicos que dirigen su actividad hacia finalidades y resultados más aceptables por el medio. Esta modificación de los comportamientos ambientales condiciona la elección entre las diferentes alternativas de producción al influir, no solo sobre los costes y los beneficios, sino sobre la propia supervivencia de productos y procesos. El papel recuperador y regenerador que la Naturaleza ejerce en los ecosistemas con sus propios materiales puede servir de modelo a los sistemas humanos para emplear procesos de fabricación, distribución y consumo, en los que se gaste solo lo necesario. También podemos imitar el papel que ejercen los actores que participan en el ciclo recurso-residuo para que fabricantes, comerciantes, administración, usuarios y demás componentes de la cadena asuman cada uno su responsabilidad. Si en las

²⁵ Lovelock describe el planeta Tierra, Gaia, como un organismo vivo que optimiza las condiciones para sobrevivir. La especie humana debe aprender a intervenir como un organismo que forma parte del sistema biológico global.

diferentes etapas del proceso se considera que todo residuo es un recurso potencial, se puede evitar la producción de materiales que den lugar a un cortocircuito del ciclo.

4.3. Prevención, reutilización y valorización

Las acciones destinadas a evitar o disminuir la cantidad de los residuos formados en el proceso de fabricación se denominan acciones de prevención. También son acciones de prevención las medidas destinadas a reducir la presencia de productos peligrosos o sustancias contaminantes en los residuos. La adopción de los procedimientos necesarios para cumplir estos objetivos corresponde a los propios fabricantes y con ellos se pretende reducir en origen la formación de residuos. Se puede considerar que la prevención en origen o prevención en el proceso de fabricación se realiza con las actuaciones destinadas a lograr que el residuo no se genere o se genere en una cantidad inferior, que el residuo se genere en la misma cantidad pero que se pueda utilizar en el mismo proceso y que el residuo se genere en la misma cantidad pero pueda utilizarse como materia prima en otro proceso diferente.

El producto obtenido en la instalación se destina al mercado, pero una vez utilizado se transforma en residuo, no de proceso sino de producto. Aunque este residuo se origina por el consumidor, los fabricantes pueden diseñar sus productos de modo que ocasionen los menores problemas posibles en esta fase final de su vida. Las actuaciones de prevención de residuos de producto, en el proceso de fabricación, deben considerarse si se realiza un planteamiento integral de gestión de residuos desde el punto de vista ambiental. También pueden considerarse como acciones de prevención en origen, ya que se orientan hacia el descenso de la cantidad de material empleada en la confección del objeto, las actuaciones destinadas a conseguir que se reduzca el peso, el volumen, el número de unidades y la peligrosidad de los residuos en que se habrá transformado al final de su vida útil, y prestando el mismo servicio.

El concepto de prevención se aplica con facilidad si se limita, como acabamos de hacer, a la producción de residuos en el proceso de fabricación o como consecuencia del consumo. Ampliando su significado, se pueden incluir dentro de la prevención acciones destinadas al ahorro de las

diferentes materias primas, al aumento potencial de las posibilidades de reutilización, al aumento de las posibilidades de valorización o al ahorro de energía en todas las fases de actividad del producto. Al extender el concepto con estos parámetros, que se salen del marco de los residuos en el sentido clásico del término, se origina un concepto demasiado complejo para su aplicación práctica porque se establece una relación de las acciones de prevención con todo el ciclo del material utilizado para un propósito determinado, que pueden dar lugar a confusiones.

En el término de reutilización se incluyen las acciones necesarias para que un determinado objeto se pueda volver a utilizar -sin otro tratamiento que no sea un mero acondicionamiento- para una finalidad similar y de idéntico modo para el que fue fabricado originalmente. Los productos de un solo uso han permitido aumentar la autonomía y capacidad de elección del consumidor, mayores niveles de higiene personal y de salud pública y mayor calidad a un precio asequible, pero han sido responsables de la generación de una gran cantidad de residuos y de un excesivo consumo de materias primas.

Un objeto, que se ha diseñado para que una vez utilizado se acondicione y pueda ser empleado de nuevo, no forma parte de los residuos mientras se mantenga en el circuito de los productos. La reutilización es una estrategia para evitar la producción de residuos que necesita introducir cambios profundos en elementos de la cadena de los productos, como la distribución y el consumo, ajenos al proceso de fabricación.

Tanto las actuaciones de prevención como las de reutilización se destinan a un mismo objetivo, evitar la existencia de residuos de fabricación o de producto, empleando dos estrategias diferentes, a veces complementarias y a veces incompatibles. Es evidente que, en principio, estas medidas son favorables para la conservación del ambiente pero deben evaluarse por medio de indicadores objetivos que pongan de manifiesto sus resultados -disminución de residuos generados en los procesos de producción por unidad de producto, disminución de residuos de envases por unidad de producto envasado, disminución de residuos potencialmente generables por unidad de producto puesto en el mercado, etc.- y sus implicaciones ambientales específicas.

Con el término reciclado, recuperación o valoración se designan una

serie de actuaciones que pretenden aprovechar el residuo para fabricar productos útiles o para obtener energía. Además, logran reducir la cantidad de residuos como consecuencia del aprovechamiento de materiales o de las modificaciones que deben introducirse en el proceso a que son sometidos. En el apartado 3.2.2. se analizaron sus principales repercusiones ambientales.

4.4. Instrumentos conceptuales para comparar alternativas

Debido a las dificultades que aparecen a la hora de seleccionar la opción más adecuada para la conservación del medio, se han propuesto una serie de instrumentos conceptuales que permiten valorar las diferentes actuaciones posibles.

Con el establecimiento de una jerarquía de actuaciones para la gestión de residuos se dispone un criterio que ordena las diferentes opciones, en principio, del modo más favorable para el ambiente encuadrándolas como prevención, reutilización, reciclado, valorización y eliminación. No es sencillo ubicar un determinado procedimiento en el nivel que le corresponde, debido a la conveniencia de que ocupe un lugar elevado para sacar ventajas comerciales.

Un método que puede emplearse para conocer el ahorro de recursos es el **índice de desviación a vertedero** que refleja la eficiencia del aprovechamiento de las materias primas empleadas en la fabricación al cuantificar la cantidad destinada a vertedero. Como todos los procesos no ofrecen las mismas oportunidades para obtener valores bajos de este índice de medida, se debe referir al mínimo valor alcanzable en cada situación concreta.

El procedimiento de evaluación del **ciclo de vida** se utiliza para estimar el impacto ambiental que provoca un producto, un proceso o una actividad, mediante la identificación y cuantificación de los materiales y energía que se utilizan, y de los residuos que se producen y liberan al entorno. Su objetivo consiste en identificar las opciones que permiten mejorar la calidad del medio y en valorar sus posibilidades de aplicación. En el término ciclo de vida se incluye la extracción y procesamiento de las materias primas, la fabricación, el transporte, la distribución, el empleo, la reutilización, el reciclado y la eliminación de los residuos. La técnica de

evaluación del ciclo de vida apareció en los años setenta y se viene utilizando para conocer el comportamiento ambiental de procesos y productos.

En los últimos años se ha realizado un gran esfuerzo para desarrollar una metodología que permita medir la relación entre el valor que tiene lo producido y el impacto causado por el bien. El valor se determina analizando la adecuación del producto a lo que quiere y está dispuesto a pagar el consumidor. El impacto ambiental se mide conociendo todo el ciclo de vida del producto. Algunos aspectos de esta medida se pueden cuantificar pero en otros es necesario tomar decisiones subjetivas. No basta con que un producto consiga menores impactos ambientales que los de sus competidores, es necesario que se vendan en lugar de los otros. Si no se venden no se logra el pretendido efecto ambiental. Es necesario que las ventajas ambientales compensen el mayor precio para que se acepten por los consumidores.

Este tipo de herramientas conceptuales, destinadas a objetivar las repercusiones ambientales de procedimientos y de productos, debe utilizarse en el debate ambiental sustituyendo al ocultismo derivado del secreto industrial, a la pretendida superioridad de conocimientos, cuando no desprecio por los interlocutores ajenos a la actividad, a los debates maniqueístas de bondades frente a maldades, al poco racional, “y lo otro es peor aunque no se diga nada contra él”, y al basado en citas y contracitas, similar a los discursos medievales sobre temas de fe.

4.5. Procedimientos de fabricación

Cuando la industria centra el objetivo económico en disminuir los costes unitarios, la optimización del proceso de producción es el procedimiento para conseguirlo y por consiguiente, las mejores tecnologías son las que utilizan procesos más eficaces y las que permiten operar de modo que se aumente la calidad de los productos fabricados. Sólo es posible mantener el desarrollo si se produce una reducción significativa del consumo de recursos mediante una reorientación de esta economía industrial.

Al tratar de integrar las dimensiones ambiental, social y económica para lograr una supervivencia a largo plazo surge el concepto de **desarrollo sostenible**. Su consecución depende de la capacidad de combinar cua-

tro factores: economía competitiva, menor degradación ambiental, mayor eficacia en la gestión de los recursos y mayores tasas de empleo²⁶. La protección del ambiente es más efectiva cuando el desarrollo de los productos y procedimientos de fabricación se orientan para conseguir estos objetivos. Las sustancias y energías consideradas residuales deben incorporarse al circuito de fabricación en la mayor medida posible, del mismo modo que deben evitarse las pérdidas de materiales y de energía que puedan aprovecharse de alguna manera, mediante aislamiento, incineración, etc.

Los resultados económicos del proceso de fabricación dependen del nivel de aprovechamiento de las materias primas, de la energía o de cualquier otro recurso que sea necesario utilizar. La formación de residuos es una consecuencia del aprovechamiento incompleto. Al aumentar el rendimiento de los recursos empleados, se logra un descenso de la cantidad de residuos formados y en consecuencia un potencial aumento de beneficios por una doble vía: descenso del coste de recursos y descenso del coste de gestión de residuos.

Otro camino que conduce a un mejor aprovechamiento de los recursos físicos empleados en la fabricación y a un descenso de los residuos formados es su empleo para fabricar productos. La consideración del residuo como un recurso implica la necesidad de utilizar un proceso de fabricación adicional, por lo que su aplicación corresponde a una estrategia diferente a la que se emplea cuando se pretende limitar su formación.

4.5.1. Productos para vender prestaciones

Siempre que la reducción del flujo de recursos destinados a satisfacer necesidades sea un objetivo empresarial, la venta de prestaciones es una estrategia más apropiada que la venta de productos. En el modelo de venta de prestaciones o servicios, el producto empleado es propiedad y responsabilidad de la compañía que lo fabrica durante todo el ciclo de vida y deben diseñarse para que se adapten y realicen el servicio pedido. Un ejemplo:

²⁶Moldan y Billharz proponen un sistema para medir las presiones que las actividades humanas producen sobre el medio, para conocer el estado de salud que presenta en un momento determinado y su evolución en función de las medidas correctoras que se adoptan.

Actualmente, para combatir las plagas, se debe lograr una modulación de la población en lugar de la habitual destrucción total que no respetaba a la fauna auxiliar (insectos polinizadores, depredadores y parásitos de la propia plaga). En lugar de vender productos para que los aplique el agricultor, se vende un servicio consistente en destruir un determinado porcentaje de la población de una plaga, respetando los demás seres vivos que se encuentren junto a ella en el momento de la aplicación, y con un comportamiento ambiental aceptable. Este cambio de una actividad, basada en productos a otra basada en el empleo de productos para lograr un determinado servicio, supone un cambio cualitativo en los sistemas de diseño y de fabricación de productos.

Muchos productos destinados a aplicaciones industriales, una vez utilizados, carecen de valor para el usuario y suelen ser tratados por un gestor de residuos con el fin de valorizarlos, destruirlos o depositarlos. En el modelo de venta de servicios, al ser el producto propiedad del fabricante en lugar del usuario, debe retirarlo, limpiarlo o reacondicionarlo antes de volver a emplearlo o eliminarlo del circuito de los productos. De este modo se crea un incentivo financiero para que la empresa trate de incrementar el tiempo de vida del producto que presta el servicio y al centrar el objetivo económico en la utilización se favorece el descenso del consumo de recursos y el de la producción de residuos.

La venta de servicios significa una desmaterialización de la economía y en consecuencia un acicate para los modelos de fabricación y tecnologías capaces de evitar los residuos y de favorecer los “productos máquina”, es decir, aquellos productos que una vez cumplida su función están en condiciones de, mediante un acondicionamiento y mantenimiento sencillo, volver a prestar la misma función durante mucho tiempo.

4.5.2. Productos y subproductos destinados al reciclado

Un modelo de fabricación lineal es aquel en el que las materias primas se transforman en los productos destinados al mercado; estos productos una vez utilizados se transforman en residuos. Como consecuencia de este planteamiento la responsabilidad del productor sobre sus productos cesa en el punto de venta, de modo que el residuo, originado por el producto después de su utilización, constituye un problema ajeno al fabricante. Las

medidas destinadas a resolver los problemas que plantea este modelo de fabricación tienen, entre otras consecuencias, grandes implicaciones en la tecnología.

Considerar, desde el momento en que se concibe el proceso de fabricación, el destino de sus productos una vez utilizados por sus clientes equivale a proponer un modelo de fabricación cíclica muy diferente al tradicional. Al pasar los recursos a productos y estos a residuos, es preciso considerar bucles o ciclos en el proceso. El bucle más corto supone la incorporación de los productos ya utilizados a un lugar del proceso de fabricación cercano al producto final, por lo que su significado es el de reutilización, reacondicionamiento o reparación de productos. En el bucle más largo se produce la intersección en el punto del proceso en que se incorporan las materias primas, razón para denominarla como operación de reciclado. Cuanto más próxima esté la inserción del residuo al producto y más lejana se encuentre de las materias primas, el comportamiento del proceso de fabricación será, en principio, más favorable para el ambiente.

El modelo de fabricación cíclica se adapta bien a la economía de servicios ya que en ambos casos se busca un descenso del flujo de materiales que se produce en el paso de los recursos a los residuos. Sin embargo, la existencia de varios bucles significa que es posible operar de diferentes modos y en consecuencia existe la posibilidad de priorizar una de ellas por su facilidad de aplicación o por su repercusión ambiental.

Las actuales estructuras económicas, basadas en el flujo de materiales, se adaptan a las estrategias de reciclado- bucle largo- mientras que el bucle corto supone una prolongación de la vida del producto y un mayor descenso del flujo de materiales.

Una característica que tienen los procedimientos de fabricación cíclica es que, a lo largo de toda la cadena, el residuo formado no ha pasado a formar parte de otro propietario o responsable que no sea el fabricante. Cuando hay trasvase de residuos entre compañías, aunque se realice considerándolos como materias primas, no se opera en un sistema cerrado sino mediante sistemas que intercambian para evitar los residuos. Este intercambio debe hacerse de modo que el consumo sea mínimo para que pueda considerarse prevención. Si el intercambio se realiza con un excesivo consumo de materia o de energía la actuación no responde al concepto de pre-

vención, sino al de reciclado. La proximidad de las instalaciones y el diseño de sus actividades para formar entre todas un único sistema ambiental constituye una estrategia que se ha utilizado con buenos resultados ambientales.

4.6. Producción más limpia

Los deseos de las sociedades avanzadas por disfrutar de una calidad ambiental cada vez más alta, junto al aumento constante de las actividades productivas y potencialmente contaminantes y el conocimiento científico, en continua expansión y mejora, alertando sobre riesgos reales de los contaminantes sobre la salud y el ambiente, obligan a imponer valores de emisión cada vez menores. Su cumplimiento solo es posible si se emplean las denominadas tecnologías ambientales, tecnologías creadas para evitar que los contaminantes alcancen el ambiente en concentraciones excesivas o recurriendo al empleo de tecnologías de fabricación diferentes.

A medida que la legislación ambiental va imponiendo mayores limitaciones a la emisión de contaminantes, se van incorporando tecnologías de fin de línea cada vez más complejas, con lo que continuamente se va encareciendo el proceso de fabricación. Este modo de controlar la contaminación, reteniendo determinadas sustancias una vez que se han formado, se tiene que ir sustituyendo por otro que consiga evitar su formación.

El impacto ambiental de las instalaciones industriales se reduce si se consigue identificar el origen de los residuos y de los contaminantes y una vez identificado se toman las medidas capaces de evitar su formación. Con el nombre de producción más limpia se designa a una estrategia preventiva orientada a reducir al mínimo el impacto de la producción y de los productos sobre el medio aplicando tanto tecnologías apropiadas como medidas de organización. Estas tecnologías no sólo pretenden reducir las emisiones al final de línea, sino que pretenden, también, reducir el uso de recursos y limitar el uso de sustancias tóxicas a lo largo de la vida del producto.

Según este planteamiento, la tecnología limpia es la que evita o reduce los problemas ambientales a lo largo de todo el ciclo de vida integrando los procesos y los productos en un sistema que permita reducir al míni-

mo el volumen y los peligros de los residuos gaseosos, líquidos y sólidos, que sea capaz de disminuir el riesgo de accidentes en todas las operaciones en que intervienen los productos, que logre una minimización del consumo de materias primas, agua y energía y, finalmente, que los productos y procesos utilizados para alcanzar el objetivo buscado, supongan el menor peligro para la salud humana y para el ambiente.

Las tecnologías limpias suponen un planteamiento diferente al efectuado por las tecnologías de fin de línea para establecer una relación más equilibrada entre el medio ambiente social y el físico. Mientras que las tecnologías de fin de línea son soluciones curativas o paliativas, las tecnologías limpias buscan soluciones preventivas.

Los avances producidos en otros campos del saber, especialmente con la ayuda de las nuevas y potentes técnicas analíticas, han ido demostrando y poniendo en conocimiento de la sociedad los efectos negativos que determinadas sustancias, utilizadas en la obtención de productos de consumo o emitidas en los procesos, tienen para la población. Ante esta situación, que ha durado bastantes años, no podía esperarse otra reacción social que el temor a los riesgos diferidos, graves y generalizados, de las actividades destinadas a la fabricación de productos o a la obtención de energía así como al nacimiento de un deseo de sustituirlos por otros que den el mismo servicio pero que tengan otro origen diferente.

4.7. El problema: energía y productos

La biosfera es un sistema que interacciona con el Sistema Solar del que recibe aportaciones de energía y al que envía las cantidades equivalentes de energía degradada. Como no es un sistema cerrado no puede analizarse desde planteamientos estáticos y debe recurrirse al estudio de la capacidad de reciclado y autoorganización que le confieren los subsistemas que lo forman.

En el origen del proceso de captura de energía procedente del sol, se encuentran los organismos fotosintéticos, que son capaces transformar moléculas simples en moléculas más complejas, las cuales almacenan la energía que requieren los procesos fisicoquímicos de autoorganización de la vida. También el hombre ha sido capaz, por medio de la tecnología, de introducir energías primarias para que, convenientemente transformada,

alimente los procesos que caracterizan sus actividades. A través de la conversión mecánica de la energía cinética (hidráulica y eólica) y de la energía térmica convencional (fósil y biomasa) y nuclear se produce electricidad. Hornos, reactores, turbinas y alternadores son los equipos necesarios para transformar todas las energías primarias en electricidad, unificando los procesos de consumo y de utilización y multiplicando las opciones de abastecimiento.

La utilización intensiva de la energía, rompiendo las estructuras de los combustibles orgánicos o radiactivos o concentrando la energía solar disipada en la Tierra, cualquiera que sea la forma en que se presente, tiene como compañero inseparable la alteración de los procesos naturales que rigen la evolución de los ecosistemas. No existen tecnologías de utilización intensiva de la energía que no produzcan impactos negativos en el medio²⁷: Los combustibles fósiles con sus emisiones de CO₂ y el efecto invernadero, de SO₂ y NO_x y las lluvias ácidas entre otros efectos; la energía nuclear con los riesgos asociados a su explotación y a la acumulación y almacenamiento de sus residuos; la energía hidroeléctrica con la alteración del ciclo del agua, el consumo de espacio o la alteración de los hábitat locales; la energía eólica y la ocupación de espacios de interés para determinadas comunidades zoológicas e incluso las hipotéticas alteraciones del clima; la energía solar y el espacio consumido o sus impactos sobre insectos polinizadores. Los residuos sólidos originan problemas similares a los vinculados a los combustibles fósiles y siempre aparecen impactos ambientales para cualquier fuente de energía que consideremos.

La tecnología no ha encontrado, en el camino que ha recorrido hasta ahora, otros procedimientos diferentes a los que ha empleado para lograr el mismo desarrollo, con un menor consumo de energía. Su evolución nos muestra que el desarrollo la va impulsando hacia la eficiencia y que este parámetro va aumentando en la misma medida en que lo hace la innovación tecnológica. Sin embargo, el análisis de los procedimientos empleados para disponer y consumir energía, exceptuando la energía hidroeléctrica y la eólica, conduce al agotamiento de las actuales fuentes. El amplificador de energía de Carlo Rubbia es un camino hacia la tecnología de la fisión nuclear no autosostenida, basada en un combustible radiactivo

²⁷ Jodra describe la situación actual de la producción y demanda energía y las opciones del futuro. Analiza las características de los distintos tipos de energía y su impacto ambiental a través de emisiones, vertidos y residuos.

abundante en la naturaleza y que no genera residuos tan difíciles de gestionar como los que proceden de las actuales centrales nucleares. La energía nuclear de fusión es el otro camino que se está tratando de abrir para superar las dificultades que se observan en el actual sistema de aprovisionamiento energético.

La evolución de la tecnología nos enseña que, independientemente de las dificultades que aparecen en la consecución de estas u otras tecnologías energéticas, en la misma medida en que aumente la percepción social del problema se irán creando los estímulos que necesita la innovación.

Con el nacimiento de las máquinas térmicas en el siglo XVII se pudo transformar el calor generado por la combustión en energía mecánica y las máquinas de vapor, los motores de gasolina, los motores Diessel y las turbinas de gas han sido los encargados de sustituir, junto a molinos de viento y de agua, el esfuerzo físico en las más variadas tareas y de amplificar nuestras limitaciones de potencia o de movimiento. Dos siglos después se dispone de un procedimiento, todavía no superado, para transportar energía y para mover máquinas con un nuevo tipo de motor, el motor eléctrico.

La electricidad tenía otra aplicación muy importante, la transmisión de información. El timbre eléctrico, el telégrafo eléctrico, el teléfono, la radio y la televisión son procedimientos para transmitir información muy diferentes a los empleados hasta el advenimiento de la electricidad. A mediados del siglo XX se descubrió el efecto transistor que permitió sustituir a los primeros artilugios electrónicos como las válvulas de vacío y los relés. Los transistores pueden considerarse como la “máquina” que ha permitido construir el actual sistema de transmisión, almacenamiento y procesamiento de la información por medio de satélites de comunicaciones, teléfonos móviles, ordenadores, televisión digital, etc.

Este cambio radical en las maneras de tratar la información supone una desmaterialización del proceso con las consiguientes ventajas ambientales, aunque no se ha traducido en una alternativa que permita disminuir el excesivo e innecesario consumo de papel. Siempre que se incorpora una nueva tecnología aparece en el horizonte una preocupación por sus consecuencias ambientales; en este caso se teme a los efectos que las ondas electromagnéticas pueden tener en la salud humana o en el medio.

La confianza de usuarios y consumidores en los productos que le ofrece el sistema productivo va disminuyendo a medida que aparecen informaciones sobre la contaminación del agua o de los productos alimentarios. Sin embargo, nuestra vida depende de las sustancias sintetizadas por el hombre hasta el punto de nuestra civilización está dominada por ellas. En el Inventario Europeo de Sustancias Químicas Comercializadas aparecen registrados más de cien mil productos y el ritmo de crecimiento es de varios cientos al año. En la última década del siglo XX se han producido unos 1.200 millones de toneladas al año de productos de síntesis en el mundo, cifra que muestra la dependencia que tiene nuestra economía de sus propiedades y aplicaciones²⁸.

Sabemos que la presencia en el medio de cantidades crecientes de sustancias de síntesis ofrece riesgos para el hombre y para los ecosistemas²⁹. El suelo, el agua, la atmósfera o la cadena alimentaria es el destino de muchas de estas moléculas, algunas caracterizadas por su persistencia y su toxicidad, cuando no por su tendencia a acumularse en los seres vivos. Es muy probable que algunas de estas moléculas vayan acompañadas de riesgos y problemas, cuyas consecuencias, a pesar de las bajas concentraciones en que se encuentran, tiene una envergadura desconocida.

La tecnología destinada a la fabricación de productos de síntesis debe evolucionar de acuerdo con principios ambientales que nos protejan de las exposiciones de bajo nivel como los siguientes:

- a) Reducción drástica de las descargas de sustancias persistente al ambiente para lograr que los efectos de exposición sean mínimos, siempre que no sea posible la nulidad de los vertidos.
- b) Sustitución de sustancias químicas por otras menos peligrosas, evitando el uso de estas últimas siempre que sea posible.
- c) Sustitución de las actividades de venta de productos químicos por actividades de prestación de servicios para el mismo fin.
- d) Consideración de los riesgos asociados a las impurezas que acompañan a los productos y a las sustancias de degradación, después de finalizada su vida útil.

²⁸ López Mateos analiza los principales factores que afectan al porvenir de la industria química: competitividad, desarrollo sostenible y compromiso de progreso.

²⁹ Sylvan y Bennet describen diferentes maneras de aproximarse a la ética ambiental dependiendo de la importancia que se conceda a los valores ambientales frente a otros valores.

- e) Aplicación del principio de precaución, dando prioridad al nivel del riesgo frente al grado de incertidumbre científica.

El seguimiento de este tipo de principios supone un gran desafío para este campo de la tecnología pero también una buena oportunidad para la innovación destinada a generar nuevos procedimientos. Aceptando este marco de operaciones, la industria química debe utilizar una nueva estrategia para que esta posibilidad que ofrece la naturaleza, de transformar unos productos en otros, siga dando frutos a las sociedades humanas, frutos que estas, de una u otra manera, demanden. Un objetivo fundamental es la fabricación de productos cuya aplicación y eliminación se consideren seguras, utilizando para otorgar esta denominación los resultados obtenidos al analizar todas las propiedades que puedan tener efectos negativos sobre la salud humana o el ambiente. También deben descartarse aquellos procedimientos que ofrezcan riesgos de operación y los productos que presenten dificultades para el usuario, tanto en su manejo como en su eliminación.

5. CONCLUSIÓN

El ser humano ha superado los mecanismos biológicos de transmisión de experiencia mediante unas habilidades que denominamos mecanismos culturales. Analizando los cambios ocurridos en el tiempo histórico, se deduce que la transmisión cultural es mucho más eficaz que la imperceptible transmisión genética, y que la experiencia que se transmite es una experiencia interpretada en lugar de la experiencia obtenida. Precisamente esta diferencia que tienen los mecanismos culturales para transmitir información, es la que introduce un profundo cambio con respecto a los mecanismos biológicos que regulan la evolución por selección natural. Y, es en este cambio, donde se encuentran nuestros temores a no ser capaces de encontrar ese equilibrio dinámico de la naturaleza que garantiza, según hemos ido aprendiendo de nuestros fracasos, mejor que por ningún otro procedimiento, la continuidad.

Lo mismo que las civilizaciones, las tecnologías no son organismos autónomos. El hombre moderno no hubiera podido inventar su actual equipo técnico sin aprovecharse libremente de las culturas que le precedieron o que se desarrollan a su alrededor. Cada gran diferenciación en la

cultura, parece ser el resultado de un proceso de sincretismo en el que, previamente, se ha producido la disgregación de sistemas establecidos para que puedan extraerse elementos con los que construir un sistema diferente, en otro lugar y en otro momento, suficientemente alejados. En el centro de este proceso, se encuentra la innovación sin cuyo concurso no puede existir el desarrollo tecnológico. Probablemente, con la innovación se pretende emular culturalmente a la selección natural a través de la eficiencia como concepto equivalente a la adaptación.

Todos los seres vivos tienden a incorporar a su propia materia, la materia y la energía de su alrededor, con el menor coste y la mayor eficiencia, para lograr su supervivencia individual y colectiva. La predisposición que tiene el hombre a la innovación, es una manifestación específica de la tendencia general hacia la búsqueda de los mejores procedimientos para adueñarse de lo que le rodea. La Tecnología puede considerarse como una estructura sistemática del pensamiento, que acumula aquellos conocimientos adquiridos los cuales le permiten disponer de poderosos instrumentos para transformar su capacidad natural de adaptación al medio. Aplicando los procedimientos tecnológicos, el hombre ha ido mejorando sus condiciones de existencia y aumentando su confianza en que su especie sobrevivirá.

Es posible que, en ciertos momentos históricos, las sociedades hayan confundido la capacidad de entender las leyes naturales con la capacidad de escapar a su dominio, pero la naturaleza tiene sus propias reglas que no siempre coinciden con los deseos del hombre. Del mismo modo que los principios de la termodinámica constituyen una restricción a nuestras actividades, los equilibrios ecológicos deben integrarse progresivamente en la conducta social. Las sociedades avanzadas han percibido que la degradación ambiental es una consecuencia del modelo de vida basado en el desarrollo y también que este modelo puede poner en peligro el entorno natural en el que se soporta la existencia de la especie humana. El desarrollo y el deterioro ambiental son dos procesos inevitables pero que están interrelacionados y se autoregulan por medio de la incorporación de los conocimientos científicos y tecnológicos a los mecanismos por los que la sociedad decide el camino que desea seguir.

Esperemos que los errores que hemos cometido en el pasado, ayuden a decidir en el presente, el camino que debe seguir la tecnología para que no condicionemos la vida del futuro.

6. BIBLIOGRAFÍA

BASALLA, G. (1994) "La evolución de la Tecnología". RBA editores, Barcelona.

BERNAL, J. D. (1979) "Historia Social de la Ciencia". Ed. Península, Barcelona.

CARDWELL, D. (1994) "The Fontana History of Technology". Harper Collins Publishers Ltd. Nueva York.

DESSAUER, F. (1927) "Philosophie der Technik: das problem der realisierung". F. Cohen, Bonn.

GALLOPIN, G. C. (1981) "Planning Methode and the human Environment". UNESCO, París.

GILFILLAN, S. C. (1935) "Inventing the Ship". Chicago of University Press, Chicago.

JODRA, L. G. (1998) "De la Madera y el Sol al Átomo: ¿Un Viaje de Ida y Vuelta?" Horizontes Culturales. Espasa Calpe, Madrid.

KAPP, E. (1978) "Grundlinien einer Philosophie der Technik". Stern-Verlag Jjanssen, Düsseldorf.

LEROI-GOURHAN, A. (1973) "L'Homme et la Matière". Editions Albin Michel, París.

LÓPEZ MATEOS, F. (1996) "Competitividad y Calidad, Objetivos Imprescindibles de la Industria Química". Coyve, Madrid.

LOVELOCK, J. (1988) "The Ages of GAIA: A Biography of Our Living Earth". Oxford, University Press; Oxford. U. K.

MITCHAM, C. (1988) "¿Qué es la filosofía de la tecnología?". Editorial Antropos. Promat, S. Coop. Ltda. Barcelona.

MOLDAN, J. y BILLHARZ, S. (1997). "Sustentibility Indicators". Wiley, Nueva York.

MUMFORD, L. (1934) "Technics and Civilization". Hartcourt, Brace & World. Nueva York.

NIETO-GALÁN, A. (2001) "La seducción de la máquina". Nivola libros y ediciones; Madrid.

OGBURN, W.F. (1933) "Living with Machines". Harper&Row Nueva York.

ORTEGA Y GASSET, J. (1982) "Meditación de la técnica y otros ensayos sobre ciencia y tecnología". Alianza Universidad. Madrid.

QUERALTÓ, R. (1991) "Mundo, tecnología y razón en el fin de la modernidad". PPU. Barcelona.

REULEAUX, F. (1876) "The Kinematics of Machinery; Outlines of a Theory of Machines". E. J. L. Scott, Londres.

STANNERS, S. Y BOURDEAU, P. (1995) "Europe's Environment; The Dobris Assessment" Agencia Europea de Medio Ambiente, Copenhagen.

SYLVAN, R. Y BENNETT, D. (1994). "The Greening of Ethics". The White Horse Press, Cambridge, U.K.

USHER, A. P. (1929) "A History of Mechanical Inventions". Harper&Row, Nueva York.

VARIOS AUTORES. (1999) "La Industria Química en el Siglo XXI. Desarrollo sostenible y compromiso de progreso". Feique, Madrid.

VIAN, A. (1984) "Técnica y Medio Ambiente". Real Academia de Farmacia. Madrid.

**DISCURSO DE CONTESTACIÓN DEL
EXCELENTÍSIMO SEÑOR DOCTOR DON
FEDERICO LÓPEZ MATEOS**

**Excelentísimo Señor Presidente,
Excelentísimos/as Señores/as Doctores/as Académicos/as,
Señoras y Señores:**

Mi presencia hoy en esta tribuna me deja un sabor agridulce porque aquí querría yo ver, en este acto, al Doctor Académico Excmo. Sr. D. Ángel Vian Ortuño, padrino en esta Real Academia de D. Arturo Romero y, en cambio, en su ausencia irreversible, tengo el grato honor de dar la bienvenida a esta Casa a este destacado alumno mío de tiempo atrás y hoy eminente compañero de cátedra que es el profesor Arturo Romero.

Ustedes pierden y, en particular tú, Arturo, porque la grandeza académica, agudeza profesional y fino estilo literario de D. Ángel, mi maestro, daría brillo al discurso que acabamos de oír y a la vida y obra de quien, a partir de hoy, ocupará el sillón número 5 de nuestra Institución.

D. Arturo Romero Salvador nació en Pozalmuro, provincia de Soria, hace casi 55 años, y su vida académica y profesional está dedicada a las actividades de la Química, de la Ingeniería Química, de la Tecnología Química en, y desde la Universidad.

Licenciado en Ciencias Químicas y Doctor en Química Industrial por la Universidad Complutense, ha vivido todos los empleos de la carrera universitaria: becario, profesor ayudante, profesor adjunto, profesor agregado y catedrático de universidad.

Estuvo entre 1978 y 1982 en la Universidad del País Vasco donde, además de explicar esa disciplina básica de la Ingeniería Química que es la Físico-Química de los Procesos Industriales -hoy Ingeniería de la Reacción Química- fue director del Departamento de Química Técnica y vicedecano de la Facultad de Ciencias. Un rodaje de responsabilidades que luego amplió al incorporarse a la Universidad Complutense.

Aquí, desde 1983, como catedrático, ha sido director del Departamento de Ingeniería Química, Vicerrector de Investigación durante 8 años y Rector en funciones. Además, ha sido Coordinador de Tecnología Química de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología. Ahora ejerce como director del Instituto Complutense de Drogodependencias.

Al catedrático de universidad, hoy, se le piden muchas cosas: que viva en la vanguardia de los conocimientos de su especialidad y los incorpore al contenido de su docencia; que investigue, contribuyendo al desarrollo de la Ciencia y/o de la Técnica, o de ambas; que dirija y coordine democráticamente un equipo humano; que gestione y defienda sus proyectos de investigación; que se integre activamente en las inquietudes de la Universidad y sea, como doctor, luz que ilumine a la Sociedad. Demasiado para los recursos de que dispone y para el reconocimiento que le dispensa esa misma Sociedad.

A pesar de todo existen esos universitarios de vocación, que con esfuerzo y gran cantidad de trabajo llegan a todo. Entre ellos, el profesor Romero Salvador, como han conocido por su vida y queda reflejado en su obra: ha participado en la edición de 4 libros, ha dirigido 19 tesis doctorales, tiene publicados cerca de 150 artículos en revistas nacionales e internacionales, es autor de 3 patentes de invención de procedimientos de fabricación de productos, ha elaborado un centenar de informes técnicos para la industria privada e instituciones públicas sobre desarrollo de procesos, diseño y fabricación de catalizadores, simulación y optimización de procesos, gestión y tratamiento de residuos, etc. Todo esto, además de la actividad docente -habitual y reglada-, de la impartición de conferencias en los foros más diversos -desde Reales Academias hasta Cursos de verano-, y la participación en Congresos, presentando comunicaciones y defendiendo ponencias.

Pues bien, de este resumen del vastísimo curriculum que nos ofrece D. Arturo quiero destacar dos aspectos: su vocación profesional por la Tecnología Química y su profundo conocimiento de la estructura y valores potenciales de la investigación en las instituciones públicas españolas.

Desde esta plataforma se entiende bien el porqué del discurso que acabamos de oír en el que la Historia y la Filosofía de la Ciencia y de la Técnica dan luz a la estrategia de la Conservación y Defensa de la Naturaleza.

La Tecnología, como tratado o coordinación de la técnica, se enriquece permanentemente por la aplicación del conocimiento científico, por la incorporación de las soluciones aportadas por los técnicos en el ejercicio de su profesión o como respuesta a la demanda de nuevos productos para la Sociedad que, utópicamente, reclama mejor calidad de vida, a pesar de estar muy lejos de haber conseguido el nivel de vida mínimo para toda la Humanidad.

En estas circunstancias la producción industrial se debate en dos frentes: la atención masiva a las necesidades básicas: alimentación, salud, vestido y habitat, que deseamos para que la persona humana viva con la dignidad que le corresponde como ser racional; y, al suministro de productos específicos, de alto valor añadido, que satisfacen las demandas más sofisticadas de cosmética, farmacia, comunicaciones, etc... En ambos casos, los riesgos ambientales que llevan consigo esas fabricaciones y productos son de distinta calidad y magnitud: en los primeros, casi siempre, por las elevadas capacidades de producción de las instalaciones; y, en los otros, en muchas ocasiones, por no haber investigado suficientemente los efectos secundarios que pueden proporcionar los nuevos productos a largo plazo.

Estos efectos condicionan las directrices actuales de la industria en las que, frente a la obtención de beneficios económico por vender más y ofrecer productos nuevos en exclusiva que proporcionan los ingresos, tiene que preocuparse por la seguridad en las instalaciones de producción y su repercusión sobre el ambiente, interno y externo, de la fábrica a lo largo del ciclo de vida del producto, tanto por los residuos que genera -entendidos como desechos y energías resultantes de la descomposición o destrucción de las materias primas en productos con formas que no interesan como por sus desperdicios -que son desechos relacionados con los productos que han interesado y que, cuando ya no es fácil su aprovechamiento o uso se dejan de utilizar por obsolescencia o descuido-.

Hasta hace muy poco los efectos económicos de la producción prevalecían netamente sobre los ambientales. Esa tendencia va cambiando lentamente, a medida que se consideran los impactos ambientales a largo plazo para que en las vías del progreso económico, social y político se atiendan a las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas propias; es decir, para mantener el Desarrollo Sostenible que nos propone el Doctor Arturo Romero.

Para resolver este dilema entre el Progreso y la calidad Ambiental tenemos que mantener permanentemente un ejercicio de responsabilidad pública y privada. Las administraciones tienen que defender al ciudadano y a la Naturaleza; las empresas tienen que atender a la producción para evitar la dispersión de los residuos y preparar la estrategia técnica para el aprovechamiento de sus productos cuando se conciernen en desperdicios; y, los ciudadanos tienen que colaborar activamente en la gestión de los desperdicios.

Las directrices son claras pero su ejecución justa y perseverante no parece tan sencilla. Las autoridades disponen de una amplia legislación, suficiente para prever riesgos y corregir desviaciones y la Tecnología dispone de máquinas y aparatos precisos para reducir o eliminar los efectos desfavorables y cuantificar los parámetros que garantizan la calidad.

Entonces: ¿por qué se siguen produciendo agresiones a la Naturaleza? y ¿por qué se siguen produciendo accidentes graves?. ¿Qué falla: el mantenimiento o el obsolescencia de las instalaciones?; ¿no será la formación de los técnicos? o ¿la ética y cultura empresarial?.

Estas y otras cuestiones se suscitan en el discurso del profesor Romero Salvador. No es éste el momento del debate ni mucho menos el de profundizar, por mi parte, en el asunto. Pero sí es el lugar para que la semilla de este día fructifique en esta Real Academia multidisciplinar que tiene tantos debates pendientes.

Doctor don Arturo Romero Salvador, recibe la enhorabuena en nombre de esta Institución y en el mío propio con la esperanza de que encontrarás tiempo para seguir reflexionando sobre lo que hoy nos ha propuesto y otras incógnitas que la Tecnología plantea a la Humanidad. Es, al fin y al cabo, un deber que tenemos con nuestra Sociedad.

He dicho.