

Medio ambiente, contaminación, energía y materiales

P. C. KREIJGER*

Matériaux et Constructions, noviembre-diciembre 1973, pág. 411

Traducción de C. Sánchez Castro

I.E.T.c.c.

1. INTRODUCCION

Ha sido únicamente en este último siglo cuando la humanidad se ha multiplicado en número suficiente, y adquirido el poder necesario para llegar a ser el Organismo potencialmente más dañino que alberga desde su creación el planeta Tierra.

Capaz de destruir la propia especie humana en mayor escala con medios de guerra conscientemente ideados, repentinamente se ha hecho patente, en gran medida, que esta explotación inconsciente e incontrolada de los recursos de la tierra puede similarmente hacer el planeta incapaz para la vida.

En lugar de los tradicionales puntos de vista políticos y económicos que hasta ahora han guiado y medido en gran escala las acciones de la humanidad, es necesaria una nueva forma de pensamiento considerando el conjunto de relaciones del hombre hacia su ambiente: pensamiento ecológico, o expresado de una forma más sencilla: "cuidado del planeta casa".

* Profesor de «Materiales» en el Departamento de Arquitectura de la Universidad Tecnológica de Eindhoven de Holanda.

Algunos ejemplos pueden servirnos de guía [1]:

- Una reciente estimación indica que se han extinguido en los pasados 1.900 años, 107 clases de mamíferos y 100 especies de pájaros. De estas pérdidas, el 70 % han ocurrido en el pasado siglo y son debidas, principalmente, a la acción de los hombres; en menor cuantía por la acción de la caza que a causa de la destrucción del habitat.
- Frente a unas 50 t de materias primas consumidas por persona, en el año 1880, nosotros actualmente utilizamos más de 300 t por persona/año; cuando esto se traduce en cantidades de hierro, carbón, petróleo, madera y otros productos “cosechados” de la tierra, procesados y distribuidos a cualquier parte, la operación llega a ser de considerable magnitud ecológica, especialmente desde que el crecimiento es exponencial (ver figura 1 y referencia [2]).

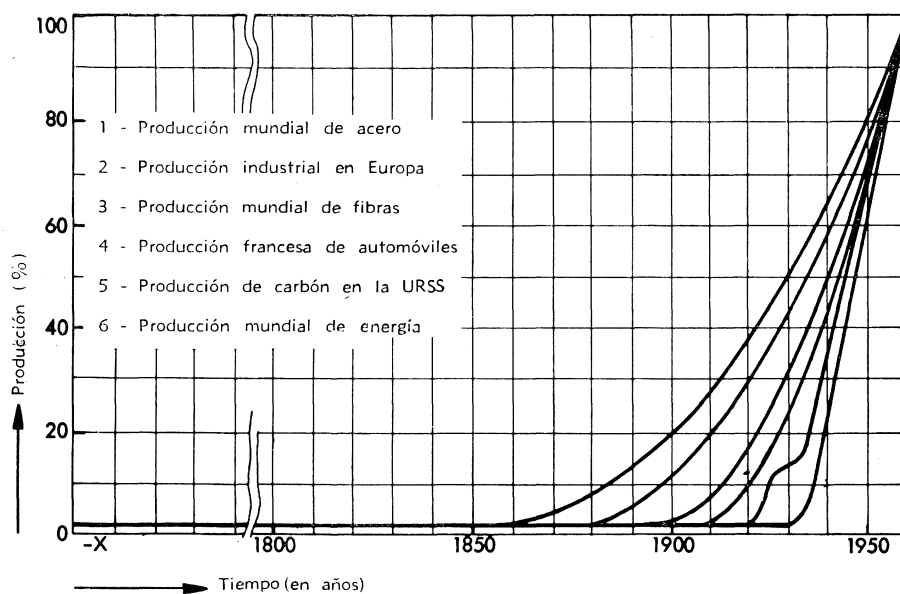


Fig. 1.—Incrementos en diferentes producciones, tomando como fecha de referencia 1916 = 100 % [2].

- En el último siglo se han introducido en la atmósfera, como mínimo, 400×10^9 t de CO_2 , incrementándose la concentración del CO_2 en un 14 %; durante los años 1954-1962 el valor medio del incremento ha sido del 5 %.
- Se ha hecho una estimación de que cada año los Estados Unidos lanzan a la atmósfera 142×10^6 t de humos y emanaciones nocivas —alrededor de 635 kg por persona/año—.
- Además de la contaminación aérea, se ha calculado que ciertos elementos, como por ejemplo, argón, neón, criptón, etc., esenciales para el mantenimiento de la vida, son actualmente “extraídos” de la atmósfera, para las operaciones industriales, a una mayor velocidad que a la que son producidos por los procesos naturales.
- Una sexta parte de los suministros alimenticios del mundo depende de los fertilizantes nitrogenados. Para elaborar 10^6 t de tales fertilizantes anualmente se utilizan, directamente o en industrias con ellos relacionadas, 10^6 t de acero y 5×10^6 t de combustible. Se estima que unas 50×10^6 t de estos fertilizantes se necesitarán el año 2000. Grandes cantidades de dichos fertilizantes y abonos químicos son lavados y arrastrados fuera de las tierras por las lluvias, los riegos y los drenajes hacia las aguas naturales, perturbando el equilibrio de la vida acuática. El indebido crecimiento de algas y plantas disminuye el contenido de oxígeno para los peces y otros organismos, atenuándose así la autorrenovación del sistema acuático.

— El agua, un recurso clave en la vida cotidiana, en la agricultura y en la industria, alcanza también un equilibrio crítico en muchas regiones del mundo. El consumo de agua en los Estados Unidos se ha elevado de $0,15 \times 10^9 \text{ m}^3$ en el 1900 a más de $1,13 \times 10^9 \text{ m}^3$ en 1960; el consumo medio per capita en el Oeste de los Estados Unidos es de unos $0,5 \text{ m}^3$ diarios. La industria paulatinamente requiere vastas cantidades de agua para los tratamientos que, aproximadamente, son:

- 7,3 l para producir 1 l de gasolina.
- 95 l para producir 1 kg de acero.
- 190 l para producir 1 kg de papel.
- 950 l para producir 1 kg de acetato.
- 2.350 l para producir 1 kg de caucho sintético.

La agricultura sigue absorbiendo directamente el 50 % de todo el consumo, requiriéndose de 400 a 500 l de agua por cada kg de planta seca producida.

— El aprovechamiento de desperdicios, incluso en los países más avanzados, es, todavía, arcaico. El promedio de las ciudades de los Estados Unidos de América con una población de $0,5 \times 10^6$ habitantes, cuenta, actualmente, con una cantidad de aguas de alcantarillado de $0,19 \times 10^6 \text{ m}^3$ diarios y produce unos 4 kg por persona/día de residuo sólido.

— Aparte de los aspectos más divulgados de la contaminación por radiactividad, debe considerarse con atención la “contaminación del plomo” —procedente del plomo tetraetilo de los aditivos de los carburantes de los automóviles y otros usos de los compuestos de plomo en las zonas domésticas—. Al cabo de casi 50 años de uso rápidamente creciente, tal contaminación con plomo está, actualmente, alcanzando niveles próximos a la toxicidad en aguas, cosechas y en el sistema humano. Así mismo es necesario dedicar mucha atención a la toxicidad causada por el mercurio, cromo, cadmio y arsénico en ciertas zonas industriales.

— A causa de nuestra supuesta predilección por la carne se está produciendo, con el fin de alimentar a toda la población mundial, tres veces más albúmina de la necesaria, base de una alimentación exclusivamente de vegetales; puesto que hay un promedio de pérdidas del 90 % por la conversión de cosechas y legumbres en albúmina animal.

Debemos señalar que el crecimiento de la población, en salud y riqueza, y el correspondiente crecimiento de producción y consumo, conduce a la inevitable contaminación y a una mayor utilización de los recursos, que son limitados. Por lo tanto, nuestra obligación es hacer un balance de nuestras reservas en suelo, agua y aire, tanto desde un punto de vista cualitativo como cuantitativo, para que cada cual elabore en su campo tecnológico. De una manera creciente debemos iniciar ajustes mutuos de modo que afecten a los diferentes campos: agricultura, transporte, industrialización, suministro de energía, construcción de ciudades, esparcimientos, protección de la naturaleza, desarrollándolas hasta un grado óptimo.

— En este artículo se pretende llevar a cabo un análisis provisional de algunos materiales (de construcción) con respecto a lo precedente.

Por tanto nos preguntamos a nosotros mismos, ¿qué recursos en materiales debemos tener para hacer uso de ellos?

Son los siguientes:

- metales por ejemplo acero y aluminio
- materiales cerámicos por ejemplo ladrillos, hormigón y vidrio
- polímeros por ejemplo madera y plásticos.

¿Cuánta energía, agua y aire son necesarios durante los procesos de extracción y fabricación y cuántos residuos y contaminación (cuantitativa y cualitativamente) se llegan a producir? ¿Cuál es el consumo de estos materiales y cómo se espera que crezca? ¿Debemos comprobar nosotros mismos que una vez elaborados los materiales, asimismo hemos incrementado futuros residuos! Si existen P productos, cada uno con W kg de sólidos y si el tiempo de vida de servicio del producto es L , la producción de residuos sólidos por año es $\sum \frac{W_i \cdot P_i}{L_i}$, por lo cual las soluciones de recogida eficaz y procesamiento (re-llevo sanitario de tierras, reutilización y recirculación, combustión) tienen que ser independientes de reducir al mínimo la basura. Si se dispone de los datos mencionados, éstos pueden utilizarse para seleccionar algunos materiales o productos destinados a ciertos empleos privados o por el gobierno (como, por ejemplo, mediante tasas, proporcionales a $\frac{W}{L}$).

2. CAPITAL, RENTA Y CONSUMO DE MATERIALES Y ENERGIA

La vida de la tierra se encuentra concentrada en la llamada biosfera: una capa de aire relativamente delgada, agua y suelo. Abarca verticalmente hacia arriba solamente alrededor de 12 km y hacia abajo hasta las profundidades hoy día conocidas de los océanos (12 km), y dentro del primer km de la propia corteza terrestre se ha encontrado que viven organismos.

2.1. La tierra

La superficie total de la tierra es aproximadamente de [1] 508×10^6 km², de los cuales 145×10^6 km² son de tierras secas = 28,3 % y 363×10^6 km² = 71,7 % de agua.

Las tierras secas están compuestas por:

$16,0 \times 10^6$ km ² de tierras y bosques cultivados	= 3,0 % a 11 %
$27,6 \times 10^6$ km ² de pastos y praderas	= 5,3 % a 19 %
$43,4 \times 10^6$ km ² de bosques	= 8,5 % a 30 %
$58,0 \times 10^6$ km ² de terrenos baldíos	= 11,5 % a 40 %
<hr/>	
$14,5 \times 10^6$ km ² de tierras secas	= 28,3 % a 100 %

2.2. La madera

De esta superficie, $13,2 \times 10^6$ km² se utilizan en explotaciones forestales [3], (incrementándose ésta en un 10 %, según se indica en los informes [4] y [5]), en tanto que pueden ser explotados económicamente $20,5 \times 10^6$ km². Puesto que el promedio de madera que se obtiene en las distintas regiones es de 9.000 m³/km² (en Europa 6.900 y en E.U.A. 7.100) se dispondrá en total de:

120×10^9 m ³ de madera, de los cuales 64×10^9 m ³ son de coníferas y 56×10^9 m ³ son de frondosas

— En la Tabla I puede verse el consumo mundial de madera en el año 1969.

T A B L A I

Consumo de madera en 1969 [6]

Aplicaciones	Mundial		E.U.A.		Africa	
	10 ⁶ m ³	%	10 ⁶ m ³	%	10 ⁶ m ³	%
Madera de construcción (madera de serradero, durmientes, madera de entibar)	774	36,1	205	61,2	14	6,1
Madera para pulpa de papel	277	12,9	96	28,4	1	0,4
Varios	161	7,5	15	4,3	10	4,1
Madera combustible	933	43,5	20	6,1	212	89,4
TOTAL	2.145	100	336	100	237	100

De la Tabla I puede apreciarse la gran diferencia existente en las aplicaciones entre los países desarrollados y en vías de desarrollo.

Todavía, aproximadamente, la madera es utilizada como combustible, si bien la madera apenas tiene importancia significativa en relación con el consumo mundial de energía (que en 1860 supuso un 57 %, un 13 % en 1913 y un 3,5 % en 1953).

El total de bosque bajo es de unos 2×10^9 m³ anuales o sea 10^9 t, que representa \simeq el 2 % de la masa de bosque en explotación y que es compensado por el crecimiento anual (para el Norte de Europa los datos dados en [5] es de un 3,4 %).

La madera además de utilizarse como material de construcción, produce una cierta cantidad de residuos (alrededor de un 40 % en volumen) que sirven como fuente de carbono, por ejemplo para los plásticos [7].

El residuo de la madera puede ser la madera sobrante durante el desbroce o la desperdiciada durante la fabricación de los productos primarios; alcanza un 40 % del volumen total del monte bajo (4×10^8 t/año). Esta cantidad —según la referencia [7]— puede ser incrementada, pues el promedio de rendimiento mundial es actualmente de unos 180 m³ de madera por km² de bosque, mientras que, por ejemplo, en un clima templado es posible un rendimiento de 1.000 m³/km², e incluso mucho más en los trópicos. Si gradualmente los montes que pueden ser explotados se ponen en producción, según la figura 2, la producción mundial puede incrementarse en 30×10^9 m³ de madera por año.

En consecuencia con un 40 % de residuos se dispondrá de 12×10^9 m³ de madera, para la producción de carbono. Si por ejemplo, la utilización de madera como combustible disminuye en un 25 % del total del monte bajo y la parte que no se dedica a ser quemada se emplea en la producción de carbono ($4,5 \times 10^9$ m³), arrojará un total de $16,5 \times 10^9$ m³ anuales, o sea 4×10^9 t de carbono, dado que la composición media de la madera es (Tabla II):

TABLA II
Composición media de la madera

En componentes	(%)	En elementos	(%)
Celulosa	50	C	50
Lignina	20	H	6
Hemicelulosa	20	O	44

Esta cantidad de 4×10^9 t de carbono anual es ≈ 30 veces la parte de combustible fósil que actualmente se usa para su transformación en materiales (Tabla III):

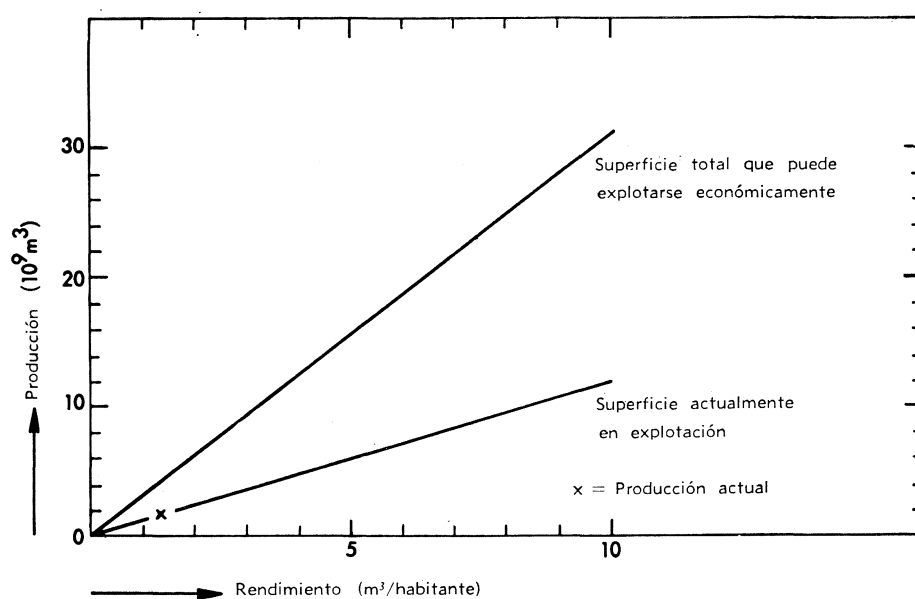


Fig. 2.—Producción mundial alcanzable [7].

TABLA III
Utilización del combustible fósil en productos químicos

Materias primas	Producción en 1969			De los cuales se usaron en productos químicos		
	10^{15} kcal	10^6 t	10^6 t de C	10^6 t	10^6 t de C	% de la producción
Carbón	17,7	850	1.750	21	18	1
Petróleo	20,7	2.072	1.760	104	88	5
Gasés naturales	8,5	850	490	43	24	5

En consecuencia, para productos químicos se emplea un equivalente a 130×10^6 t de carbono, que es del mismo orden de magnitud de la cantidad de carbono procedente de los residuos de la madera, en la actualidad (2×10^8 t). Como el problema, sin duda, es el aprovechamiento del residuo de la madera, se espera [7] que en el futuro todos los países productores de madera construyan factorías madereras que producirán, además de madera aserrada y pulpa de papel, también productos químicos a partir de los residuos

De la totalidad de las zonas forestales, alrededor del 40 % están situadas en Iberoamérica y Africa; así, una importante parte de tales industrias pueden ubicarse en regiones en vías de desarrollo. Además el rendimiento de los bosques tropicales es muy alto y de hecho en estos bosques una gran parte de la madera no está acondicionada para los actuales usos comerciales. Consecuentemente, el porcentaje de residuos es muy alto. Sin duda alguna el proceso puede realizarse de modo que no se produzca contaminación. Si esto sucediese, el empleo de la madera como fuente de carbono para la industria química haría posible un ciclo cerrado para el carbono.

2.3. El agua

— La distribución de la cantidad de agua en el mundo es la siguiente:

- humedad del suelo y agua del suelo:
 - agua bajo la superficie 8,40 × 10⁶ km³
 - lagos de agua dulce, lagos de agua salada, ríos, corrientes de agua:
 - agua superficial 0,23 × 10⁶ km³
 - agua de la atmósfera (humedad) 0,013 × 10⁶ km³
 - casquetes y glaciares (el 90 % localizados en la antártida) ... 29,1 × 10⁶ km³
 - océanos 1.320 × 10⁶ km³
- Total de agua en la tierra 1.357,743 × 10⁶ km³
- o en números aproximados 1,36 × 10⁹ km³

El 80 % de la vida animal del planeta y una gran masa de esta vegetación se encuentran bajo el agua; así, comparativamente muy poco de ésta es utilizada como alimento. El pescado y otros habitantes orgánicos presentan elevados índices de crecimiento; las cosechas de los océanos tienen un “clima” menos variable; los problemas para su posible cultivo y recolección son menores que en la tierra. Las otras posibles fuentes de materiales de los océanos apenas si se han investigado. Vastos depósitos de menas metálicas (nódulos de manganeso y fósforo) han sido localizados recientemente en los lechos de los océanos, y las propias aguas constituyen una rica fuente de materias susceptibles de ser extraídas. La composición media de las aguas marinas y de las aguas potables (ion gramo/kg de agua) puede verse en la Tabla IV:

T A B L A IV
Composición del agua marina y de las aguas dulces
(ion gramo/kg de agua)

Elemento	Agua de mar	Agua dulce	Elemento	Agua de mar
Na	10,850	0,006	Sr	0,013
K	0,390	0,002	Br	0,066
Mg	1,290	0,004	F	0,0013
Ca	0,410	0,015	B ₂ O ₃	0,027
Cl	13,340	0,008		
HCO ₃	0,140	0,058		
SO ₄	2,700	0,011		
SiO ₂	—	0,013		

Aunque la composición del agua de mar es casi constante, desde luego es una composición en equilibrio dinámico.

Además el CO_2 de la atmósfera está disolviéndose en los océanos. Por otra parte, los océanos también producen O_2 por el plancton en una cantidad tal, que es la mitad del O_2 producido por las plantas de tierra firme. Este O_2 es cedido a la atmósfera.

2.4. Contaminación de las aguas

— Por medio del ciclo hidrológico, la contaminación del aire (por ejemplo en SO_2) produce la contaminación de las aguas superficiales que, a su vez, son contaminadas por los usos caseros y la industria. A modo de ejemplo, en las figuras 3 y 4 se facilitan datos sobre la distribución del pH en la Europa Occidental, en función del tiempo. En este aspecto, también los océanos llegarán a estar contaminados.

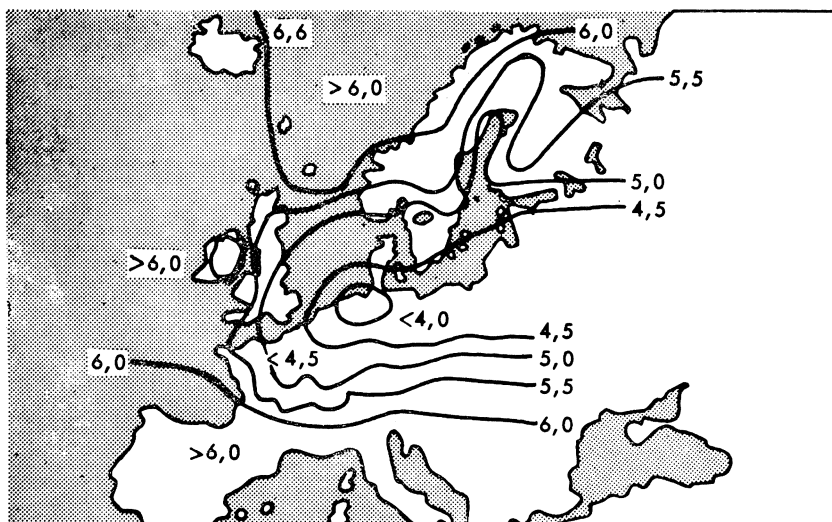


Fig. 3.—Curvas de distribución de precipitación de pH en Europa durante 1962 [14].

— Inmediatamente después se presenta la contaminación de los océanos por el petróleo, estimada [8] (año 1969) en $2,1 \times 10^6$ t, no tanto debido a los desastres marítimos (Tory Canyon) como a los procesos normales de elaboración de las refinerías, industrias petroquímicas, pozos petrolíferos en el fondo de los mares, descarga de lubricantes y petróleos y precipitación de hidrocarburos. La cantidad real de petróleo que llega directamente al agua se dice que es proporcional a la producción de petróleo y se valora en un 0,1 % de la producción total [9]. Sin embargo, si se tiene en cuenta la precipitación de hidrocarburos procedente del aire sobre la superficie de los océanos, esta cifra probablemente será del 0,5 %, puesto que la cantidad de hidrocarburos que se incorpora a la atmósfera por la combustión de los productos petrolíferos se evalúa en 90×10^6 t (alrededor de 40 veces la cantidad que se deposita directamente en los océanos). Así, si tan sólo un 10 % de estos hidrocarburos de la atmósfera alcanzan los océanos la contaminación total del agua del mar por los hidrocarburos es de unas 5 veces la contaminación por la descarga directa en el mar y por el petróleo descargado sobre la tierra y arrastrado por los ríos hasta el mar. La solubilidad de los hidrocarburos en el agua depende de x , como por ejemplo:

C = 5 n-pentano	...	...	...	38,5 mg/l
C = 6 n-hexano	...	...	...	9,5 mg/l
C = 7 n-heptano	...	...	...	2,9 mg/l

En consecuencia, las fracciones con bajo punto de vaporización resultan más solubles que otras que lo tienen alto (fuel-oil). Del mismo modo los aromáticos son más solubles que los alifáticos, por ejemplo el C 6-benceno: 1,780 mg/l, mientras que el n-hexano: 9,5 mg/l y el ciclo-hexano: 55 mg/l; el C 12-1, 3, 5 trietilbenceno: 7 mg/l, mientras que n-dodecano: 0,01 mg/l. Para el petróleo la solubilidad es 100-150 mg/l; para el combustible Diesel, 1-20 mg/l. Existe, pues, una amenaza secundaria de petróleo soluble [10].

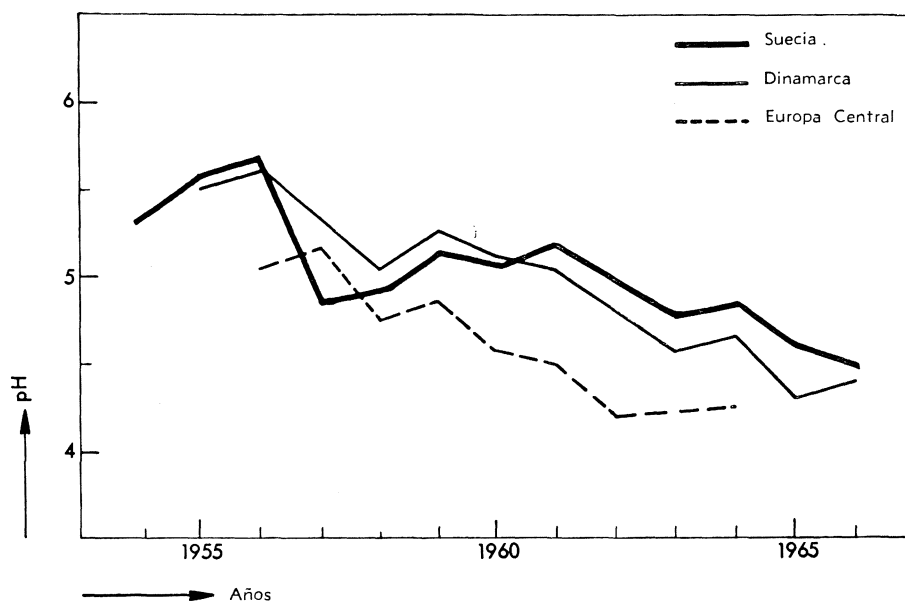


Fig. 4.—Disminución del pH de la lluvia en algunos países [14].

- También la radiactividad es un importante contaminador de la atmósfera y del agua. Es originada por la disipación de la energía nuclear en el espacio o en la tierra y por las pruebas de las bombas atómicas. Se disponen de numerosos datos sobre este tipo de contaminación [11].
- Otros ejemplos de contaminación de la fase acuosa o el plancton son los pesticidas (la producción mundial de DDT, parathion y endosulfan es de 10^6 t/año) o, en general, los productos químicos orgánicos y los metales altamente venenosos (Hg, Pb, Cd, Sn, Cu, As, Ni y Cr_2O_3).
- Gradualmente los océanos se degradan hasta convertirse en una escombrera. Por ejemplo los desperdicios vertidos por los Estados Unidos al mar en 1970 fue, \approx de 10^7 t, siendo la mitad de ellos desperdicios industriales y un 40 % de aguas de alcantarillado y basuras [12], mientras que cada año se vierten en los océanos 38×10^6 t de fangos de los puertos.
- Así mismo existe la natural desintegración, desgaste y erosión de los sólidos de la tierra hacia los océanos. La Tabla V muestra los datos de la bibliografía [9] y [12], ambas comparadas con las producciones industriales.

Es evidente que, en términos generales, una importante parte de la producción se vierte en los océanos

- Desalinización: La producción de agua potable a partir del agua de mar también forma parte del cada vez mayor uso del agua. Especialmente la combinación energía nuclear/generación de agua potable es un medio productivo. Tales unidades, actualmente en uso en diferentes partes del mundo tienen una capacidad desalinizadora de unos $0,19 \times 10^6$ m³/día, lo cual significa un incremento del 100 % sobre los dos pasados años [1] y [13].

TABLA V

Desgaste natural comparado con la producción industrial

Elemento	Referencia [12]		Referencia [9]	
	Producción industrial 10 ⁶ t/a	Erosión natural 10 ⁶ t/a	Aportaciones provocadas por el hombre (minería) 10 ⁶ t/a	Aportaciones geológicas (arrastre de los ríos) 10 ⁶ t/a
Fe	—	—	319	25
N	—	—	9,80 (consumo)	8,50
Mn	—	—	1,60	0,440
Cu	5,00	0,250	4,46	0,375
Zn	4,5	0,720	3,93	0,370
Ni	0,470	0,010	0,358	0,300
Pb	2,9	0,100	2,33	0,180
P	60	0,720	6,50 (consumo)	0,180
Mo	0,055	0,036	0,057	0,013
Ag	0,054	0,036	0,007	0,005
Hg	0,0087	0,0025	0,007	0,003
Sn	—	—	0,166	0,0015
Sb	0,054	0,036	0,040	0,0013
S	95	130		
V	0,009	0,030		
Co	0,016	0,007		
As	0,058	0,072		
Se	0,001	0,007		
U	0,021	0,0015		

2.5. Composición de la corteza terrestre

Vamos a ocuparnos ahora de la propia corteza terrestre (litosfera), que tiene un promedio de composición química:

Elemento	O	Si	Al	Fe	Ca	Na	K	Mg	H
%	47	28	8	5	3,5	3	2,5	2	0,9

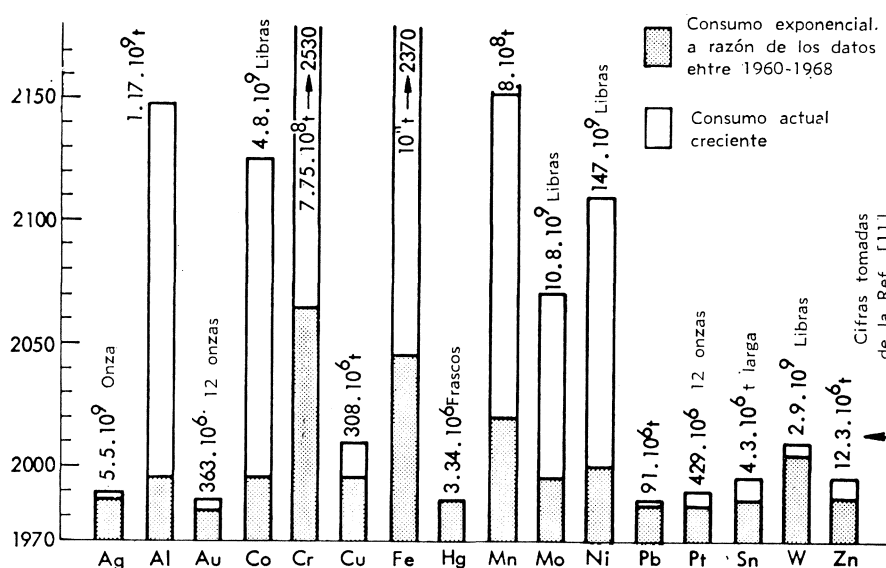
En tanto que considerándola como la tierra en su totalidad: el Fe = 67,0, O = 12, Si = 7, Ni = 4 y el resto = 10 %.

2.6. Metales

De gran importancia son las fuentes de los así llamados irremplazables: metales y combustibles fósiles.

La figura 5 y referencias [9] y [11] presentan una visión general de las reservas mundiales de los 16 metales más importantes; de lo cual se deduce que con el continuado consumo actual todas las reservas hasta hoy día conocidas se agotarán en el plazo de 100 años, con la excepción del Al, Co, Cr, Fe, Mn y Ni. Sin embargo si el consumo crece exponencialmente con el mismo ritmo que en los 10 últimos años, todos los stocks conocidos se agotarán dentro de 50 años, a excepción del Cr y Fe, que se encuentran en suficiente cantidad para un período extra de 40 años. Ni que decir tiene que esto es una forma de indicar que la situación es preocupante y también un medio de comparar la situación en relación con los diferentes materiales. De hecho esta meta es alcanzable y en consecuencia el costo de producción que son los factores determinantes. La cantidad de la llamada reserva económica es de cálculo dudoso puesto que la situación de los puntos de prospección y el cómputo de las fuentes de producción existentes no son perfectamente conocidas, y la economía de la explotación viene determinada por factores que pueden cambiar prontamente.

Fig. 5.—Reservas mundiales de 16 clases de metales [9] y [11].



Por tanto, frecuentemente se toma como reserva que es explotable frente a un cierto precio, en ocasiones doble del precio actual. Esta puede ser una de las razones que pueden dar lugar a que diferentes autores hagan estimaciones de estas reservas algo diferentes. Además, y sin duda es cierto, las cantidades de metales y combustibles de la tierra son limitadas. En consecuencia, la presentación de los datos sobre cada caso debe ser una advertencia para que cuidemos de nuestros suministros, no desperdiciándolos y/o encontrando métodos para la reutilización de dichos residuos. En lo que se refiere a productos, este concepto nos encamina a emplear un mínimo de material por unidad de volumen y a un máximo de vida de servicio, después del cual el producto debe ser reciclado.

2.7. Energía

Respecto a la energía tenemos energía almacenada en forma de combustibles fósiles, lo mismo que madera, vegetales y desperdicios de granjas, carbón, petróleo, gas natural y los elementos susceptibles de fisiónarse o combustibles nucleares, tales como el uranio, torio y plutonio. Además estamos recibiendo constante y renovadamente las energías procedentes de las estrellas, de la radiación solar y de otras procedencias.

Según los datos dados en la bibliografía [11], las reservas mundiales conocidas de carbón, petróleo, gas natural y sus correspondientes equivalencias y pronósticos de utilización, pueden verse en la Tabla VI.

TABLA VI

Reservas mundiales de combustibles fósiles y su importancia

5.000×10^9 t de carbón	455×10^9 barriles de petróleo (1) $\equiv 89 \times 10^9$ t de EC de petróleo	(2) $32,3 \times 10^{12}$ m ³ de gas natural $\equiv 42 \times 10^9$ t de EC de gas natural
= 2.300 años al ritmo del consumo actual	= 31 años	= 38 años
= 111 años $\left\{ \begin{array}{l} \text{Con un incremento anual del consumo del 4,1 \%} \end{array} \right.$	= 20 años $\left\{ \begin{array}{l} \text{Con un incremento anual del consumo del 3,9 \%} \end{array} \right.$	= 22 años $\left\{ \begin{array}{l} \text{Con un incremento anual del consumo del 4,7 \%} \end{array} \right.$
= 150 años $\left\{ \begin{array}{l} \text{Quintuplicando la producción y un incremento en el consumo anual del 4,1 \%} \end{array} \right.$	= 50 años $\left\{ \begin{array}{l} \text{Quintuplicando la producción y un incremento en el consumo anual del 3,9 \%} \end{array} \right.$	= 49 años $\left\{ \begin{array}{l} \text{Quintuplicando la producción y un incremento en el consumo anual del 4,7 \%} \end{array} \right.$
(1) EC = Equivalente en carbón; 1 kg EC \equiv 7.000 kcal; 1 kcal \equiv 1 - 1.628 $\times 10^{-3}$ kWh; 1 t EC \equiv 8.140 kWh; 1 GWh = 10 ⁹ Wh; 1 TWh = 10 ⁶ MWh = 10 ¹² Wh; 1 barril de petróleo \equiv 0,137 t \equiv 0,196 t EC; 1 t de petróleo \equiv 1,43 t EC.		
(2) 1.000 m ³ de gas natural \equiv 1,29 t EC; 1 Q \equiv 36 $\times 10^9$ t EC \equiv 2,5 $\times 10^{20}$ cal (\equiv 10 ¹⁸ B.T.U.) \equiv 2,9 $\times 10^5$ TWh.		

Sin embargo se han hecho otras estimaciones, tales como las que pueden verse en la Tabla VII:

TABLA VII

Algunas otras estimaciones relativas a las reservas mundiales de combustibles fósiles

Referencia bibliográfica	Carbón (10 ⁹ t EC)	Petróleo (10 ⁹ t EC)	Gas natural (10 ⁹ t EC)	Total (10 ⁹ t EC)
[14]	6.000-7.000	Petróleo 61,3 Esquistos de petróleo 674 Arenas de alquitrán 57 <hr/> 792,3	24	7.300
[9]	—	362	—	
[15]	7.600	Petróleo 202-335 Condensados 40- 67 <hr/> 242-402	225-374	8.200
[16]	Carbón + petróleo + gas natural =			4.070

En la bibliografía [15] también se hace un estudio comparativo del origen de los stocks (reservas) de carbón, petróleo, gas y combustibles nucleares; mientras que en la [16] se mencionan posteriormente los combustibles nucleares. En la Tabla VIII pueden verse estas cantidades en Q (quintales) ($1 Q = 36 \times 10^9 \text{ t EC}$).

Según la [16], el consumo mundial de energía en 1970 fue de $7,96 \times 10^9 \text{ t EC}$. Se espera que en el año 2000 alcance $27,8 \times 10^9 \text{ t EC}$, en tanto que el consumo total entre el 1970 y el año 2000 se estima en $515 \times 10^9 \text{ t EC}$ (del cual $7 \times 10^9 \text{ t EC}$ es de combustibles nucleares). En la figura 6 se aprecia la proporción mutua de consumo de energía de los diversos tipos de combustibles [1].

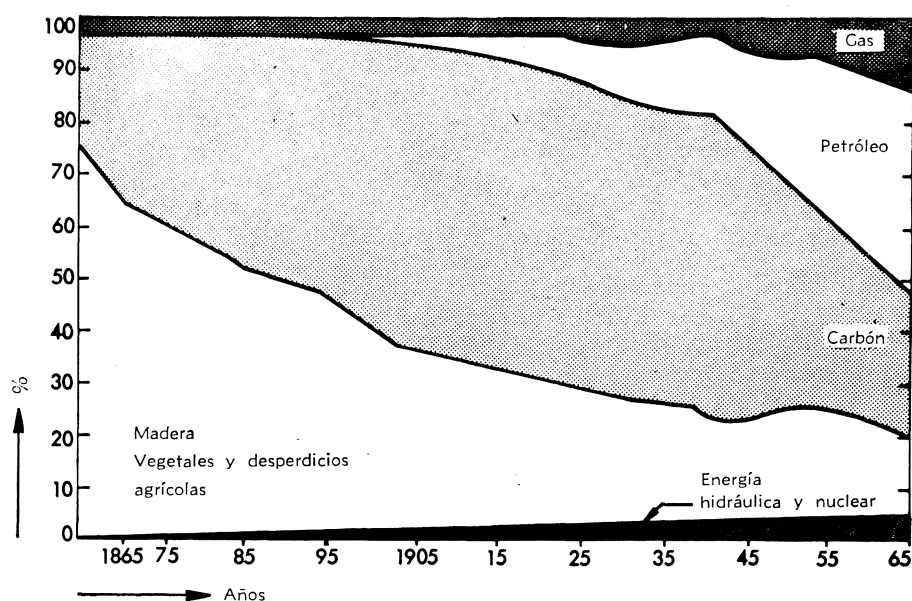
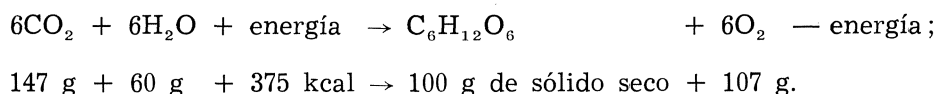


Fig. 6.—Relación mutua entre las fuentes de energía mundiales más principales.

El origen de los combustibles fósiles es la energía solar ($1,4 \text{ cal/g}$ de masa solar) de la cual $6.000 Q$ alcanzan la tierra diariamente, y —como dijimos con anterioridad— el consumo anual es de $0,2 Q \approx$. De estos $6.000 Q$, un 30% vuelve a ser radiado al espacio directamente y un 50% es absorbido por la atmósfera y utilizado en el ciclo hidrológico, en tanto que solamente cerca de un 15% llega a la superficie de la tierra y es absorbido y nuevamente vuelve a ser radiado con un elevado porcentaje de radiaciones de amplia longitud de onda que a su vez son absorbidas casi por completo por la niebla y el CO_2 . En consecuencia esta radiación de la tierra es la principal fuente de calor procedente de las capas de aire más bajas.

Alrededor de un 1% de la totalidad de la energía solar, es decir $60 Q/\text{anuales}$, es empleada en la fotosíntesis, cuya reacción completa es:



Se puede calcular que anualmente se fija en un bosque de $0,1$ a $0,5 \text{ t C/km}^2$. El total anual de materiales fotosintetizados es de $150 \times 10^9 \text{ t C}$, mientras que $400 \times 10^9 \text{ t}$ de O_2 son liberados y $1,4 \times 10^{21} \text{ cal}$ de unos $6 Q$ de energía es fijada.

TABLA VIII

Reservas mundiales estimadas de combustibles nucleares (en Q)

Bibliografía [15]	Reservas expresadas en Q (1 Q = 36 × 10 ⁹ t EC)		
	Mundiales	Mundo libre	Oeste de Europa
Combustible sólido (carbón)	212	76	10
Petróleo y condensados	8-12	6-9	1
Arenas alquitranadas	—	2	—
Gas natural	8-12	6-9	1
Esquistos petrolíferos 25-100 gal/t	?	9	1
» » 10-25 »	?	65	1
» » 5-10 »	?	56	1
Combustibles fósiles. Total	228-236		
Uranio ≤ \$ 10/lb U ₃ O ₈	?	74	4
» \$ 10-15/lb U ₃ O ₈	?	61	21
» \$ 15-20/lb U ₃ O ₈	?	86	34
Torio \$ 10/lb ThO ₂	?	28	—
Combustibles nucleares. Total	?	249	59
Toda clase de combustibles. Total	> 240	470	74

Combustibles nucleares, según la bibliografía [16]	
Uranio	28-47/Q
Plutonio	2.700/Q
Torio	1.000/Q
Combustibles nucleares. Total	3.700/Q

Las fuentes de energía directamente utilizables de la tierra tienen un consumo limitado por razones de tipo económico:

- la energía del viento se calcula en 0,02 Q
 - la energía hidráulica se calcula en 0,02 Q
 - la energía de las mareas se calcula en 0,015 Q
 - el gradiente térmico en las aguas marinas se calcula en 0,0004 Q
- } en el futuro serán posibles: elementos combustibles biológicos, utilización directa de la energía solar, energía geotérmica, etc.

Basándose en el consumo mundial del año 1969 [15], Seldenrath [17] da una predicción para los años 1985 y 2000 (Tabla IX).

Hoog [18] facilita un pronóstico algo más pequeño (hasta 1985), que puede verse en la figura 7.

Si se supone una población de 3.637×10^6 , el consumo per cápita en 1969 según la Tabla IX, es de 2 t EC/a, en el año 2000, con una población de alrededor de 6.000×10^6 , supondrá alrededor de 4,1 t EC/a. Valiéndonos de los factores de conversión de la Tabla IX para pasar de EC a kWh, tales cifras pueden calcularse en kWh/a:

$59,6 \times 10^3$ TWh en 1969 y de 159×10^3 TWh en el 2000, respectivamente, o alrededor de 16 kWh y 26.600 kWh, también respectivamente, per cápita/a o continuamente alrededor de 2 kW y 3 kW (8.760 h/a), asimismo respectivamente.

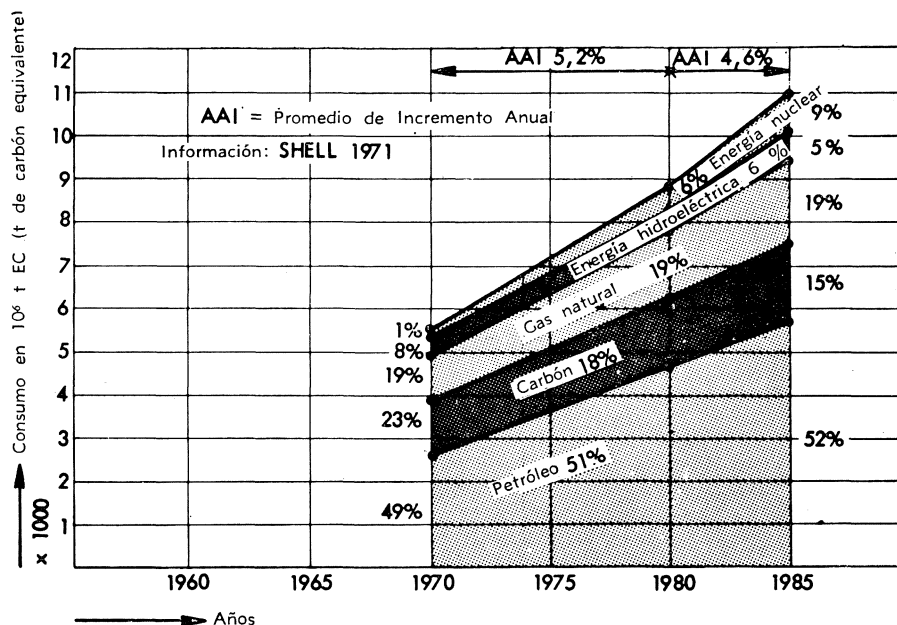


Fig. 7.—Consumo mundial de energía, calculada en el mundo libre

En la cita bibliográfica [19] se facilita la distribución del consumo de energía entre algunos países y su población, mientras que en la [14] se comparan el consumo y la producción parcial de la misma combinación de países. En la Tabla X pueden verse estos datos.

De ello se deduce que en 1968 el 48 % de la población de la tierra consumió el 84 % de la energía mundial.

En la EEG, en 1970 la energía fue utilizada en un:

- 30 % ... por la industria
- 30 % ... para generar electricidad
- 25 % ... para usos domésticos (calentamiento)
- 15 % ... para el transporte.

2.8. Límites de crecimiento de producción de energía

Pueden mencionarse tres límites para el incremento de producción de energía:

- a) agotamiento de los suministros de petróleo, gas natural y carbón;
- b) emisión de productos contaminantes por los combustibles (SO_2 , NO_x , CO_2 , C_xH_y) y producción de residuos nucleares radiactivos;
- c) liberación de calor.

TABLA IX

Pronóstico de consumo mundial de energía en 1985 y 2000 [17] en 10⁶ t EC

Combustible	1969		1985		2000		Observaciones
	10 ⁶ t EC	%	10 ⁶ t EC	%	10 ⁶ t EC	%	
Carbón	2.536	35,0	3.218	23,7	4.025	16,5	energía
Petróleo	3.117	43,2	4.439	32,7	5.866	24,0	
Gas natural	1.213	16,7	4.131	30,6	5.459	22,4	
Combustible fósil, total	6.866	94,9	11.788	87,0	15.350	62,9	$1 \text{ t EC} = 8,14 \times 10^3 \text{ kWh}$ $1 \text{ t EC} = 2,85 \times 10^3 \text{ kWh}$
Energía hidroeléctrica	334	4,6	385	2,8	420	1,7	
Energía nuclear	26	0,5	1.380	10,2	8.638	35,4	
Energía geotérmica	1	—	2	—	2	—	
Total en 10 ⁶ t EC	7.237*	100	13.555	100	24.410	100	* En 1948: $2,412 \times 10^6 \text{ t EC}$ $1 \text{ Q} = 36 \times 10^9 \text{ t EC}$
Total en Q	0,20		0,38		0,68		
De los cuales son utilizados para generar energía convencional	1.236	17,0	2.771	20,4	5.336	21,9	
Energía convencional	1.236	77,0	2.771	61,1	5.336	37,1	Electricidad
Energía hidroeléctrica	334	20,8	385	8,5	420	2,9	
Energía nuclear	36	2,2	1.380	30,4	8.638	60,0	
Energía geotérmica	1	—	2	—	2	—	
Producción de electricidad	1.607	100	4.538	100	14.396	100	$1 \text{ TWh} = 10^6 \text{ MWh} = 10^{12} \text{ Wh}$ $1 \text{ GWh} = 10^9 \text{ Wh}$
La electricidad como porcentaje del consumo mundial de energía	22,1		33,4		59,0		

TABLA X

Producción y consumo de energía en varios países

Países (referencia [19])	Consumo mundial de energía durante 1968 (%)	Población mundial (%)
E.U.A.	37,1	6,3
Europa Occidental	20,5	10,1
Oriente Próximo	1,5	2,8
Oriente Medio, Lejano y Australia	9,0	31,6
América Central y del Sur, Africa	4,0	7,8
Europa del Este, URSS y China	26,3	31,8
TOTAL	100,0	100,0

Países (referencia [14])	Consumo mundial de energía durante 1970 (%)	Producción mundial de energía (%)
E.U.A.	33,3	30,5
Europa Occidental	19,1	8,6
Japón	4,0	1,0
Oriente Medio y Africa	3,0	18,3
Hispanoamérica	4,3	6,4
Restantes países desarrollados	4,3	3,2
Europa del Este	68	68
URSS y China	32	32 ?
TOTAL	100	100 ?

En la referencia bibliográfica [19] se discuten estos aspectos:

- 1) El petróleo y el gas natural, desde el punto de vista económico, se agotarán alrededor del año 2000. Si entonces el carbón extra se obtiene de las minas, los suministros conocidos se agotarán hacia el año 2065. Si pudiésemos abastecer el consumo de energía por medio de reactores generadores rápidos, serán necesarios ≈ 24.000 , cada uno de 5.000 MW. Con una vida de servicio de 30 años, esto significará que habría que sustituirlos a razón de dos diarios. Si se dispone de materiales y tecnología (por cada kW instalado se necesitan 50 kg de acero), la construcción de 800 reactores por año debe ser más interesante por consiguiente que 600.000 travesías de una flota de superpetroleros de 200.000 t, la cual sería necesaria para transportar esta energía en forma de petróleo.
- 2) En la Tabla XI se indica la emisión mundial de productos contaminantes (estimada para 1970).

Desde 1958 el contenido en CO_2 viene incrementándose en un 0,2 % anual, de 313 a 320 libras por minuto en 1970 (ver figura 8). En el año 2000 se calcula que su contenido será de 380 libras por minuto (comparado con ≈ 293 en 1860), lo cual puede influir en que la temperatura se incremente en cerca de un grado centígrado. Desde el punto de vista climatológico, este aumento no es pequeño. El creciente aumento de polvo también puede significar un aumento de temperatura, especialmente en el aire húmedo.

Los 24.000 reactores, ya mencionados en 1), emitirán anualmente $\approx 5 \times 10^{11}$ residuos nucleares Curie de larga vida. Dependerá de los métodos de almacenamiento que tal producción de residuos radiactivos sea un límite.

En la figura 9 se hace una estimación más moderada [11].

- 3) En la actualidad sobre toda la tierra se está produciendo una cantidad extra de calor de unos $5,5 \times 10^{-5}$ de la energía solar que llega a la superficie de la tierra. Si la producción de energía se incrementa en el próximo siglo con un factor 20, significará que \approx un 0,1 % de la energía solar tendrá que ser radiada nuevamente, lo cual da un promedio de aumento de temperatura de cerca de $\approx 0,25^\circ\text{C}$. Sin embargo, la mayor parte de esta energía se produce cerca de los centros urbanos y de esta forma localizada puede dar lugar a perturbaciones climatológicas.

Pongamos, por ejemplo, a Holanda: hoy día es el país con el más alto índice de energía por kilómetro cuadrado del mundo (0,95 GWh/km², frente a USA con 0,13; Francia con 0,12; Italia con 0,18; Alemania con 0,69; Reino Unido con 0,74 y Bélgica con 0,81; siendo 1 GWh = 10⁹ Wh = 10⁶ kWh). El consumo de energía primaria es ahora de ≈ 538 TWh/a, de la cual 140 TWh, o sea el 26 %, va directamente al agua fría de las centrales de energía eléctrica, para producir 35 TWh. Así para utilización final se dispone de 400 TWh/a, de los cuales:

- el transporte necesita 56 TWh = 14 %
- la industria necesita 148 TWh = 37 %
- los usos domésticos (calefacción) necesitan. 196 TWh = 49 %

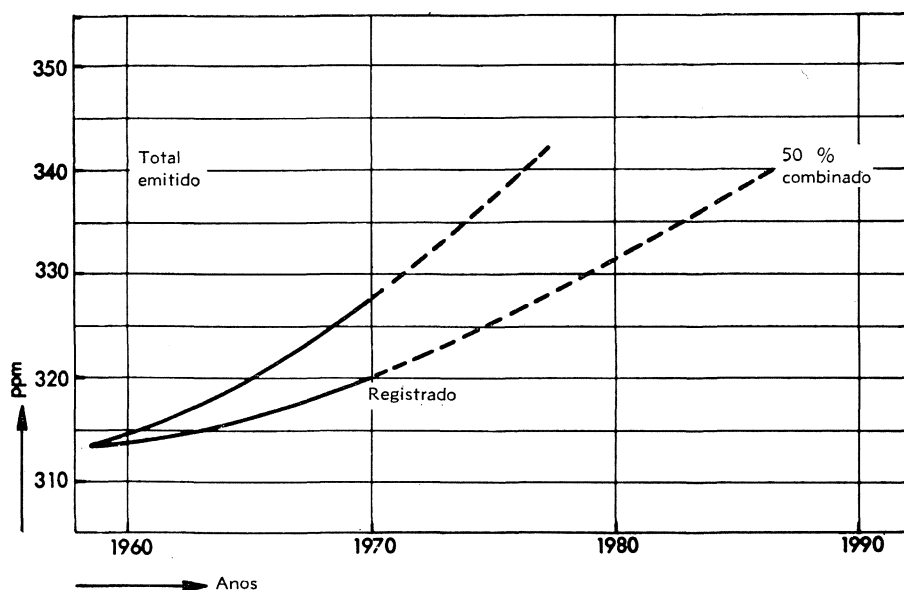


Fig. 8.—Incremento en el contenido de CO₂ de la atmósfera [19].

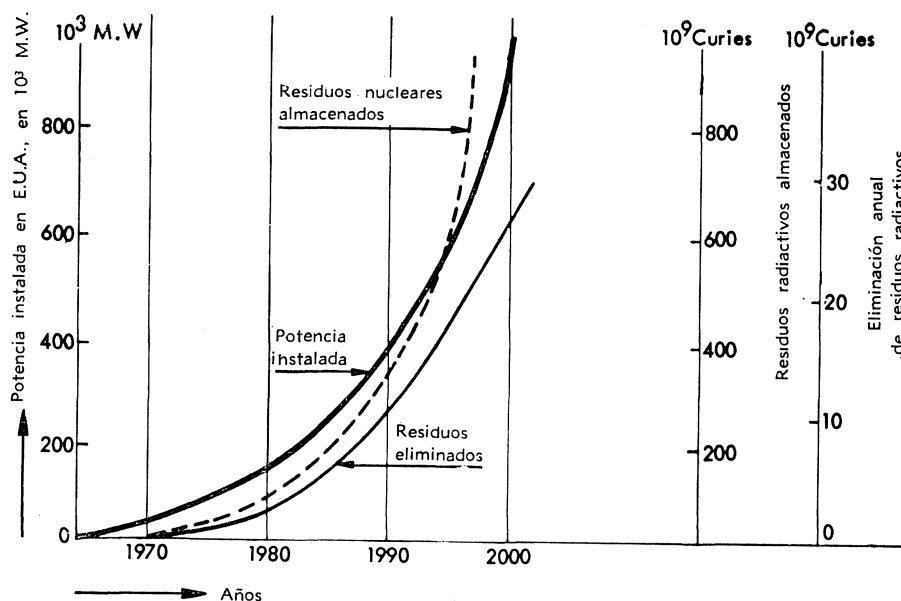


Fig. 9.—Residuos radiactivos [11].

TABLA XI

Emisión mundial de productos contaminantes [19]

Contaminante	Mediante los procesos naturales × 10 ⁶ t/a	Mediante los procesos realizados por el hombre × 10 ⁶ t/a
SO ₂	—	100 (entre 30° y 60° NB)
H ₂ S	100	2
NO _x	200	50
NH ₃	6.000	4
N ₂ O	1.000	—
C _x H _y	300 (principalmente CH ₄)	90
CO	200	200
CO ₂	500.000	20.000
Polvo	100	100 (entre 30° y 60° NB)
Referencia [9]		
CO ₂ -1967		13.400
CO ₂ -1980		26.000

Sin embargo la energía nuclear requiere un 35 % más de agua de enfriamiento que los medios convencionales. Con la energía nuclear instalada hasta ahora en Holanda el consumo de energía alcanza su límite, puesto que en dicho país solamente tienen posibilidades para enfriar 135.000 MW de capacidad producida.

Finalmente, y en relación con este capítulo 2, quiero señalar el excelente informe de Beck [20], presentado a la Conferencia de las Naciones Unidas, celebrada del 5 al 9 de junio en Estocolmo, en el que en 3 páginas se dice todo lo que se tiene que decir, y, a juicio del autor, de una manera que se pulsa cada cosa. Así mismo Beck [21] ha hecho un inventario, para Holanda, cuantitativo y cualitativo, de todos los materiales contaminantes, sus orígenes y sus efectos respecto a la contaminación del aire, agua y suelo.

Como conclusión del presente capítulo es necesario hacer patente la energía necesaria para producir nuestros materiales (de construcción), la cantidad de agua del tratamiento y la emisión de materias contaminantes.

En lo referente a este hecho sería acertado estudiar las posibilidades de los combustibles no fósiles que puedan ser sintetizados directamente a partir de materias primas virtualmente ilimitadas: caliza y agua. Mediante la calcinación de la caliza y la electrólisis del agua, y por la combinación catalítica del bióxido de carbono e hidrógeno, se obtiene metanol y agua. Una planta de tal naturaleza podría funcionar conjuntamente con un reactor nuclear (véanse las perspectivas para los combustibles sintéticos en el Reino Unido. G. V. Day-Futures 1972).

3. DE LAS MATERIAS PRIMAS A LOS PRODUCTOS. NECESIDADES DE ENERGIA Y AGUA, EMISION DE CONTAMINANTES

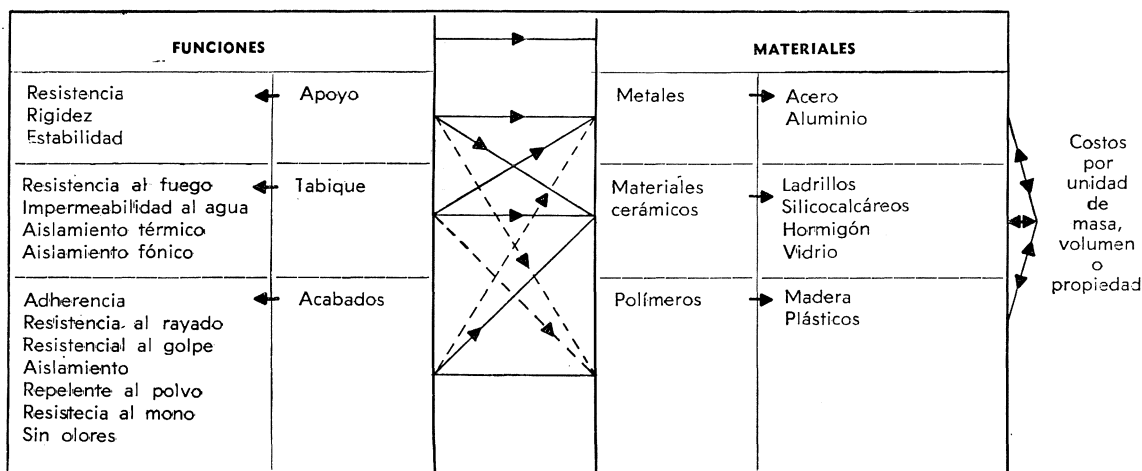
Desde el punto de vista de la industria de la construcción, las necesidades de los usuarios nos conducen a las diferentes funciones que los materiales han de cumplir. La Tabla XII nos da una idea simple y aproximada.

En esta Tabla sólo se mencionan los materiales que han de ser considerados en nuestros posteriores estudios. En la elección final, tanto la función como los costos son factores dominantes; los índices de competitividad de un material, los costos por unidad de masa; los costos por unidad de volumen, costos por unidad de la propiedad requerida.

La Tabla XIII muestra cifras comparativas para algunos materiales de construcción, de los cuales se deduce que el hormigón y la madera todavía proporcionan la mejor resistencia y rigidez por precio de volumen. Es muy probable la sustitución del vidrio por el polimetilmetacrilato.

TABLA XII

Diferentes funciones respecto a distintos materiales



Si nos detenemos a examinar las cantidades de energía y de agua para el proceso de fabricación (sin tener en cuenta el agua de refrigeración) que son necesarias para manufacturar una unidad (por peso o por volumen) de material y la cantidad de contaminantes emitidos, no tendremos dificultad para encontrar tales datos. Por consiguiente, las cifras que figuran seguidamente deben ser consideradas como datos preliminares. Es de esperar que con el tiempo se lleguen a publicar datos más exactos. En relación con los materiales mencionados en la Tabla XII y para algunos materiales de construcción básicos, necesarios para calcular, por ejemplo, las cifras para el hormigón y la fábrica de ladrillos silicocalcáreos, en la Tabla XIV se facilitan los resultados, y en la misma (hasta el punto que es posible conocer) se ha incluido la producción mundial de estos materiales.

La sustitución de materiales de construcción a base de acero y aluminio por hormigón, obra de fábrica y madera, o incluso por plásticos, es aconsejable si se intenta conseguir un mínimo consumo de energía.

En lo que se refiere a la emisión de SO_2 se hace cada vez más evidente que dentro de los próximos cinco años se encontrará bajo un riguroso control, gracias a las medidas gubernamentales. Técnicamente la industria del petróleo es capaz de reducir drásticamente el contenido de azufre en el mismo a un precio próximo a 7 dólares la tonelada [40]. Por otra parte, y debido a otras causas, cabe esperar un aumento en la producción de azufre. Por consiguiente será de gran utilidad si se descubren aplicaciones para tal azufre. Quizás pueda usarse como material de construcción; por ahora una combinación de arena y azufre se emplea como capa de refrentado en los laboratorios, pero (que sepamos) no se han realizado investigaciones de ulteriores propiedades.

TABLA XIII

Costos comparativos de algunos materiales de construcción (puestos en obra)

Costos o índice de costos	METALES		MATERIALES CERAMICOS					POLIMEROS	
	Acero (incluso la protección)	Aluminio	Fábrica de ladrillo (1)	Fábrica de ladrillo silico- calcáreo (1)	Fábrica de bloques de hormigón (1)	Hormigón armado	Vidrio	Madera	G.U.P. (poliéster armado con fibra de vidrio)
Costos en florines Holandeses/kg	1,90	4,90	0,26	0,16	0,16	0,12	2,65	1,10	8,00
Índice de costo por kg	15,8	40,8	2,2	1,3	1,3	1	22,0	9,2	66,7
Costos en florines Holandeses/l	15,00	13,20	0,35	0,23	0,30	0,30	7,00	0,55	12,00
Índice de costos/l	50,00	44,00	1,2	0,8	1	1	23,40	1,80	40,00
Modulo E. (N/mm ²)	210.000	74.000	8.000	8.000	8.000	35.000	65.000	10.000	15.000
Costos/kg por E-unit ($\times 10^{-5}$)	0,90	6,6	3,26	2,0	2,0	0,34	4,07	11,00	53,3
Índice de costos/kg por E-unit	2,6	19,4	9,6	5,9	5,9	1	12,00	32,30	157,0
Costos/l por E-unit ($\times 10^{-5}$)	7,1	17,90	4,38	2,88	3,75	0,86	10,80	5,50	80,0
Índice de costos/l por E-unit	8,2	20,80	5,10	3,30	4,40	1,00	12,50	6,40	93,0
Resistencias en la construcción (N/mm ²)	240	200	8	8	8	30	60	30	120-1.000
Costos/kg por resistencia unitaria ($\times 10^{-2}$)	0,79	2,45	3,25	2,0	2,0	0,4	4,4	3,67	6,67-0,8
Índice de costos/kg por resistencia unitaria	2	6,1	8,1	5	5	1	11	9,2	16,6-2
Costos/l por resistencia unitaria ($\times 10^{-2}$)	6,25	6,6	4,37	2,88	3,74	1	11,6	1,83	10-1,2
Índice de costos/l por resistencia unitaria	6,3	6,6	4,4	2,9	3,7	1	11,6	1,8	10-1,2

16 (1) Calculado para muros con cámara de aire de 110-50-110 mm.

TABLA XIV

Energía y agua necesarias para la producción de materiales y la correspondiente emisión de contaminantes

Material	Producción mundial en 10 ⁶ t	Energía		Agua de proceso		Emisión de contaminantes en kg/t producto						Referencias bibliográficas
		kg de EC		m ³ por t de producto	m ³ por m ³ de producto	Polvo del tiro	CO CO ₂	HF	SO ₂	NO _x	C _x H _x	
		por t de producto	por m ³ de producto									
Acero (1)	1970: 573	1.000	7.900	0,3	2,3	1,6	8,5	0,1-0,3	1,7	2,7	+	21-22-24
Aluminio (1)	1970: 11,3	4.200	11.400	0,4	1,1	1-4,5	+	0,03-0,6	+		+	23-24
Arena; grava	?	1,1	1,6	—	—	+	+	—	+		+	25
Cal	?	215	280	0,24	0,31	0,3-3,0	600		0,7-1,7		+	26-27
Cemento portland	1969: 515	170	215	0,47	0,60	0,3-2,0	500	+	0,5-1,4		+	28-29
Ladrillo, fábrica	?	150	245	0,70	1,2	0,5		+	0,4-1,2		+	30
Fábrica de ladrillo silico-calcáreo	39	50	90	0,54	1,0	0,5	45		0,1-0,2			31-32
Hormigón de cemento portland	1969: 3.100	25	60	0,14	0,6	0,1-0,7	170		0,2-0,5			33-34
Vidrio	1960: 19	700	1.750	—	—	?	186	+	0,7-1,7		+	24-35 36-37
Madera	1969: 1.290	0,8 (3)	0,4	—	—	+		—	+			38
Plásticos (2)	1970: 30	1.800	2.000	1,5	1,35	+		+	2,3		1,5	39-21

(1) Incluso la extracción en mina y transporte del mineral; en la referencia [21] se da más información por tonelada de productos de acero, una emisión de 0,14 kg de NH₃; 0,0002 kg de cianuro, 0,002 kg de azufre, 0,07 kg de sulfato, 0,003 kg de sulfito y 0,004 kg de fenol, materiales pesados + ácido clorhídrico +.

(2) Incluso la materia prima, el petróleo, a partir del cual se elaboran los plásticos (x = ≈ 1,5 kg de petróleo/kg de plástico).

(3) Se trata de la madera utilizada en la industria de la construcción.

Respecto a los hormigones a base de silicatos, Röbert [41] da cifras mutuamente comparativas sobre los cementos (fig. 10), cifras absolutas sobre diferentes tipos de áridos (fig. 11) y cifras comparativas para hormigones de diferentes tipos (fig. 18).

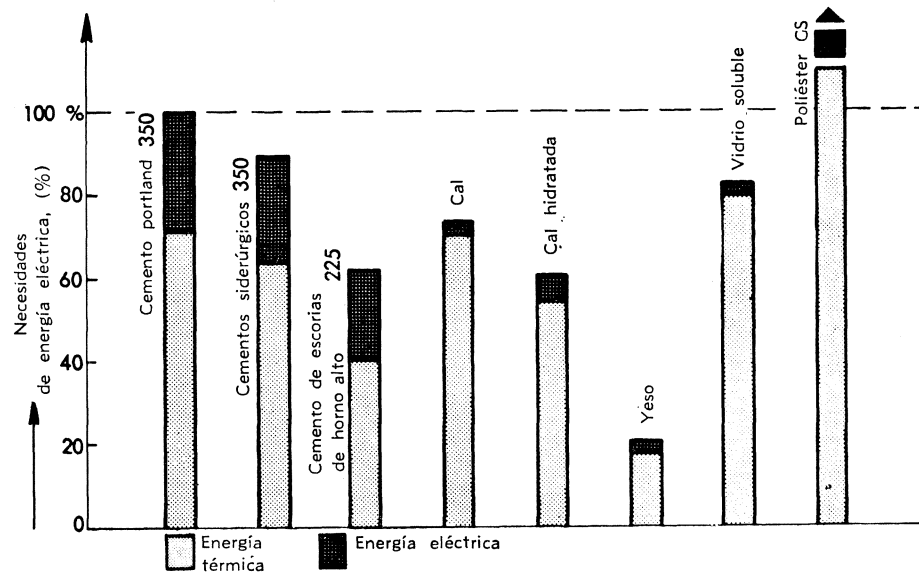


Fig. 10.—Energía requerida (en %) para fabricar ciertos tipos de cementos.

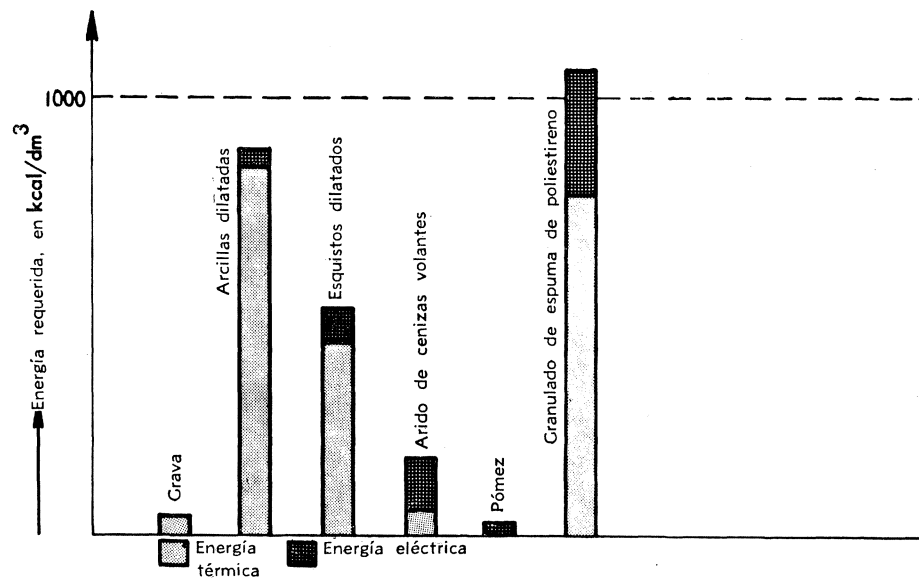


Fig. 11.—Energía requerida (kcal/dm³) para ciertos tipos de áridos, calculada en función de sus densidades aparentes [41].

Según Röbert, el cemento portland de horno alto necesita alrededor del 60 % de la energía necesaria para fabricar el cemento portland y, aproximadamente, la misma que es necesaria para la cal.

Cuidadosos cálculos del autor, por el contrario, indican una mayor demanda de energía para la cal que para el cemento portland. Respecto a los áridos, es evidente que los ligeros, tales como las arcillas y esquistos dilatados, necesitan mucha más energía que los ordinarios, arena y grava; en tanto que los áridos de plásticos espumados requieren la

máxima energía. En consecuencia, los hormigones ligeros precisan bastante más energía para su fabricación que los hormigones pesados normales, como puede verse en la figura 12. Este hecho es inverificable en su mayor parte.

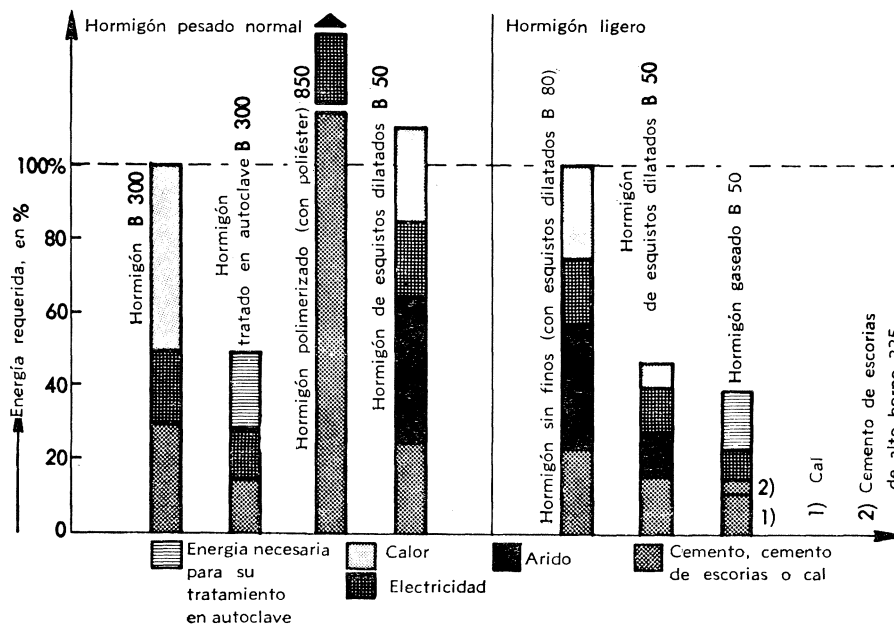


Fig. 12.—Energía requerida (en %) para hacer 1 m³ de hormigón endurecido [41].

4. EL TIEMPO DE DURACION DE LOS MATERIALES (DE CONSTRUCCION)

En la figura 13 se presenta un estudio del problema de la duración (tiempo de servicio) de los materiales (de construcción).

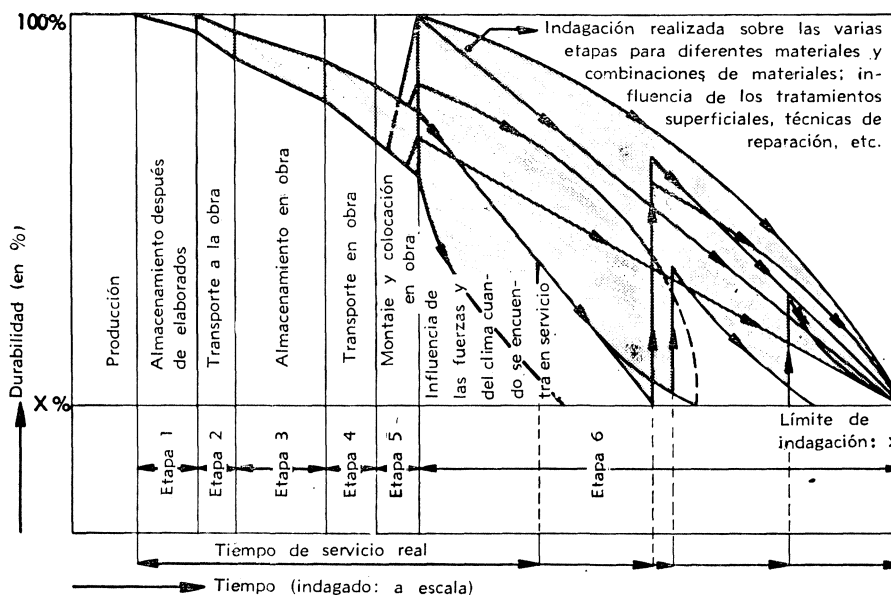


Fig. 13.—El problema del tiempo de servicio de los materiales.

Es evidente que el clima o las condiciones de exposición a la intemperie influyen en el comportamiento o durabilidad, como una función del tiempo. Y exactamente las condiciones de exposición cambian, como puede verse, por ejemplo, en las figuras 3 y 4 y también

de lo que se deduce en la Tabla XI. El resultado es que los monumentos, antiguos, se deterioran de una forma exponencial, mientras que el hormigón, los ladrillos y la piedra natural de los edificios, más o menos modernos, necesitan cada vez más una protección contra los gases agresivos. Esto también es cierto para los metales, puesto que, por ejemplo, también la capa superficial de óxido de aluminio se deteriora por la acción del SO_2 y el H_2S . Indiscutiblemente, para todos estos procesos de erosión y corrosión es necesario la presencia de agua. La primera medida podría ser mantener las precipitaciones lo más lejos posible de la fachada; sin embargo, la mayoría de los arquitectos hacen lo contrario. Respecto a los materiales pétreos porosos, se pueden eliminar la capilaridad y permeabilidad al agua y humedad, lo cual significa una mayor conductividad térmica. En relación con esto, Grunau propone como carga de agua:

$$B_w = \frac{\text{agua que penetra en el muro}}{\text{agua que se evapora del muro}} = 1 + \frac{12,78}{p} \cdot \frac{\mu}{S_w} \cdot Fm ;$$

siendo:

μ = Resistencia a la difusión de la humedad.

S_w = Tiempo de succión de una gota de agua.

P = Presión del vapor (Torf) del agua a la temperatura considerada.

Fm = Rugosidad del muro (liso $Fm = 1$).

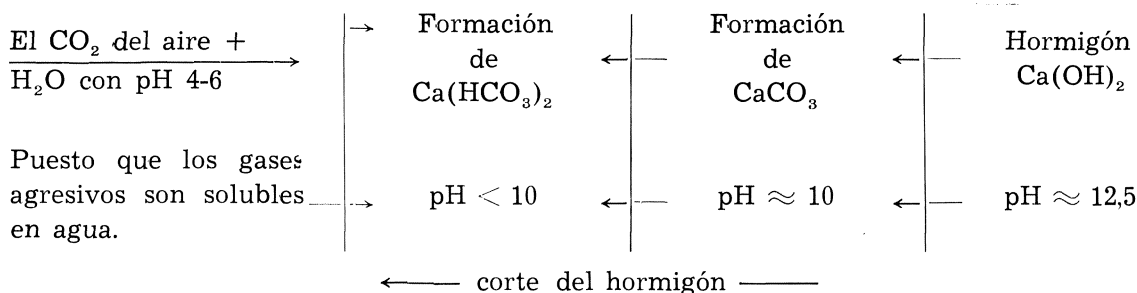
Los valores límites para B_w pueden verse en la Tabla XV.

TABLA XV

Apreciación de la carga de agua para diferentes materiales de fachada [42]

Apreciación	Ladrillos sílico-calcareos	Revocos	Ladrillos de Verblend (sue king)	Ladrillos de clínker	Losetas cerámicas	Hormigón	Revocos sobre		
							Hormigón	Ladrillos sílico-calcareos	Yeso
Seco	< 5	< 4	< 4	< 4	< 4	< 6	< 11	< 6	< 8
Carga de agua admisible	< 10	< 8	< 9	< 10	< 10	< 15	< 18	< 12	< 12
Carga de agua con algo de riesgo	< 14	< 12	< 12	< 15	< 16	< 22	< 22	< 15	< 14
Carga de agua con alto riesgo de daños	> 14	> 12	> 12	> 15	> 16	> 22	> 22	> 15	> 14

Una de las principales causas de deterioros en el hormigón es la corrosión de la armadura debida a la carbonatación:



Tanto el CO_2 como los gases agresivos disueltos en el agua penetran en el hormigón y ambos consumen la reserva de álcalis, lo que favorece la corrosión de la armadura. Los sulfatos dan lugar a la formación de ettringita, en cuyo proceso también el hormigón se deteriora. Basándose en las fórmulas de Kishitani [43] y [44] y figura 14, se puede estimar, con aproximación, la vida de servicio del hormigón armado en relación con la carbonatación [45] y, por ende, la corrosión de la armadura del hormigón.

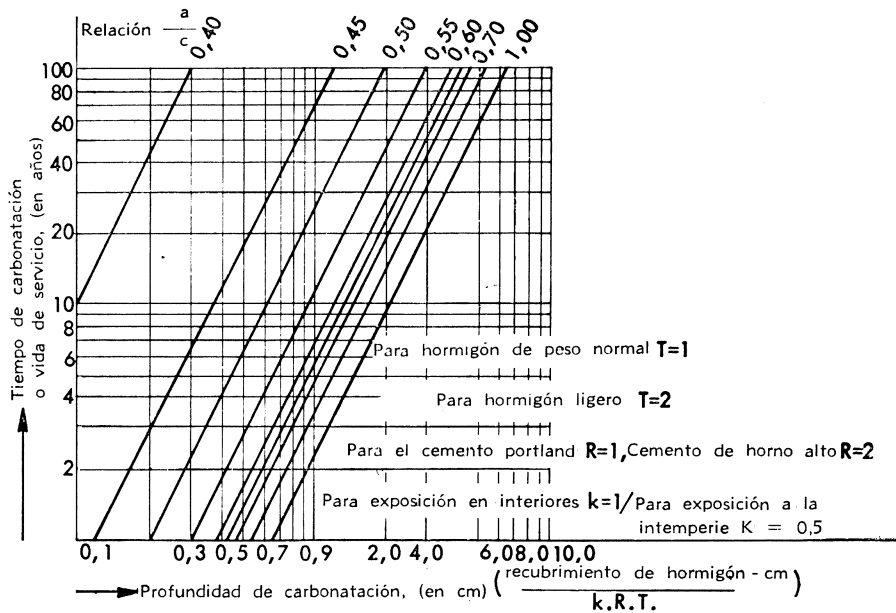


Fig. 14.—Penetración de la carbonatación en función de la relación W/C y del tiempo o tiempo de servicio debido a la carbonatación como función de la relación W/C y del recubrimiento de hormigón [45].

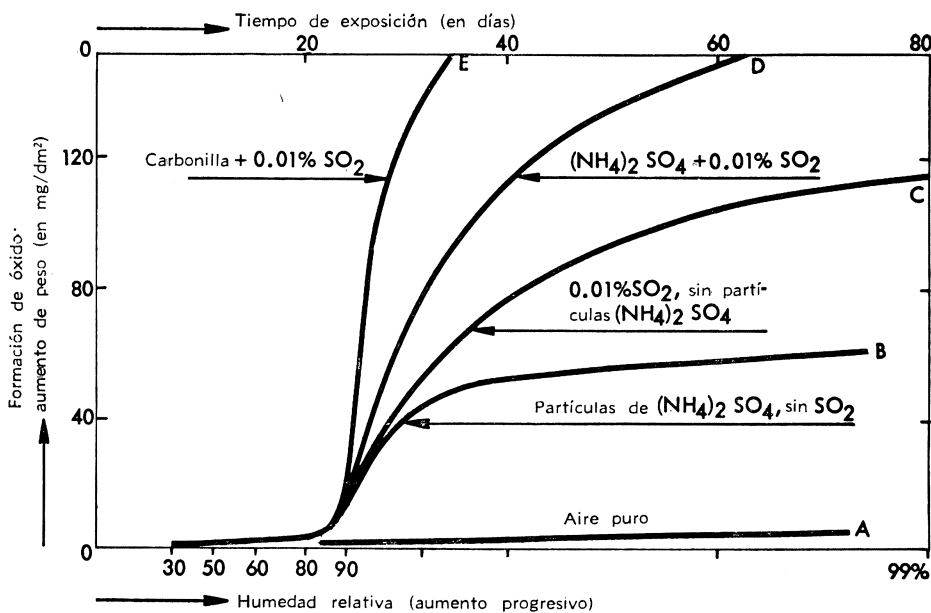


Fig. 15.—Influencia de la humedad relativa del aire y de la contaminación atmosférica sobre la corrosión del acero [46].

En lo que se refiere a la fábrica de ladrillo, la contaminación es la causa de que el mortero sea atacado, especialmente por los sulfatos, y la formación de ettringita hace que se deterioren los ladrillos. Lo mismo sucede a los ladrillos silicocalcáreos que al hormigón, lo que indica carbonatación y ataque por los sulfatos. En la figura 15 y referencia [16] se muestran los efectos de la humedad relativa del aire y de la contaminación atmosférica sobre la corrosión del acero.

De todo lo anterior se evidencia que la contaminación del aire y del agua acortan notablemente la vida de servicio de materiales de construcción: metales y cerámicos. La contaminación ejerce influencia sobre los polímeros, la madera y plásticos, puesto que éstos son capaces de resistir el ataque de los ácidos.

De lo que se desprende que el recubrimiento de los metales con plásticos como por ejemplo PVF, PTFE, puede ser una buena solución. También puede ser esto cierto para los materiales cerámicos, cuando se procura que los poros sean hidrófobos (siliconas); esta solución puede durar unos 6 años. Se mencionan nuevos productos (siloxán, [42]) que proporcionan mejores resultados.

5. LA ÚLTIMA ETAPA DE LOS MATERIALES: LOS SUBPRODUCTOS

Cada persona consume anualmente una cierta cantidad de artículos, bien de naturaleza duradera (vivienda, automóvil, etc.) o bien de duración relativamente menor (alimento, petróleo, energía, telas, etc.). Todos estos artículos influyen en nuestro medio ambiente, ya sea éste el aire, agua o suelo. El análisis del consumo holandés queda reflejado en la figura 16 y referencia [47], donde el consumo anual en kg per cápita se plasma en la forma de un muñeco consumidor (fig. 16).

Así mismo se indica en la figura el tipo de contaminación que da cada uno de los productos. Sin embargo, en este gráfico no están presentes todos los materiales; por ejemplo el consumo de Hg es de unos 5 g per cápita al año en todos los países industrializados, lo cual significa, por ejemplo, que en el Japón, lo mismo que en Holanda, es de 2 kg/km² anuales [21].

Por principio, todos los materiales que se fabrican dan futuros subproductos sólidos. Si tenemos W kg de sólidos por producto P y el tiempo de vida en servicio del producto es L , la producción de subproductos por año será: $\sum \frac{W_i \cdot P_i}{L_i}$.

Esta cantidad de sólidos puede reducirse disminuyendo $\frac{W}{L}$

Aunque en la industria de la construcción el mayor esfuerzo investigador está enfocado a conseguir la reducción de W (métodos de cálculo, reducción de los coeficientes de seguridad, etc.), a juicio del autor es más importante, y probablemente más eficaz, incrementar L . Las posibilidades de reducir W en las industrias de la construcción todavía más de lo que se ha logrado ya son pocas (el coeficiente de seguridad para el acero es alrededor de 1,4; para el hormigón, \approx 1,8). Se gasta desproporcionadamente mucha energía (y dinero) en investigaciones en la construcción con la meta de reducir el coeficiente de seguridad por debajo del 5 ó 10 % del aceptable.

Incrementar la vida de servicio L de los productos es de la máxima importancia y considerable el gasto que se dedica a la investigación actualmente.

Otra posibilidad es reducir la cantidad de productos P , mediante la selección de ciertos productos o materiales para determinadas funciones, lo cual es posible si se dispone de una completa gama de materiales compensadores del medio ambiente, preferiblemente con el correspondiente análisis de costos-beneficios. Un comienzo para tal selección se da en el Capítulo 3, puesto que la demanda de energía, el consumo de agua de elaboración y la emisión de contaminantes puede tomarse como criterio para la elección de materiales. También la relación W/L para cada producto puede ser un criterio.

La última posibilidad es el eficaz tratamiento de los subproductos sólidos, no sólo de la industria (incluida la bioindustria) sino también los domésticos, ya que especialmente su recogida constituye el primer problema.

La reutilización y nueva puesta en servicio de los materiales será algo cada vez de mayor importancia. La recuperación de los subproductos sólidos llegará a ser una gran industria y comprende, en orden de importancia: chatarra de hierro y de metales no férreos, papel viejo, desperdicios textiles, cueros, vidrio, caucho (neumáticos) y plásticos. Respecto a la chatarra de hierro puede surgir un problema debido al creciente uso del proceso oxi-acero. Mediante este proceso solamente se utiliza un 20 % de la chatarra de hierro, lo que es igual a la producción de chatarra de hierro de la propia industria del acero.

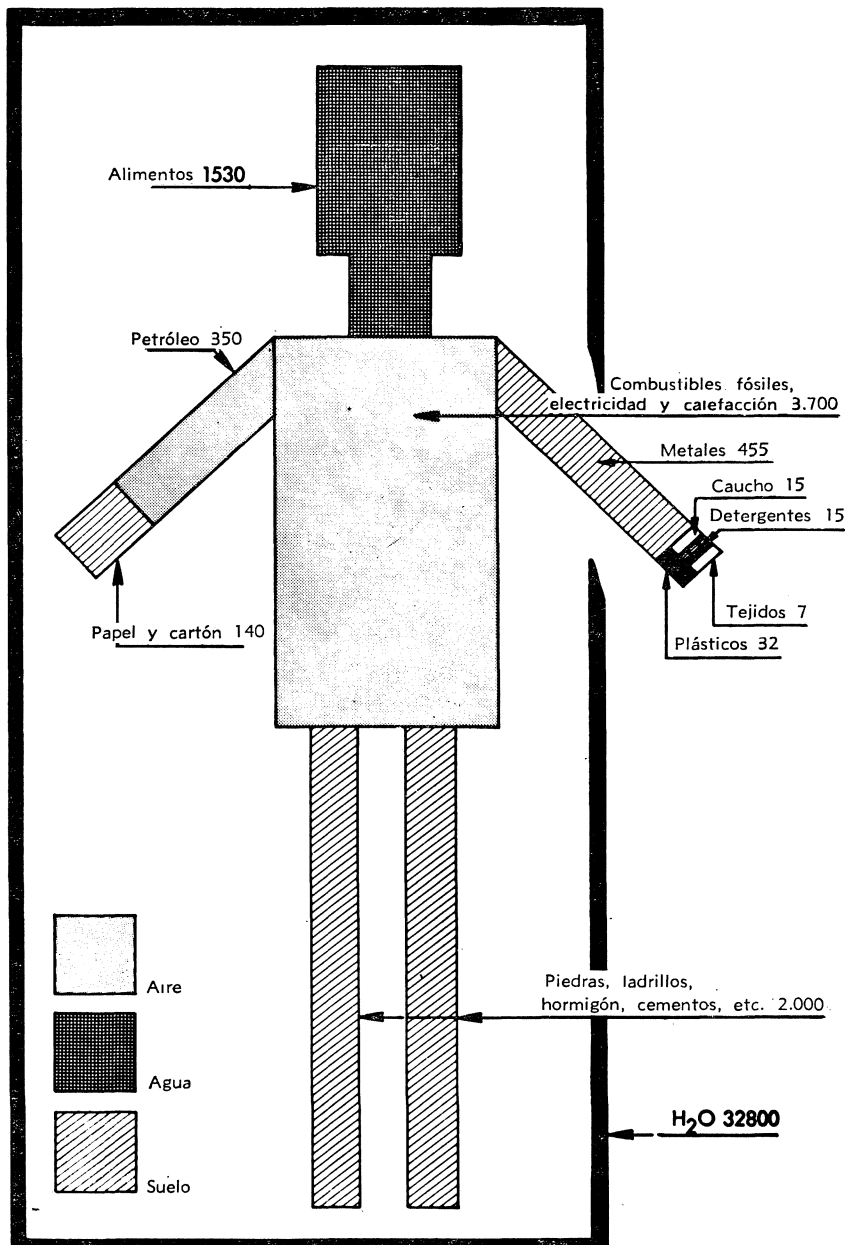
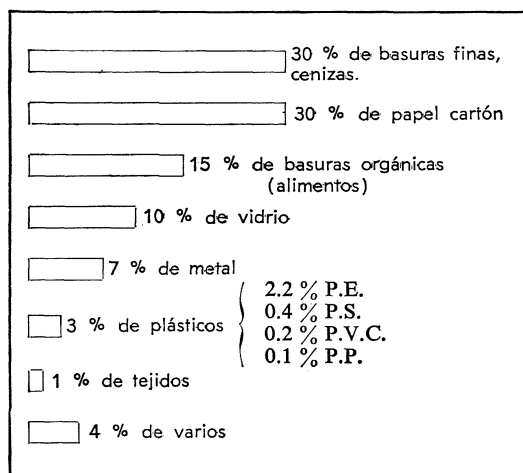


Fig. 16.—Consumo anual de un holandés (en kg per cápita) [47].

Teóricamente la industria del acero no compraría chatarra de hierro, pues sería un desastre ecológico. Sin embargo, existe una tendencia a construir minifactorías de acero (llamadas minimills en Estados Unidos) que utilizan el proceso por horno eléctrico y que trabajan con un 100 % de chatarra de hierro. Una de las procedencias de la chatarra de hierro son los cementerios de coches, donde el desmantelador, desde 1958, desmenuza los restos en piezas del tamaño de un puño. Sin embargo, en estas piezas puede haber in-

cluido algo de cobre y la industria del acero no precisa un tan alto porcentaje de cobre en la chatarra de hierro. Una nueva técnica [48] se ha puesto a punto en Bélgica, basada en el principio de que es posible una reducción de energía haciendo chatarra frágil por enfriamiento a una temperatura muy baja (-190°C) mediante nitrógeno líquido. La chatarra de hierro se prensa, y después se enfría y desmenuza. El sorprendente resultado es que el paquete prensado se rompe en pequeñas planchas, completamente limpias y que no contienen cobre ocluido. Parece ser que mediante este tratamiento se ha resuelto el problema del desguace de coches. Sin embargo, el mayor problema reside en la chatarra doméstica y, especialmente en la recogida de ésta. En la Tabla XVI y referencia [47] se facilita la composición de las basuras domésticas, promedio para la Europa Occidental y Estados Unidos. Con un bienestar creciente, la cantidad de basura también aumenta.

TABLA XVI
Composición de las basuras domésticas [47]



Por ejemplo, en la referencia [49] se dice que los americanos tiran anualmente:

50×10^9 latas de chapa (botes)

26×10^9 botellas

30×10^6 t de papel

4×10^6 t de plásticos

10^9 t de basuras agrícolas

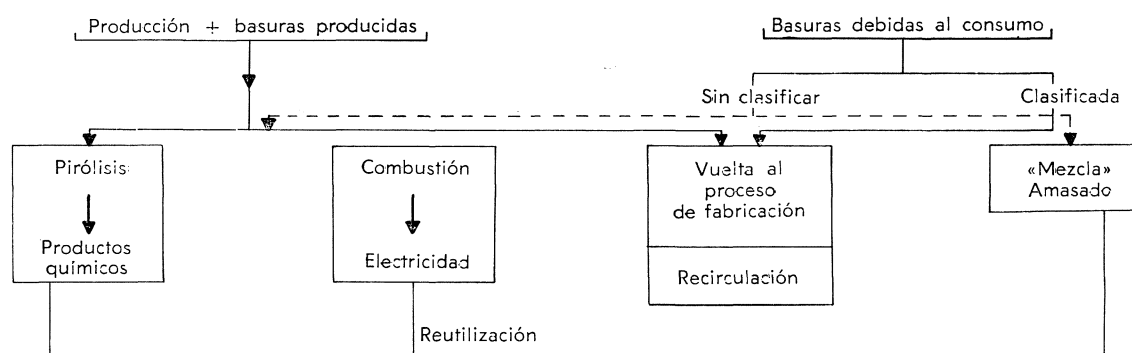
En los Estados Unidos el total de basuras domésticas es de 2,4 kg/persona/día, mientras que en Holanda, por ejemplo esta cifra actualmente es 1 kg. (El promedio de peso volumétrico es de 160 kg/m^3). La combustión de esta basura [21] produce una emisión por tonelada de basura de 0,5 kg de SO_2 , 5 kg de CO, 1,5 kg de NO_x , 10 kg de cenizas volantes y, además, algo de HF y HCl puesto que hay aproximadamente 10 kg de Cl/t de basura doméstica.

El resto no combustible pesa alrededor de 1/3 de la basura conteniendo \approx un 30 % de acero, 5 % de otros metales, 25 % de vidrio fundido y cerámicos y 30 % de cenizas (materias orgánicas no combustibles). Por esta razón debe encontrarse una solución [50].

La forma de manipular la basura sanitaria es como relleno de tierras no controlado, relleno sanitario de tierras, combustión, reutilización y recirculación. La diferencia entre los dos procedimientos últimamente citados es que, en la recirculación, el material se introduce de nuevo en el proceso de fabricación, bien como materia prima, bien como chatarra. En la reutilización el material se emplea de distinta forma a la utilizada en la fabricación del producto de origen. En la Tabla XVII se indican algunos procedimientos de recirculación y reutilización [47]. En los procesos industriales, en principio, no es condición preferible hacer uso de las basuras (cuya totalidad es, aproximadamente, del mismo orden de magnitud que las basuras domésticas; así en Holanda es \approx de 1 kg/per-

sona/día). En la referencia [49] se hace una descripción de varios métodos de reutilización. Como consecuencia de investigaciones se puede mencionar: bloques de construcción de basuras, desperdicios domésticos de vidrio, árido de cajas de baterías, cenizas volantes de carbón, escorias de horno alto, áridos ligeros, desperdicios de incineración, destilación de neumáticos, caucho recuperado del asfalto, asfalto con mezcla de caucho, tratamiento químico de los plásticos descartados. Como nuevos procedimientos podemos mencionar: la puesta a punto de diversos tipos de pavimentos flexibles, por ejemplo valiéndose de cubiertas de neumáticos o tacones de goma, la utilización de árido a base de cascotes de botellas de cerveza, de botellas de plástico, para leche, para realizar pavimentos flexibles, y por último, pero no por eso menor, el empleo de los residuos de los animales como armadura fibrosa en el hormigón bituminoso. Se ha visto que el estiércol seco de caballo es mejor para estos fines que estiércol de vaca, puesto que el caballo come más forraje, es decir, la dieta del caballo es, aproximadamente, de 3,6 kg de grano y 6,4 kg de paja diarias, comparada con los lotes alimenticios del ganado, que es \approx de un 85 % de grano.

TABLA XVII
Recirculación y reutilización



En la referencia [49] se considera que en el futuro se pulverizará la basura en el propio domicilio o en el camión de basura, que recoge en un saco de almacenamiento procedente de las casas, en combinación con una planta de tratamiento total, donde se separarán y seleccionan los diferentes desperdicios sólidos.

Respecto a los plásticos [51] se menciona un proceso mediante el cual los residuos plásticos se calientan todos mezclados con arena, haciéndose un tipo de hormigón de polímeros, aprovechable como construcción vial y pavimentos.

El último aspecto de la basura es el problema del lecho. La composición de la cama se ha encontrado que es [39]:

— periódicos y revistas	1,9	}	59,5
— papel de envolver	11,5		
— otros papeles	46,1		
— latas	16,3		
— artículos de plástico	5,8		
— botellas de vidrio	5,9		
— otros productos	12,5		
	100,0		

Este problema, de hecho, es de mentalidad. Sin embargo, la degradación del plástico sería una ayuda. Por consiguiente es bueno observar que ahora existen procesos mediante los cuales los plásticos también pueden degradarse [47], [39].

En principio hay dos sistemas:

- los polímeros, en los que los grupos se forman durante el proceso de polimerización y son sensibles a la luz ultravioleta; tan pronto como el plástico ha cumplido su misión y se queda a la intemperie comienza el proceso de degradación;
- los polímeros, a los cuales se les añade un sensibilizador que, por ejemplo, es sensible a los ultra violetas, inician un proceso de oxidación catalítica por la formación de radicales.

¡Desde luego los productos degradados pueden no ser dañinos para el medio ambiente! Un caso especial, por ejemplo, es el cloruro de polivinilo. Aunque hasta ahora no se ha anunciado ningún cloruro de polivinilo degradado, el peligro, en este caso del cloruro, en productos degradantes de bajo peso molecular lentos es real.

6. ORDENACION DEL MEDIO AMBIENTE

La situación en los diversos países es muy diferente y no totalmente clara. Hay leyes en vigor, leyes en preparación, medidas de impuestos y grupos de trabajo para estudiar las medidas legales deseables. En la referencia [47] se encuentra una cierta relación entre el consumo de plástico per cápita y la cantidad y rapidez en adoptar medidas legales existentes en el país o que se hallan en preparación (Tabla XVIII).

T A B L A XVIII

Relación entre el consumo de plásticos y las medidas legales

Países	Leyes	Tasas	Grupos de trabajo	Consumo de plásticos kg per cápita (1970)
Suecia	—	±	+	47
U.S.A.	++	+++	+	40
Japón	+	±	+	40
Alemania Occidental	±	±	+	40
Dinamarca	+	—		40
Holanda	±	±	+	32
Bélgica	—	—	—	29
Noruega	+	—		29
Francia	—	±		25
Italia	—	—	—	24
Reino Unido	—	—	+	22

+ = existen

± = en preparación

— = se abstienen

Nacional e internacionalmente se espera aparezca una legislación sobre el medio ambiente [52]. Para la adopción de medidas contra la contaminación del medio ambiente, primero se dejan a la decisión del control gubernamental, después a decisiones políticas respecto al peso de los diversos intereses: agricultura, transporte, industrialización, suministro de energía, construcción de ciudades, diversiones y protección de la naturaleza.

Las discusiones acerca de estos problemas ambientales han comenzado hace unos 5 ó 10 años. Es de esperar que se lleven a cabo más o menos ideas ecológicas, de modo que con creciente ritmo se produzca un cambio de mentalidad que conduzca a proteger el medio ambiente en el que la vida sea posible para muchos en un día prolongado.

RESUMEN

La humanidad amplía, poco a poco, las estructuras de su pensamiento que, de especulativo, pasa a ser previsor y normativo. Unos, como el crecimiento en salud y riqueza de la población, el inherente aumento del consumo y de la producción, la correspondiente contaminación, la utilización cada vez mayor de los recursos limitados, son motivos suficientes para incitar a las personas implicadas en la "Ciencia y Tecnología de los Materiales" a tomar decisiones. En la actualidad, la vida de los materiales se desarrolla en tres etapas:

- 1.^a Los materiales se fabrican partiendo de materias primas y se transforman en productos, futuros residuos sólidos, que dan lugar, por ejemplo, a W_i kg de sólido por producto P_i .
- 2.^a Los productos cumplen su tiempo de servicio.
- 3.^a En la última etapa se plantea el problema de los residuos; la producción de desperdicios sólidos por año es $\sum \frac{W_i \cdot P_i}{L}$; se presentan diversas soluciones: transformar en abono, reutilización, reciclado y combustión.
 - 1) A propósito de la fabricación y tratamiento de los materiales se pueden plantear las siguientes interrogantes:
 - a) ¿Es posible conocer una estimación razonable de los recursos naturales de materiales? ¿Y de su consumo?
 - b) ¿Cuál es el consumo de energía durante la fabricación y tratamiento de los materiales, para cada clase y por unidad de masa o de volumen?
 - c) ¿Cuál es el consumo de agua industrial durante la fabricación y el tratamiento de los materiales, para cada clase y por unidad de masa o de volumen?
 - d) Durante la fabricación y tratamiento de los materiales, ¿qué clase y qué importancia tiene la contaminación del aire, de las aguas y de los suelos, por unidad de masa (o volumen) del material? Se muestran cifras cuantitativas preliminares para diferentes materiales que pertenecen a tres grupos principales de materiales de construcción: metales, cerámicos y polímeros.
 - 2) Dejando aparte la influencia de la contaminación sobre el clima y la salud, estos dos aspectos no son tratados en este artículo; se puede comprobar una influencia muy característica de la contaminación sobre la durabilidad de materiales de construcción, por ejemplo el acortamiento del tiempo de servicio L , lo que implica un aumento en el consumo de materiales y, por tanto, de su producción, y de la contaminación. Se facilitan algunas observaciones a este respecto, particularmente sobre los materiales a base de silicatos, y se alude a las investigaciones necesarias para mejorar el valor de L .

- 3) En cuanto a la producción de residuos sólidos por año $\sum \frac{W_i \cdot P_i}{L_i}$, parece ser que si se reduce la relación $\frac{W}{L}$ se puede disminuir la cantidad de sólidos.

Puesto que en la industria de la construcción se dedican los máximos esfuerzos con objeto de disminuir W (métodos de cálculo, reducción de los coeficientes de seguridad, etc.), el autor opina que aumentar L es por lo menos importante y, sin duda, más eficaz. También se puede tratar de reducir la cantidad de productos P , mediante la selección de ciertos productos o materiales, para determinadas funciones, lo cual es posible si se dispone de informes a partir de un balance completo materiales/medio ambiente, preferentemente completado con un análisis de la relación precio/beneficios. Las respuestas dadas a las preguntas planteadas en el apartado 1) de este resumen pueden servir de punto de partida para tal selección. Se ofrece una última posibilidad: el eficaz tratamiento de los residuos sólidos, no solamente en la industria (incluida también la bioindustria), sino también en los hogares, donde la recogida de las basuras constituye un problema muy importante. Se puede pensar en reducir a polvo las basuras caseras, bien en la misma vivienda, bien en el camión de recogida de sacos de plástico, al mismo tiempo que una planta efectúa la labor de tratar y separar los diferentes residuos sólidos. La combustión, la recirculación y/o la nueva utilización son diferentes soluciones que requieren un estudio más profundo que los vertidos controlados. No obstante, es preciso emprender la tarea de cambiar la mentalidad mediante la educación y la propaganda, en lo relativo al medio ambiente, la contaminación, la energía y los materiales.

BIBLIOGRAFIA

- [1] HALE JOHN Mc.: *The ecological context*. George Braziller, Inc New York, 1970.
- [2] ARMAND L., DRAUCOURT M.: *Plaidoyer pour l'avenir*. Ed. Calmann-Lévy, París, 1962.
- [3] BROWNING B. L.: *The chemistry of wood*, New York, 1963.
- [4] Timber Bulletin for Europe Jan.-Dec. 1971, Vol. XXIV, No. 2.
- [5] European Timber Trends and Prospects 1950-1980. An Interim Review, Vol. 1.
- [6] FAO Yearbook of Forest Products 1969-1970, Rome, 1971.
- [7] KOSSEN N. W. F., WOUDE H. A. J.: De Ingenieur jrg. 84, No. 38, 22-9-72. *Wasted wood as raw material for the chemical industry: a real recycling*.
- [8] SCEP, Man's Impact on the Global Environment, MIT Press, 1971.
- [9] GOLDSMITH E., ALLEN R., ALLABY M., DAVOLL J., LAWRENCE S., LEACH G.: *Blueprint for survival*. The Ecologist Jan. 1972. Translated in dutch: Milieudefensie 1e jrg. No. 1, 2 Juni-Juli 1972, Blauwdruk voor overleving.
- [10] SOMERS J. A.: *Pollution of soil and soilwater by oil products*, Intermediair 7 jrg. 23 11-6-1971.
- [11] MEADOWS. D. L.: *The limits to growth*. New York, 1972.
- [12] MULCKHUYSE J. J.: *Must we degrade the oceans to a rubbish-dump*. Intermediair 7e jrg 39 1-10-1971.
- [13] VAN DEVENTER F. L.: *Combined electricity and waterfactory as an integrated industry*. de Ingenieur 25-6-1971.
- [14] OECD. Energy Policy, Problems and Objectives, Paris, 1966. See also: Energievoorziening in W-Europa (Boekhouwer, J. Morelis. Intermediair 4-9-1970 (supply of energy in W-Europe).
- [15] SELDENRATH Th. R.: *W-European energy supply for the next 30 years*. De Ingenieur 23-7-1972.
- [16] New Scientist 5-8-1971 (estimation by World Energy Conference).
- [17] SELDENRATH Th. R.: *Nederlands energiebeleid*. De Ingenieur 23-6-1972 (Dutch energy policy).

- [18] Symposium. Electricity in our future provision of energy: possibilities and consequences. Developments in the world provision of energy. H. Hoog, De Ingenieur, 26-5-1972.
- [19] De Ingenieur 11-8-1972, Symposium: *Physical aspects of the environment*.
- [20] BEEK W. J.: *Educational, informational, social and cultural aspects of environmental issues*. De Ingenieur 2-6-1972; Report submitted to ICC Meeting May 28-29 Göteborg and to United Nations Conference June 5-19, Stockholm.
- [21] *What is the extent of the environment pollution*. Dr. ir. W. J. BEEK Man and environment, priorities and choice. Publication No. 8, Foundation Technological Forecasting (pre-papers to the 1971, congress of the Royal Institute of Engineers), 3-6-1971.
- [22] De FREMERY D. A.: De Ingenieur 11-2-1972: *Growth of worldsteelproduction: from 573.10⁶ ton in 1970 to 10¹¹ ton in 1981*.
- [23] MOSER L.: *Erfahrungen und neue Erkenntnisse mit Abluftreinigungsanlagen für die Aluminium Elektrolyse*. Erzmetall Bd. 22 (1969) H7.
- [24] Ullmann's Encyclopedie der Technischen Chemie 3e Aufl. Munchen 1957. *Ullmann Encyclopedie of Chemical Technology*.
- [25] Based on private communication M. Engels, Sand-Gravel Dredging industry.
- [26] FLACHSENBERG W. P.: Kalkdrehofen. Anlage für 3,000 t kalk je Tag der Rheinischen Kalksteinwerke. Zement, Kalk, Gips No. 8/1971 .
- [27] Der Kalkdrehofen. Wärme Wirtschaft, Betriebsverhaltung und Leistung. F. W. Plank, Zement, Kalk, Gips, No. 2/1969.
- [28] Based on private communication Dr. Ir. Niel.
- [29] Based on private communication Technical Service ENCI-Maastricht.
- [30] Statistics of production of ceramic products in earthenware and brickindustry, Central Bureau off Statistics, No. 811-007-70.
- [31] Based on private communication Ir. W. Dekker. Central Laboratory Samdlime Brick Industry.
- [32] Central bureau of Statistics, No. 811-041-71. *Statistics of production of sandlime brick industry*.
- [33] Central bureau of Statistics, No. 811-052-70 (Statistics of production of concrete products).
- [34] Based on private communication Drs. J. A. Meerman, secretary Ready Mixed Concrete Manufacturers.
- [35] Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, 2nd ed. New York, 1966, Vol. 10.
- [36] Materials and Technology, a systematic encyclopedia London, 1971, Vol. 2.
- [37] Handbook of glass-manufacture, ed. FV Tooley, New York, 1957.
- [38] Based on private communication Prof. ir M. M. G. R. Bol, Landbouw Hogeschool Wageningen.
- [39] Milieu, Grondstoffen en Kunststoffen, Dr. G. SCHUUR, Plastica 26 (1973). *Environment, raw materials and plastics*.
- [40] De Ingenieur 30-7-1971. Report 1971 Congress of the Royal Institute off Engineers "Man and Environment", introduction dr. ir. H. Hoog.
- [41] RÖBERT S.: *Remarks on the economy of silicate concrete*. Paper No. 100 2nd international sumpoium on autoclaved calcium silicate building products.
- [42] GRUNAU E. B.: *Bautenschutz unter modernen Gesichtspunkten*. Deutscher Bau Zeitschrift No. 10/1972.
- [43] NISHI, T.: *Outline of the studies in Japan regarding to the neutralization of alkali (or carbonation) of concrete*. RILEM Symposium Prague, 1961. Final Report, 1962, II.
- [44] *Neutralization (carbonation) of concrete and corrosion of reinforcing steel*. Proc. of the 5th International Symposium on the Chemistry of Cement Tokyo, 1968, Vol. III.
- [45] KRELJGER P. C.: *Durability of concrete*. Leergang "Duurzaamheid van bouwmaterialen", 1971.
- [46] BIJL C. L., VRIJBURG H. G.: *Protection of steel organist corrosion*. Bouwwereld 64 (1968), No. 11, 24 mei.
- [47] BAKKER D. J., FRIELING L. T.: *Environmental aspects of plastics*. Lezing 16-11-1972 op de 35e kunststoffendag te Den Haag, KRITNO-TNO report 1972.
- [48] NIJKERK A. A.: *Wasted Solids made profitable*. Intermediair 18-6-1971.
- [49] BYNUM Jr. D., EVERTSON J. F., FLEISHER H. O., RAY D. R.: *Uses of wasted solids for improved construction*. Materials and Structures, Vol. 5, No. 28, 1972.
- [50] De Ingenieur 15-5-1970, *Working up of solid waste: technical, economical, urbane and managerial aspects*.
- [51] *Plastic waste and sand as raw material for a new type of building material*, Cobouw, dec. 1972.
- [52] Aspects of management of environment. Section Chemistry of the Environment of the Royal Dutch chemical Society. Chemisch Weekblad jrg. 68, 1-12, 1972, p. 9 t/m 23.