Excmo. Sr. Director,
Excmos. Sres. Académicos,
Señoras y Señores:

Quisiera dejar constancia en estas primeras palabras de mi gratitud a la Real Academia y a su Director por el honor de ocupar esta ilustre tribuna con motivo de la solemne sesión de apertura del curso académico 1983-84.

El carácter de este acto, público y abierto al exterior, me parece que quita interés a lo que yo pudiera decir en torno a los temas investigatorios que hoy me ocupan, tanto más cuanto que su presentación exige prólogos que quizás ocupen tanto como el texto y la ayuda de medios gráficos que no soy capaz de suplir con la expresión oral.

Por eso he preferido traer a examen un repertorio de meditaciones personales hilvanadas sobre una cuestión muy actual y general a la que ninguna persona cultivada puede sentirse hoy ajena: Se trata del efecto directo e indirecto que la Ciencia y la Técnica tienen sobre el medio vital al consumir recursos que a veces son más valiosos como tales que los productos o satisfacciones que partiendo de ellos, o sacrificándolos, la Técnica nos facilita.

El tema, complejísimo e importante, ha sido tratado con profusión y desde variados puntos de vista. A pesar de todo, hay muchos datos pero pocas evidencias de fondo, pues el análisis tropieza con la necesidad de trascender la realidad y llegar a «la esencia» para obtener una imagen satisfactoria y veraz del sentido profundo y el valor de los resultados de esa gran manipulación del Mundo que el Hombre hace con su Técnica.

El hombre ante la Naturaleza. La conducta utilitaria

La técnica, como es sabido, es el medio de que se vienen valiendo los hombres para utilizar la naturaleza en su propio favor: para sobrevivir, primero, y siempre para vivir cada vez mejor.

La técnica ha existido desde que en los homínidos aparecieran atisbos de inteligencia. Aunque primario, es un acto inteligente y técnico el valerse de la rama del árbol o de la piedra como herramientas, como instrumentos para obtener del mundo-natural-ambiente resultados que valgan como soluciones para necesidades o deseos. Hombre y Naturaleza han sido, desde el principio, protagonista y antagonista en la singular representación que es la historia de la Tierra desde la aparición de la inteligencia. Cada parte ha jugado su papel, se ha expresado como es: la Naturaleza, con una permanente consecuencia en sus manifestaciones, con un constante alarde de comportamiento causal; el ser humano, por el contrario, se viene comportando con todas las variantes y matices que en su conducta introducen de continuo la experiencia y la mente.

Desde el punto de vista de la comunicación entre una y otro, la Naturaleza se presenta para el ser humano en tres niveles de relación:

— Uno sería el que nos pone en contacto *con el mundo inanimado e insensible*, con el reino mineral y también el de las máquinas, obra humana inanimada.

— Existe otra relación distinta que es la que mantenemos *con los seres vivos de especies distintas* a la humana.

— Y una tercera sería la que sostenemos *con nuestros congéneres*.

Las relaciones del primer grupo, las que tenemos *con el mundo inerte* —con la parte inerte del mundo— se caracterizan por la inexistencia de reciprocidad. Las cosas son algo o mucho o nada para nosotros, aunque son; en cambio, nosotros no somos ni representamos nada para ellas. Nuestras acciones frente a ellas reciben respuestas estereotipadas, fijas, causales, que tienen relación con la *acción* que nosotros ejercemos, pero no con nosotros. Si el cloro resulta tóxico, el azúcar dulce y el cobre maleable es porque son así, y así se manifiestan, pero no pretenden con ello agradarnos o fastidiarnos, sencillamente porque no pretenden, porque nada les importamos. Son las cosas las que nos importan a nosotros, somos nosotros los que pretendemos algo de ellas.

Obsérvese que el método experimental, tan decantadamente científico, se basa en esta constancia e indiferencia de la Naturaleza inanimada. Por eso los experimentos son repetibles y la experiencia fiable. Curioso, digo, porque la Filosofía clásica, con Aristóteles en el centro, operaba por pura vía deductiva, sin consultar a las cosas, porque las cosas eran «impuras» y, por tanto, falaces. De ahí la tardanza con que pudo abrirse camino el método experimental en la historia del conocimiento, y de ahí también la justificación del proceder alquimista al buscar el *elixir* que eliminara la impureza que nos enferma o la *piedra* que limpiando los metales los redujera a oro, pura pureza.

Con el mundo vivo no humano —plantas y animales— tampoco cabe que podamos mantener relaciones de tipo *social*, relaciones de *asociación* propiamente dicha. Con estos seres coexistimos en formas muy variadas. Sin embargo, entre el animal —ciertos animales, los más próximos— y el hombre se da ya un principio de esa reciprocidad que fundamenta toda asociación, pues se producen relaciones con respuestas subjetivables. El caso más evidente lo tenemos con los animales domesticados, y en particular con el perro.

Con sus congéneres, las relaciones del hombre son de sociedad. Vivir en sociedad implica influirnos mutuamente «emergiendo cada uno —decía Ortega— de la soledad radical que primordialmente es su vida para llegar a proyectarse en la realidad radical del otro».

Hay que destacar que la sociedad humana está formada por hombres, pero la sociedad no es lo mismo que el hombre. La sociedad no reacciona como una persona, sino en forma más o menos fija y automática de acuerdo con las pautas adoptadas por las instituciones que constituyen y articulan la sociedad, como pueden ser las administraciones de justicia, las provinciales, las docentes, etc. La Sociedad, pues, no es naturaleza, ni tampoco hombre; es, como la máquina, creación humana, y como la máquina se manifiesta arracional, ciega y «mecánica». Basta pensar cómo se talla a los quintos, cómo se matricula un estudiante o cómo se nos imponen las multas de tráfico, lo que no quita para que todo eso resulte inevitable, pues así la sociedad, en su conjunto, se objetiva y nos garantiza cierta equidad, seguridad y estabilidad, precisamente porque sus funciones están libres de impregnaciones emocionales. Pero insistamos en que el automatismo de las respuestas de los órganos sociales, su asentimentalismo y objetividad —que en ellas son dos virtudes— son propiedades de máquina, no de persona. Y tan en nosotros está esa convicción que se habla corrientemente de «la máquina administrativa» al referirnos al modo de obrar de la administración pública.

Esa trama de cosas preexistente —naturaleza, organizaciones sociales y hasta los individuos que las constituyen— son «la circunstancia» orteguiana de que les vengo hablando. Con eso ha de construir cada uno, y todos —la sociedad— su vivir, y de eso se vale el hombre, lógicamente, para extraer las utilidades que necesita para su existencia.

Lo que parece, pues, que importa de las cosas, es su utilidad. Semejante afirmación parece demasiado cruda y podría interpretarse como una apología de epicureísmo, del hedonismo o del «materialismo». Y no es así si se piensa en que la utilidad no tiene por qué referirse sólo a la cobertura de necesidades o satisfacciones groseras o físicas y se lleva el concepto de utilidad también al nivel ético, moral o espiritual y con los matices que cada persona quiera dar a estas expresiones.

También resulta chocante el hecho de que si el uso de lo *circunstante* nos impone una estimación de las cosas por su valor de servicio, por su «servicialidad», va de sí que lo que las cosas que nos rodean *sean*, su sustancialidad, nos ha de importar menos o nada. En efecto, la Ciencia, la Ciencia moderna, como es sabido, renunció por principio a responder lo que las cosas son y se ha afanado por entender *cómo las cosas se manifiestan* y en establecer las leyes de estos comportamientos. Que las cosas tienen «esencia» o «sustancia» es una hipótesis quizás tan antigua como el origen del pensamiento. Pero lo cierto es que las cosas jamás nos han respondido cuando les hemos preguntado sobre ello, ni aún con el interrogatorio más imperativo que es el experimento. La pesquisa sobre la esencia la mantienen los filósofos desde la antigüedad más remota, y lo cierto es que todavía no han obtenido ningún resultado satisfactorio. Ello hace pensar que o no hay tal esencia o sustancia, o que si la hubiere no resulta aprehensible por nuestra inteligencia. Conclusión muy orteguiana que se compagina con la idea de Eddington: la huella que encontramos en lo desconocido es la nuestra.

¿A qué traigo todo esto? Pues para explicar el hecho de que en la relación del hombre con las cosas que le son necesarias —y en las que no percibe otras características que aquellas que guardan relación con cómo se manifiestan y para qué le sirven— parece lógico y consecuente que su conducta se base en la servicialidad que pueda atribuirlas. Así las entiende y así las utiliza.

Se explica, entonces, la conducta que llamamos egocéntrica, egoísta o utilitaria de los hombres respecto al «medio», a todo lo que no es él mismo: la naturaleza, los otros hombres y todas las creaciones humanas como son la sociedad y la técnica y sus productos.

Es más, la conducta utilitaria tiene que consistir primariamente en un acopio de cosas en favor de uno mismo. Esa conducta, pues, se inspira en un egoísmo bruto, profundo, radical. Y entonces ha de ocurrir con gran facilidad que el uso degenere en abuso si el medio que proporciona el bien acopiado es inocente y/o gratuito —si no tiene respuesta, al menos inmediata— cual es el caso de la Naturaleza

Y, en efecto, un rápido vistazo a la historia de la Humanidad nos confirma la conclusión.

La conducta utilitaria en la Historia. Técnica y población

Parece evidente que la primera necesidad, y también la primera limitación del hombre, por lo menos la más perentoria, fuera el alimento, que durante el millón de años largo que se atribuye a la prehistoria y protohistoria humana consistió en plantas y restos de animales consumidos directamente. Estiman los especialistas que, probablemente, la biosfera y los medios disponibles por el hombre

primitivo —su Técnica— no permitían una población superior a los cinco millones de seres.

En función de esa servicialidad antes comentada, se consiguió hace un millón de años *servirse de utensilios* con que mejorar los resultados de la caza y aprovechamiento de los animales. Esta fue la primera gran revolución, seguida de la domesticidad de animales y del *cultivo asistemático de animales y plantas.*

Mucho después —hace unos 10.000 años— se produjo la gran revolución de la Agricultura. Con ello el hombre comenzó a modificar sistemáticamente la biosfera —el medio— en favor de sus fines propios. Pero el medio, en su conjunto, se comprende que no podría resultar muy afectado. Dicho más gráficamente: el medio no se enteraba, a la larga, por funcionar la homeostasis del sistema natural con capacidad para reparar las alteraciones.

A medida que se fue tecnificando la producción de plantas y adecuando el consumo de alimento animal, aumentaría la disponibilidad de alimentos y, con ella, la población. La mayor población exigiría más abastecimiento, y la consecuencia sería una afectación más intensa del medio y una necesidad de técnicas más perfectas para lograr mayor servicialidad de las cosas.

Las técnicas primitivas no podían dar bastante elasticidad en el uso del medio, lo que explica la necesidad de que emigraran los excedentes de población, y así se extendió la especie hasta ocupar incluso los espacios más difíciles, una vez vencidas las inclemencias del medio que, en el fondo, no es propiamente inclemente, sino sólo en tanto en cuanto nosotros somos incapaces para adaptarnos a su natural modo de ser.

Mientras la emigración era posible y fácil, la presión en las sociedades primitivas por poseer nuevas técnicas no podía ser muy intensa. No obstante, las limitaciones eran muchas, suficientes para mantener la tensión por poseer mejores modos para perfeccionar la calidad y la cantidad de la vida.

La gran mutación se produce cuando hace un par de siglos se llega a la revolución industrial, que nos empieza a liberar de la mayor parte del esfuerzo físico, que aumenta enormemente la capacidad de producción de las tierras y permite obtener del medio soluciones impensables antes para la habitación, el vestido, la sanidad, el transporte, etc., etc. Piénsese, respectivamente, en el cemento, las fibras artificiales, la vacuna y los antibióticos, el automóvil y el avión, por citar algunos ejemplos.

Estas tres revoluciones sucesivas —a la que habría que sumar la actual— dan lugar a aumentos de población, recogidos en la figura 1 para poder observar cómo la población en las sucesivas civilizaciones

ha seguido un aumento de tipo logístico —en coordenadas logarítmicas— alcanzando una saturación en cada uno de los estadios que parecen anunciar el agotamiento del ciclo y la iniciación de otro nuevo.

Las crisis parecen producirse, pues, por un doble efecto de resonancia entre población y técnica con el consecuente adensamiento de las *poblaciones* y la disponibilidad de *técnicas* que dan cada vez más capacidad de acción a las gentes y obliga a cambios en las *estructuras sociales* cada vez más complejas y especializadas.

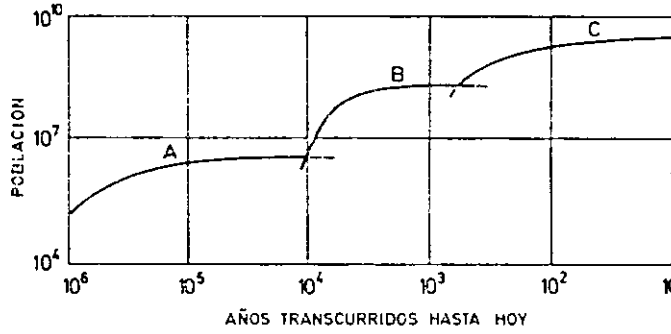


Fig. 1.—En coordenadas logarítmicas, la población humana del mundo a lo largo de los años transcurridos hasta hoy. Las curvas están basadas en supuestos relativos a la dependencia entre población y técnica, y representan la marcha cronológica de la población a través de las sucesivas culturas: la primitiva, que comenzó a emplear utensilios (A), y las correspondientes a la revolución agrícola (B) y a la primera revolución industrial (C). (De «La población humana», Edw. S. Deevey, Jr.)

No se concibe ningún nuevo movimiento de la técnica que no lleve implícito, en mayor o menor medida, según su importancia, el correspondiente efecto sobre la densidad de población y sobre la organización de la sociedad; y tales efectos acaban, a su vez, imponiendo cambios en el nivel de utilización o de creación de las técnicas entonces posibles. Son *acciones circulares*.

Pero todo ello depende de la implacable oferta del *medio ambiente*, oferta que la técnica puede modificar en ritmo, según la concentración energética que sepa manejar, pero no en cantidad total, pues la Tierra es un sistema materialmente cerrado que —aparte energía solar— sólo recibe del exterior, meteoritos.

El ecosistema y sus elementos. El tetraedro ecológico

Siempre desde el punto de vista antropológico, nos hemos venido refiriendo a los cuatro elementos fundamentales o principales del ecosistema:

- El medio donde la vida humana se realiza.
- La población que lo habita.
- La técnica de que se dispone.
- La organización social.

Al principio sólo cabe pensar en un sistema lineal, situada en un punto *la población* y en otro *el medio*. Pero la población necesitó valerse más y más del medio, e inventó *la técnica* —en sentido general— y necesitó también poner orden en las relaciones interhombres e inventó *la organización social*, tan variable a lo largo de la historia como la técnica.

Antes hemos manifestado la interrelación entre estos cuatro elementos, de modo que cualquier modificación o acción sobre uno provoca una reacción en los demás hacia nuevas situaciones de equilibrio (homeostasis). Por eso, creo que podrían reunirse conceptualmente esos elementos en un tetraedro, como el de la figura 2, que puede servir para dar unidad conceptual a las acciones y reacciones que se producen en el ecosistema.

El plano inferior del tetraedro sería el triángulo *PST* y representa el plano del hombre y sus creaciones: población (*P*), sociedad (*S*) y técnica (*T*). Los planos laterales recogen las relaciones entre lo creado (*P*, *S*, *T*) y lo natural o ambiente (*A*) que ocupa el vértice superior del tetraedro.

La imagen tetraédrica quiere sugerir el equilibrio entre las partes; y la necesidad de que exista, dentro del equilibrio, una elasticidad de variación de las fuerzas propias de cada vértice, sin que por ello se rompa el sistema porque ninguna de las cuatro magnitudes (*P*, *S*, *T*, *A*) que resumidamente configuran el ecosistema se manifiesta inerte, quieta, constante. Esto aparece muy claro en las contenidas en el plano humano, pero tampoco el medio *está* siempre igual, aunque lo *sea*. Téngase en cuenta: *en el tiempo*, la muy distinta «oferta» del medio a través de los grandes períodos geológicos; *en el espacio*, son también desiguales las ofertas que corresponden a los diferentes climas de la tierra; y *en su dinámica*, en la pérdida —de por sí irreversible y subjetivamente irreparable— que supone la erosión *natural* del sistema inanimado —tierras— fenómeno que se ha calculado que mueve al año unos 17.000 millones de toneladas, sin que en ello participe el hombre quien, naturalmente, luego veremos que no se queda muy atrás en esa misma actividad.

En la representación propuesta para el ecosistema, se entiende que cada uno de los vértices —subsistemas— que lo constituyen opera en la homeostasis del conjunto con tan fuerte interdependencia que no siempre se puede distinguir entre causas y consecuencias. Antes las hemos llamado acciones circulares. De ahí la multiplicidad y labilidad de las soluciones, de ahí la improcedencia de toda generali-

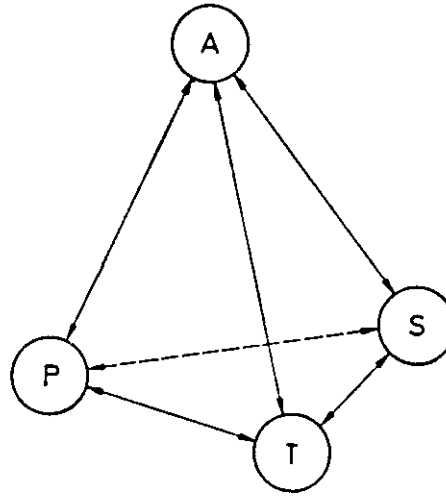


Fig. 2. — Representación esquemática del Ecosistema y su dinámica. El vértice A representa el medio físico natural; el P, la intensidad de población; S, el nivel y estructura de la organización social; y T, el nivel propio de la técnica disponible.

zación, y de ahí que cuando se subjetivan los problemas del medio ambiente resulte imposible saber dónde está la justo y lo injusto de una proposición, con la consiguiente perplejidad de quienes tienen sobre sí la ingrata tarea de legislar al respecto.

Por otra parte, la respuesta de tan complejísimo sistema es difícilmente previsible, especialmente al largo plazo que es forzoso considerar cuando se trata de cuestiones que afectan al género humano y a su supervivencia, en particular. Quizás el ejemplo más propio de este momento podríamos obtenerlo en el campo de la salud de las poblaciones (que afecta al vértice P), en el que se han reflejado

con especial brillantez los avances de la técnica (T) y la mejor organización social (S). Se ha dicho que en los últimos 25 años se han perfeccionado más las técnicas de la salud que en toda la historia anterior de la humanidad. Y, sin embargo, se dice también que la Medicina está socialmente en crisis, lo que traducido a lenguaje más técnico significa que los avances sucesivos exigen esfuerzos no compensados. La razón es que, de una parte, aparece la tendencia saturante de los logros —según la ley general de los beneficios marginales decrecientes— reflejada en que la esperanza de vida de cada ser que nace parece haber comenzado a descender, después de la espectacular mejora de los últimos 50 años, por entrar en juego los efectos del tráfico creciente, el estrés, la contaminación, la droga, la resistencia microbiana a los antibióticos, etc., factores de riesgo que unas veces son desencadenantes y otras predisponentes para la enfermedad. De otra parte, porque extender los cada vez mejores niveles sanitarios erosiona más que proporcionalmente la renta de los países. Probablemente, de esta cadena inflacionaria —fácilmente transcribible a la unidad tetraédrica—, se pueda salir por el efecto homeostático combinado de unos cambios sociopolíticos que sitúen el centro de gravedad de la política sanitaria antes en la prevención que en la curación, y en las aportaciones de la nueva genética y en el descenso —o estabilización— de la población.

Centremos ahora la atención en un punto o región determinada capaz de representar la situación actual del mundo contemporáneo. Es evidente que la intensificación de las tres magnitudes de la base ha modificado grandemente la situación del medio hasta un punto en que, *tal y como las cosas están*, el medio aparece ya como inelástico en varias de sus ofertas y resulta una invariante en el sistema, lo que quiere decir que toda modificación de estructura social que implique mayor uso de esa parte del medio —el correspondiente índice de consumo por ejemplo— podrá producirse sólo si se cuenta con técnicas adecuadas compatibles con la invariancia. Y si no es así habrá de reducirse la intensidad de población; o aceptar que el aumento de población —con su demanda implícita correspondiente— sólo sea posible si un reparto social mejor o una técnica más perfecta hacen innecesaria la esquilmación del medio. Nótese que el último censo de la Tierra alcanza los 4.700 millones de seres humanos, y que su capacidad de multiplicación es tal que la población se duplicaría en 30 años. De ahí el extendido empeño en que la población se reduzca voluntariamente para evitar la vía drástica y dolorosa de una guerra generalizada que, como el poeta decía de la primavera, llegaría sin que nadie supiera *cómo* ha sido y, como siempre, con el *por qué* enmascarado.

Escarmentada del belicismo, la gente parece haber hecho profesión del pacifismo. Ojalá. Sin embargo, ya en 1932 una organización internacional prestigiosa, dependiente de la Sociedad de Naciones, invitó a Einstein, hombre de demostrado

taleto, a que dialogara con quien él eligiera sobre un tema de interés capital. El tema debatido fue si la guerra era un accidente fatal o evitable; el interlocutor de excepción fue Freud. Las conclusiones resultaron coincidentes aun tratándose de hombres de tan distinta formación: Que la guerra no ha sido un accidente en la historia, sino que está impresa en la personalidad humana; que el instinto humano es destructor, y tan insana facultad se aplica sobre los otros hombres cuando la conducta está motivada por móviles egoístas o de soberbia, cualidades que sólo se dan en la especie humana.

Como era de esperar no han faltado pensadores que hayan hecho cuestión de esta componente agresiva del espíritu humano. ¿Es, realmente, una cualidad innata o se debe a los condicionamientos de la *sociedad humana*? Así lo entiende Fromm fundado en que *las sociedades* padecen la patología del tener y no cultivar la del *ser*; y así lo creen también Chergui y Schecter —y antes Rousseau y muchos más— por la interferencia heterónoma que la educación introduce en el desarrollo de la persona. De todos modos, cabe preguntarse ¿es el hombre así porque lo hace así la sociedad, o es la sociedad como es porque, obra del hombre, no puede ser de otra manera? ¿Qué es causa y qué es consecuencia? Para Freud, la orientación posesiva, en la persona, es anterior a su madurez, y resulta patológica si se prolonga en esta etapa; es la neurosis del «complejo anal», que también padecerá la sociedad si sus costumbres están inspiradas por la agresividad que generan la ambición y la codicia del *tener* a toda costa. En todo caso, el hombre de siempre y de hoy es agresivo, a juzgar por su historia y su talante. No es extraño, pues, que haya hecho de la guerra algo inconcebiblemente destructor al verter hacia esta finalidad todo el poder del pensamiento científico acumulado durante siglos. Un dato terrible lo corrobora: los gastos pro-bélicos en el mundo, sin haber declaración de guerra, alcanzan los 800.000 millones de dólares anuales. Y para confirmar la primacía de la agresividad sobre la fraternidad, compárese esa cifra con el débito total de los países con deuda exterior: 700.000 millones de dólares. Tanto más triste es el resultado cuanto que gran parte de esa deuda es de carácter militar y los pueblos deudores, en su mayor parte, los más necesitados.

El uso del medio. Análisis de la demanda ecológica

Según se ha visto, todo lleva hoy a considerar al medio como un factor ya casi invariante en el ecosistema, cuya inelasticidad condiciona el factor poblacional, a falta de técnicas mejores y/o de sistemas de organización social más perfectos. Por eso resulta obligado que el programa de vida presente y futura se articule con el uso

respetuoso e inteligente del medio natural considerando muy al detalle las variantes de la demanda ecológica.

Se ha entendido por *demanda ecológica* (D_e) a la suma de las distintas cantidades que el hombre toma del medio. Pero esto no es más que una burda aproximación, porque la devolución al medio de aquella fracción que no se puede o no se quiere utilizar inhabilita otras cantidades de bienes de igual o distinta clase, a las que hay que dar de de baja en el inventario de disponibilidades.

Por ejemplo: Si se toman, con fines industriales, de una corriente de agua, 3 m^3/min., y se devuelve al cauce natural 2 m^3/min., pero contaminados con una sustancia no degradable que impide la oxigenación del cauce, es evidente que la demanda ecológica de esa industria no es sólo de 1 m^3 de agua por minuto, pues habría de sumarse a ella todas las energías y materias que hayan de intervenir para restablecer la calidad primitiva del caudal de los 2 m^3/min. devueltos.

Hay, pues, una demanda primaria, D_p, y otra secundaria, D_s: ésta es inevitable porque aun en el caso menos desfavorable, que es el de los procesos vitales, se trata de situaciones que son, por definición, objetiva y subjetivamente contaminantes. Vivir, aun el vivir más elemental, es cambiar materia y energía con el medio. Lógicamente, si del medio se toma, por necesidad, energía, se le empobrecerá y, además, sabida la imposibilidad física —termodinámica— de ningún aprovechamiento al 100 por 100, la devolución de la energía degradada será una forma más de empobrecer al medio, por incorporarle un producto residual, inválido, la *anergía*. Del mismo modo, la materia que tome el ser vivo como alimento —para recomposición del soma y como aporte energético— dejará al metabolizarse residuos que el ser vivo no puede almacenar de modo indefinido, por lo que sólo cabe devolverlas al ambiente marcadas con el sello de su inutilidad... inmediata. La acumulación de estos residuos en el entorno fue en tiempos una fuerza concurrente que movió al nomadismo del hombre primitivo, hasta que, como ocurre con el barbecho, el territorio se autorregenerara. La técnica, después y hoy, se preocupa de esta utilidad posterior esforzándose por la reintegración de residuos a la economía global del ecosistema.

En suma, la demanda secundaria es consecuencia natural de la primaria, y una de las misiones de la técnica será procurar modos para aminorarla o suprimirla.

Resulta por tanto que:

$$D_e = D_p + D_s$$

Pero, a su vez, la demanda primaria —en lo referente a materias primas y a energía, y así se identifica con el llamado *producto do-*

méstico bruto— es el producto de dos factores: la cifra de población, *P*, y el índice de consumo unitario medio, *C*, que guarda relación con el índice de vida:

$$D_p = P \cdot C$$

La demanda secundaria guardará dependencia cuantitativa con la primaria. El coeficiente de correlación —de proporcionalidad—, *f*, variará con la relación cantidad residual/cantidad demandada y con la capacidad de deterioro del medio que en definitiva posea el producto residual, lo que, a su vez, dependerá del entorno. Se comprende que la valoración de *f* ha de ser un problema de grandes dificultades. Ni siquiera para las sustancias residuales biodegradables se puede admitir un coeficiente cero, pues su destrucción por el medio natural no es instantánea y su puesta en él suele implicar algún consumo energético, cuando menos.

La demanda secundaria se puede expresar por:

$$D_s = f \cdot P \cdot C.$$

Podemos dar un paso más en este breve análisis de la demanda ecológica y tomar en consideración el notable efecto que tiene la amplitud del ámbito en el que produce efecto la demanda secundaria (en otros términos: el «escenario» de la contaminación). Esa amplitud o extensión la podemos representar por la superficie o área geográfica afectada, *F*, aunque en realidad se trata de un volumen identificable con la superficie por razón de proporcionalidad, y sólo cuando así sea. En este factor se recogerían los efectos de la «conurbación», por ejemplo.

Como la demanda, en general, se refiere a muchísimas sustancias y formas de energía, vendrá expresada por un enorme sumatorio, de forma que a fin de cuentas se tendrá:

$$D_t = \sum_{i=1}^{n} P_i \cdot C_i \left(1 + \frac{f_i}{F_i}\right)$$

en cuya fórmula figuran relacionados:

— La población, *P*.

— El consumo unitario de bienes, *C*.

— El área en la que la población vive y actúa, *F*.

— El coeficiente de residualidad, *f*, que engloba la proporción relativa de residuos y su nocividad específica.

Esta fórmula puede servir de referencia para situar y valorar la importancia de los distintos factores que intervienen en los complicados y manipuladísimos temas del agotamiento de los *recursos* y la *contaminación del medio*.

Como era de esperar, aparecen relaciones inmediatas y mediatas entre las variables de la fórmula y los elementos del tetraedro antes expuesto. Las referentes a la técnica las vamos a tratar explícitamente después.

Antes diré, por lo que se refiere sólo a demanda primaria que, según el *Anuario Estadístico de las Naciones Unidas*, la solicitación viene creciendo a razón de un 5 por 100 anual (1), lo que significa una duplicación del consumo en sólo 15 años. Siendo así ¿cuánto tiempo podrá mantenerse esta situación? Evidentemente poco en términos históricos, como ya han vaticinado repetidos informes del Club de Roma. El adensamiento de la población ha de tener un límite que no parece lejano, pues los recursos esenciales de esta enorme pero finita despensa que es nuestro mundo son limitados.

Es evidente, pues, que vamos hacia una saturación y, en consecuencia a un posible enfrentamiento, porque no todas las zonas del planeta están igualmente pobladas (P) ni tienen los mismos sistemas de relación social (S), ni las mismas técnicas disponibles (T), ni iguales ofertas del medio ambiente (A) en el que viven. Esta desigualdad acentuará las querellas dentro de cada país y también las internacionales y sólo podrán paliarse con el juego conjunto y favorable de los factores determinantes del problema. No puede llegar mi intención a tocar todos ellos, pero sí quisiera dedicar alguna consideración al factor Técnica en relación con la demanda ecológica, porque no en vano han sido la Ciencia, la Tecnología y la Técnica, en la sucesión causal escrita, los factores dinamizantes de esa demanda que ha llevado al mundo de hoy a una crisis de dimensiones incalculables, situación que exige encontrar la organización consecuente de la sociedad, de las sociedades. Otras consideraciones desbordarían con mucho los campos de pensamiento por los que yo he osado andar.

Demanda ecológica y técnicas disponibles

He mencionado antes las tres revoluciones técnicas cumplidas en la vida de la humanidad: la instrumental primitiva, la agrícola y la industrial (primera). Al mejorar las técnicas, las tres han aumentado doblemente los factores de crecimiento de la demanda ecológica: la existencia de más y mejores bienes (C) hacia crecer la población (P).

(1) Esta tasa es más del doble que la de crecimiento de la población, lo que acusa el incremento del consumo unitario de bienes.

Recordemos que los inciertos 5 millones de habitantes del período mesolítico son ya 250 en la Roma de Augusto; éstos se duplican por los años del descubrimiento de América, es decir, más de un milenio después, y ellos a su vez se duplican también en menos de 400 años, hacia mediados del siglo pasado, cuando ya funcionan las máquinas de vapor, alcanzándose los 1.000 millones de seres. Sólo 80 años después, hacia 1930, se ha duplicado otra vez la población. Y han bastado 40 para duplicar de nuevo la cifra poblacional llegándose a los 4.000 millones de habitantes en 1970. La cifra del año pasado ya he dicho que alcanza los 4.700 millones, y el índice de crecimiento actual es de 80 millones de seres al año, lo que supone para la sociedad mundial tener que hacer sitio cada año a unas dos Españas más, sin que le sea permitido aumentar el espacio disponible.

Al lado del aumento de P y de C hay que anotar una disminución absoluta del espacio disponible (F), lo que equivale a aumentar la demanda ecológica, D_e. No es que la Tierra se encoja; es que al poner la técnica a disposición de las gentes mayor cantidad de energía, la capacidad de interacción humana aumenta, es decir, el número y la intensidad de los efectos que podemos provocar unos sobre otros, por unidad de tiempo, es mayor. Es como si en un volumen gaseoso aumentáramos la población molecular: las interacciones anticiparían el momento en que al comprimirla dejarían de cumplirse ostensiblemente las leyes generales de los gases perfectos, por efecto del «covolumen».

Me refiero a que si la superficie que personalmente podemos batir —nuestro covolumen— es proporcional al cuadrado de la velocidad con que la técnica nos permita desplazarnos, y si en unos 150 años hemos pasado de los 30 km/h del caballo a los 900 km/h del avión comercial, el grado de interacción humana posible se ha elevado en $900^2/30^2 = 900$ veces, lo que hace disminuir la superficie disponible en esa proporción. Si, además, tenemos en cuenta que la población europea, por ejemplo, ha aumentado en casi siete veces, y que cada individuo de la actual población dispone —por los avances técnico médicos— de un tiempo (esperanza) de vida de casi el doble, resulta que a efectos de interacciones posibles, en Europa somos ahora $900 \times 7 \times 2 = 12.600$ veces más activos. O, en otros términos, es como si la superficie europea se hubiera hecho 12.500 veces más chica que en tiempos de Bismarck. Como si toda aquella población europea se viera confinada en menos de la mitad de la superficie de Madrid, Comunidad Autónoma.

Contando con que mis amables oyentes sabrán disculpar el pintoresquismo de estas consideraciones, las acentuaré haciendo notar que el hombre de hoy dispone de recursos para la interacción que no tenía el europeo de hace poco más de un siglo. Entre otras cosas, hoy no hace falta la presencia directa, física, para influirnos; basta muchas veces la acción simbólica o de imagen: teléfono, radio, televisión. La velocidad de comunicación es, entonces, la de la onda electromagnética,

300.000 km/seg., y esto significa que la equivalente reducción de superficie es del orden de los 100 millones de veces.

La situación resulta inconcebible si no se considera que en ese lapso de tiempo *también la técnica* ha dado elementos para modificar los modos de vida, y otro tanto ha ocurrido con *las leyes*, costumbres y demás manifestaciones de la vida de relación. Es decir: la base del tetraedro ha reaccionado conjuntamente, y el medio ha permitido las nuevas posiciones del equilibrio homeostático, aunque cada vez con más dificultad, pues la oferta ambiental no sólo tiene límites en el tiempo sino también en la cantidad y, por tanto, en el ritmo, que es combinación de los dos.

Quiero decir que los cuatro elementos de la unidad ecosistema no tienen una capacidad de oferta definida, pues la de cada uno depende de las posibilidades que pueden darle los otros tres: así, aun en el supuesto de un continuo crecimiento de la población, el medio podría agotarse en su oferta de cobre, por ejemplo, pero la técnica puede descubrir aleaciones de otros metales abundantes que permitan la sustitución total del cobre, con lo que la oferta del medio, a efectos de utilidad unitaria (servicialidad), no experimentaría variación apreciable. De la misma manera, la disponibilidad de madera puede mantenerse y hasta incrementarse si se dispone de legislación competente para la conservación y fomento del bosque y para que la utilización de esa materia prima se limite a aplicaciones donde *todavía* no es sustituible.

En realidad, no es fácil averiguar hasta dónde pueden llegar en su oferta —combinada— cada uno de los elementos del ecosistema. Con un enfoque optimista puede decirse que las posibilidades de la organización social no parecen críticas, ni tampoco las de la técnica, porque unas y otra dependen de la voluntad humana, y aquí vamos a dar por supuesto que ante el agobio progresivo no se va a dar paso a una guerra que devolvería drásticamente la densidad de población a sus niveles de 1.000 ó 2.000 años atrás, ni creemos que la ciencia y la técnica dejen de avanzar hacia un mejor conocimiento y gestión de los bienes naturales.

Siendo así, donde parece que puede darse antes el límite crítico restrictivo es en el par población-medio ambiente (*P-F*), y no —no sólo— por la limitación de materias y de energías que la creciente población pueda extraer del medio, sino simplemente por efecto de la interacción que antes comenté y sobre la que luego volveré.

Se cargan a la técnica tres acusaciones por poner a la especie ante la imposibilidad de seguir progresando, sin reparar en la ambivalencia de la ciencia y de la técnica: el gran *poder destructor* de los modernos artefactos militares, la *capacidad de la técnica sanitaria* para sostener unas poblaciones que exceden las posibilidades de los recursos

y la intensidad y continua *destrucción del medio* por la propia técnica. Aclaremos que se trataría de técnica *moderna*, porque condenar la técnica en general sería tanto como repudiar al hombre su condición humana. De todos modos, no tiene fundamento esa acusación, pues es fácil probar que la técnica actual produce demandas y destrozos unitarios muchísimo menores que los de otros tiempos, aparte que no tendría ninguna base pensar que hubo un tiempo en que las técnicas disponibles eran ideales y, por ello, descalificadoras de todo el desarrollo ulterior del pensamiento que ha llevado a la situación actual de la ciencia y de sus aplicaciones. No ha habido en ciencia ni en técnica una «edad de oro». En estos campos, todo tiempo pasado fue peor. Tampoco tiene sentido achacar a la técnica el poder destructor de las armas modernas, porque ajena a la técnica es la decisión de emplearlas como medio para lograr fines que no están a su alcance. Al enjuiciar el fenómeno de la técnica, mucha gente ignora el hecho de que está constituida por un conjunto de actos racionales, pero que ella, en sí, es irracional.

Una importante opinión al respecto es la de S. S. Juan Pablo II, quien en u alocución a los científicos austríacos, en septiembre de 1983, decía: «La Ciencia y la Técnica no amenazan al hombre en cuanto tales, sino cuando se desvinculan de las normas morales»; y también «la neutralidad de valores que reclama para sí la Ciencia puede tener un efecto purificador como distancia ascética respecto a los propios deseos, aunque sin llegar a extremos en que resulten irreconocibles los valores morales».

Tampoco, y por las mismas razones, se puede mantener como cargo el hecho de que suministre la técnica medios para sostener una población «excesiva» en número y en consumo unitario. Vale también aquí la afirmación del Santo Padre en la ocasión citada: «Toda ciencia se completa como ciencia del hombre y para el hombre».

Y en cuanto a su capacidad destructora del medio se puede demostrar igualmente el error de partida. Se considera sólo lo que la técnica destruye hoy, pero no se hace referencia a la población que así se sirve, ni se comparan las destrucciones con la propia de cualquier otra técnica anterior de fines semejantes. En este sentido, y como el argumento se maneja profusamente por gentes que en nombre de la Naturaleza condenan implacablemente el progreso industrial, quisiera relatar en forma resumida (2) el resultado y significación de los esfuerzos químico-industriales que se han producido para poder elevar el rendi-

(2) El tema fue desarrollado por mí en el ciclo de conferencias organizado por la Real Academia de Ciencias sobre Historia de la Química, en 1982. Mi trabajo versó sobre Historia de la fijación del Nitrógeno.

miento de los cultivos aportando a las tierras el nitrógeno que necesitan para sintetizar sus proteínas. Puede valer como ejemplo, dentro del área de la Química.

El nitrógeno que hoy se fija en la Tierra se calcula que monta los 240 millones de toneladas. La mayor parte de esta tarea —65 por 100— corre a cargo de los microorganismos nitrificadores, otro 10 por 100 es el resultado de la síntesis natural de ácido nítrico y de amoníaco como consecuencia de las acciones meteóricas —luz UV, rayo— sobre los gases del aire, cuyos productos la lluvia conduce a la superficie de la Tierra. El 25 por 100 restante —unos 60 millones de toneladas— se fija por síntesis industrial, casi todo por la reacción $N_2 + 3H_2 \rightleftarrows 2NH_3$ (Haber-Bosch).

Hasta llegar a esta síntesis del amoníaco, sin la que no sería posible la intensiva agricultura actual, ha habido que vencer dificultades enormes.

El primer camino intentado condujo a la síntesis del óxido nítrico, NO —que por reacción con agua produce ácido nítrico— a partir del aire. La reacción es grandemente endotérmica y exige temperaturas muy altas (> 2.500°) con la particularidad de que el poco NO formado se descompone en seguida a alta temperatura. Todo esto se resolvió a principio de siglo mediante el arco eléctrico, pero el método resultaba caro en energía, pues 1 kg de NO_3H necesitaba unos 20 Kwh. Al aumentar la demanda de electricidad e irse elevando su precio, el método perdió todo interés.

Otro camino, casi coetáneo del anterior, fue la fijación del N_2 sobre el carburo cálcico, para —en horno eléctrico— dar cianamida cálcica, CN_2Ca. El nitrógeno así fijado también era costoso en energía eléctrica y su sustitución por térmica no ha tenido éxito. El producto, además de heterogéneo, era poco rico en nitrógeno, y su obligado transporte a los cultivos lo encarecía apreciablemente, a lo que ha de sumarse que el carburo de partida ya lleva en sí un consumo de 15 Kwh por kilogramo.

La solución, hoy vigente, fue la síntesis del NH_3, de valor universal, que ha supuesto el estudio armónico de muchos problemas previos: la separación del N_2 del aire; la obtención de H_2 barato, con carbón y agua, primero, y con petróleo y agua, después; la búsqueda de un catalizador adecuado, entre miles; la resolución de tantas dificultades como aparecen para llevar a cabo la reacción $N_2 + 3H_2$, por ser muy exotérmica y por manejar gases a presiones de cientos de atmósferas. No sólo se han resuelto estos problemas, sino que han llegado las cosas hasta poder realizar la reacción con intensidades de orden de las 3.000 Tm NH_3/día y en un solo reactor —los primeros eran de 125 Tm/día—, con lo que el precio del amoníaco se ha beneficiado ampliamente de la «economía de escala».

A pesar de todo, aún quedan a la Tecnología márgenes para progresar. Uno de los nuevos caminos trata de obtener ácido nítrico *como subproducto* (!) de la fabricación de energía eléctrica, lo que supone la inversión del problema en su formulación inicial (síntesis del NO en el arco eléctrico): la combustión de combustibles en «estado» plasmático de baja temperatura (2.700°) permite obtener energía eléctrica continua por efecto magnetohidrodinámico (un 50 por 100), otro tanto

vía vapor de agua —alterna— y aprovechar el NO formado a tan alta temperatura. El ácido nítrico sería un subproducto de la fábrica de electricidad: 1 kg de ácido por cada 12.000 Kwh.

El otro camino, más deseable aún, sería, ni más ni menos, que copiar a la naturaleza, que opera por medio de la *nitrogenasa* existente en algunas plantas, sin ruido, ni presiones elevadas, ni temperaturas altas, ni inversiones de capital, y sin más energía que la solar. Camino tanto más interesante porque para fin de siglo habrá de haberse multiplicado por cuatro la cantidad de nitrógeno fijado por el hombre. La solución ésta en el campo biológico. Las investigaciones en marcha tratan de mejorar el rendimiento de las bacterias simbióticas fijadoras del N_2; de dar capacidad fijadora a microorganismos de la flora natural del suelo no simbiontes en la planta explotada; insertar en las plantas que interesen la capacidad fijadora; transferir la capacidad fijadora a bacterias simbiontes de plantas útiles; y lograr ribozios simbiontes con plantas no leguminosas.

Hay límites críticos

Ha de haber límites, porque un sistema con muchos de sus recursos finitos no puede ser explotado indefinidamente. Intentaremos acercarnos al problema del fin de los recursos, pasando revista a los fundamentales.

De las ofertas fundamentales del medio ¿cuáles y cuánto resistirán? Esto es lo que vamos a revisar con las imprecisiones de detalle que a la ocasión corresponde y la generalidad que cabe esperar de quien habla por sí mismo.

La respuesta a tan grave interrogante es una de las preocupaciones de los organismos internacionales, y en especial del conocido «Club de Roma», que ha publicado ya cuatro informes al respecto. La dificultad está en conocer no sólo las demandas —incluso las actuales—, los recursos y la sustituibilidad de unos por otros, sino también en acertar con lo que la técnica podría hacer al respecto y los hombres soportar, aparte nuestra ignorancia sobre el comportamiento profundo del medio y, por tanto, de las leyes precisas de la homeostasis del sistema global. Por eso las especulaciones que se conocen sobre el particular muchas veces bordean el campo de la ciencia-ficción.

Como se ha dicho, el breve y global análisis que sigue parte de la base de que la reacción social tiene aún gran elasticidad y que bajo el imperativo de las circunstancias el hombre acabaría por acomodarse a nuevas situaciones, aunque en casos extremos fuera a costa de enormes sacrificios. Y en cuanto a la técnica, cabe admitir, en el terreno de la especulación en que nos movemos, que su capacidad de evolución es superior a cuanto nunca hemos imaginado.

En tiempos circuló una célebre frase en la que se decía: «la Ciencia resuelve *los problemas que puede* y la Técnica *los que tiene* que resolver». Habría que corregirla porque las generaciones actuales somos testigos de que las técnicas de hoy —las del espacio y las electrónicas, por ejemplo— han puesto ante los ojos del hombre maravillas que nunca fueron pedidas porque jamás se habían imaginado. Han sido hijas del pensamiento más que de la imaginación. Pero, como una vez disponibles estos medios acaban por crear su propio espacio de oferta utilitaria, al poco resultan ya imprescindibles. Habría, pues, que cambiar el final de aquella frase y decir: ...y la Técnica los problemas que no imaginábamos que podía resolver.

Tomando la población como variable dependiente y la técnica y la organización social como parámetros adaptables, ¿cuáles serían los elementos del medio cuya limitación podría llevarnos a una situación crítica? Entre los indispensable, tres son, a mi juicio, los primeros que habría que tomar en este examen perentorio:

- La energía.
- El alimento (y con él el agua, la tierra de cultivo y los elementos fertilizantes).
- El espacio habitable.

En otros términos: Supuesto que, dentro de lo lógico, técnica y sociedad reaccionan sin límite, ¿cuánta población permitiría el medio?

La energía

Tan unidos van los conceptos de energía y progreso, que la expresión de la cantidad utilizada de aquélla se ha tomado como índice de éste.

En la tabla 1 (3) y la figura 3 recogen los distintos conceptos del consumo energético humano a lo largo de la historia.

Obsérvese cómo las energías no alimentarias llegan en la época actual a ser 23 veces superiores a las alimentarias, aun contándose en la cifra de éstas las empleadas en la preparación comercial y culinaria de los alimentos.

La energía utilizada hasta haber aprendido a desencadenar y gobernar la de origen atómico es de naturaleza solar. En muy pequeña proporción se utiliza la de las mareas, de origen gravitatorio, y la geotérmica, de orden cósmico. El 99,99 por 100 de la que hoy se disfruta procede del enorme flujo de radiación solar que llega al planeta, del orden de $1{,}3 \cdot 10^{21}$ kcal/año. Como quiera que el consumo ener-

(3) Cock: *Sci. Amer.*, sept. 1971. The flow of energy in an industrial society.

gético total mundial previsto para 1985 es de $1{,}7 \cdot 10^{13}$ TEC (equivalente a 17 billones de toneladas de carbón de 7.000 kcal/kg), o sea, $1{,}2 \cdot 10^{17}$ kcal, resulta que el flujo energético bruto recibido es unas 10.000 veces superior a las necesidades.

TABLA 1

Consumo posible de energía a lo largo de la historia del hombre

Etapa histórica	Consumo diario × 10^3, kcal/H				
	Alimento *	Confort y Comercio	Ind. y Agr.	Transportes	Total
Hombre recolector	2	—	—	—	2
Cazador primitivo	3	2	—	—	5
Agricultor primitivo	4	4	4	—	12
Agricultor avanzado	6	12	7	1	26
1.ª revoluc. industrial	7	32	24	14	77
Epoca actual	10	66	91	63	230

(*) Se refiere a la energía contenida más la estimada necesaria para obtenerlos.

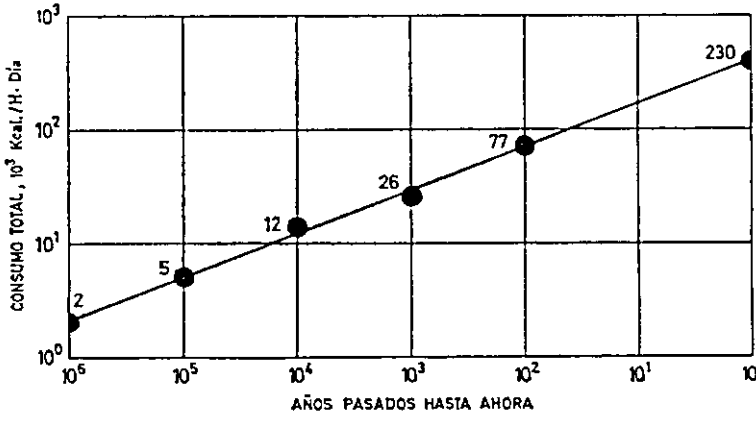


Fig. 3.—Consumo total de energía logrado por el hombre a lo largo de la historia. (Datos de Cook.)

Se trata de un ingreso bruto porque un tercio de la energía contenida en él se refleja en la atmósfera y vuelve al espacio exterior;

los otros dos tercios los absorben la atmósfera, la tierra y las aguas, y después de algún tiempo se irradian al exterior luego de haberse consumido en parte para dinamizar la superficie del planeta: generar vientos, olas, corrientes marinas, evaporar agua, formar nubes, etc., etc. Una parte pequeña ($0{,}7 \cdot 10^{18}$ kcal) se incorpora cada año a la biosfera, por la vía de la *fotosíntesis*. A pesar de su pequeñez relativa, obsérvese que la cantidad incorporada a la biosfera es unas seis veces superior a las necesidades totales mundiales de 1985.

Las cifras dadas y la comparación efectuada alejan, en principio, toda preocupación ante un déficit crítico y mundial de energía, si es válido el prejuicio —la declaración de fe— de que aquí partimos, por el cual la técnica resolvería lo que siendo factible fuera necesario, como hasta ahora ha venido haciendo, sin más limitación que el respeto a la lógica.

Las fuentes de energía movilizadas por el hombre son de dos clases: *de renta* y *de capital*, según la terminología de Urgoiti; o dicho de otro modo, *renovables* y *no renovables*, respectivamente. Las re novables o de renta son la solar directa, que sin conciencia de su turaleza y origen se viene usando desde los primeros tiempos: ella produce la *biomasa* —plantas y animales— que el hombre utiliza como alimento, fuente de su energía orgánica propia, y como recurso de energía suplementaria muscular a través de los animales de carga y tiro, más el calor de combustión de otra fracción de la biomasa —madera, residuos— para otros muchos fines. Depósitos pretéritos de biomasa han dado lugar, con el tiempo, a yacimientos de carbones, de petróleo y de gases combustibles, que son las *energías de capital* más importantes en la actualidad.

Otras energías de renta son también las del viento, y la del agua fluyente, que desde hace mucho tiempo sirven para la navegación y otras aplicaciones mecánicas —molinos, por ejemplo— y eléctricas —alternadores, etc.

La alarma que corre hoy por el mundo en cuanto a la escasez de la energía no se debe, pues, a que no la haya ni a que se ignore cómo obtenerla de otras fuentes, sino a las dificultades políticas aparecidas hace pocos años para seguir aprovechando la energía de renta contenida en el petróleo, que hoy es la fuente más recurrida porque la buena disponibilidad y bajo precio que hasta hace poco ha tenido movilizó los esfuerzos de la técnica para desarrollar esa energía con grandísima economicidad y postergando otras fuentes, como el carbón y otras varias (viento, mareas, geotérmica).

Las existencias de carbón en la Tierra (4) se cifran en unos 6.000 Twa ($4{,}5 \cdot 10^{19}$ kcal) que es una energía 350 veces superior al consumo total previsto

(4) A. M. Weinberg: *The Bull. of the Atom. Scientists*, 1982.

para 1985. Cierto que el carbón no se quema en los motores, pero el carbón puede transformarse en combustible líquido, sin dificultades técnicas. La técnica de los años treinta-cuarenta ya era capaz de obtener combustibles y carburantes iguales a los del petróleo a partir de carbones. Bergius por hidrogenación del carbón y Fischer y Tropsch por transformación catalítica del llamado gas de síntesis ($CO + x H_2$) —obtenido por reacción del carbón incandescente con vapor de agua— consiguieron gasolinas y lubricantes de gran calidad con los que los ejércitos alemanes actuaron hasta disponer de petróleos naturales del Este europeo. Hoy aquellas técnicas han sido perfeccionadas, pero aun así los productos obtenidos siguen siendo más caros que los derivados del petróleo natural, por dos razones insoslayables: porque el precio que la OPEP fija libremente para el petróleo tiene muy en cuenta que esas técnicas no resulten económicamente viables —para lo cual es de suponer que lo irá bajando a medida que tales técnicas se perfeccionen— y porque por mucho que éstas mejoren nunca podrá superarse la circunstancia de que el petróleo *sale* y el carbón *hay que sacarlo*, como agudamente gusta decir el profesor Mingarro.

El problema, pues, está en sustituir un petróleo barato por productos obtenidos de materias primas menos baratas y por técnicas que todavía no se han desarrollado suficientemente. Es de suponer que cuando esto se vaya logrando el precio del petróleo baje, y aunque ciertamente las reservas de «oro negro» son menores que las de carbón, también es cierto que de los pozos petrolíferos sólo se suele extraer —por eso de «sacar» y «salir»— un 30-40 por 100 de su contenido. Y aún quedan por explotar las posibilidades de los yacimientos marinos.

En todo caso, el petróleo, el gas y el carbón son energías de capital, perecibles, igual que ocurre a las de origen nuclear, por lo que resulta deseable aplicarse en el beneficio de las que se renuevan que, además, como se ha indicado, son prácticamente inagotables. Una idea clara de las posibilidades de cada tipo de energía, con vistas al futuro, se recoge en la tabla 2.

Se ve en la tabla que las energías de capital podrían ser una solución hasta llegar a dominar las técnicas de captación de la energía solar, única de las de renta capaz de resolver el problema a perpetuidad. Las otras energías de renta, la mareomotriz y la geotérmica —y la del viento, que no se ha incluido en la tabla— son insuficientes para las necesidades actuales, aunque son fuentes cooperativas de interés.

En el caso particular de las fuentes fósiles, habríamos de remitirnos al competente tratamiento dado por nuestro colega D. Víctor Villanueva (5) en su discurso de apertura del curso 1974-75, con cuyo motivo expuso el mejor uso de carbones y petróleos como materias primas industriales para la obtención de productos y no de energías. Destaquemos aquí las posibilidades de obtención de hidrocarburos varios a partir de cultivos de *euforbias* (Calvin) y que la energía de

(5) Publics. de la Real Academia de Farmacia, 1975.

fusión, entre las de capital, puede resolver por sí misma, a perpetuidad, el problema energético.

La biomasa (6) como materia energética, aparte de su imprescindibilidad como base del alimento, está incluida en la radiación solar (tabla 2).

TABLA 2

Suministro y duración de las distintas fuentes de energía

Energías de capital	Existencias, kcal	Años de duración al rítmo de cons. 1985	Observaciones
Combust. fósiles	$6{,}0 \cdot 10^{19}$	500	
Fisión nuclear	$2{,}26 \cdot 10^{19}$	188	
React. rápidos	$2.26 \cdot 10^{21}$	18.830	Sólo los prod. hoy aprovechables
Mat. fisibles en la corteza terrestre	$1{,}20 \cdot 10^{28}$	$1 \cdot 10^{11}$	
Litio expl. para fusión	$5{,}30 \cdot 10^{19}$	440	El Li hoy aprovechable
Litio total	$1{,}66 \cdot 10^{28}$	$1{,}38 \cdot 10^{21}$	El Li existente en la corteza
Deuterio (agua de mar)	$5{,}0 \cdot 10^{27}$	$4{,}0 \cdot 10^{10}$	
Energías de renta	**Flujo anual, kcal**	**Veces el consumo de 1985**	
Radiación solar	$1{,}3 \cdot 10^{21}$	10.833	
Energía mareomotriz	$7{,}5 \cdot 10^{15}$	0.0625	
Energía geotérmica	$4{,}5 \cdot 10^{14}$	0,0038	Sin contar profund. mayor de 65 km,

(6) Se distingue una biomasa *primaria*, la originada por la fotosíntesis, otra *secundaria* correspondiente a los animales herbívoros que viven de la primaria y a los carnívoros que viven de los herbívoros, y otra *residual* procedente de una y otra. Obtener energía de la biomasa no sólo no es ninguna novedad, sino que se practica desde tiempos remotos, pues biomasa son la leña, el serrín, las ramas, etc. La novedad del tema está en su racionalización para poder destinar a la producción de energía primaria producciones agrícolas especialmente adaptadas a ello por provenir de terrenos sin interés alimentario o de residuos hasta ahora mal aprovechados. Así se estima que el 10 por 100 de las necesidades de la CEE po-

Si no parece haber límites por la disponibilidad de energía, sí que podría haberlos por las consecuencias del uso de los medios energéticos utilizados, si se confirmara su presunta nocividad intensa e irreversible para el medio ambiente.

Se arguye, en tal sentido, que las centrales de combustión química —combustibles fósiles y biomasa en general— son perjudiciales por aumentar el contenido de CO_2 en la atmósfera y provocar el llamado «efecto de invernadero» (7) que hará aumentar la temperatura media del aire e incluso provocará la fusión del hielo de los casquetes polares y el anegamiento de casi todas las ciudades costeras al elevarse en varios metros el nivel medio de las aguas marinas. Datos comprobados indican que es cierta la elevación del CO_2 atmosférico, pues ha pasado de 0,028 por 100 a principios de siglo a 0,031 en nuestros días. Para el año 2.000 se espera 0,035 por 100 CO_2, si no cambia el hábito de producción energética. Pero no parece cierta la consecuencia térmica prevista, pues las temperaturas medias registradas no han experimentado en el mismo tiempo variaciones significativas, lo que se ha explicado por la mayor opacidad de la atmósfera debida al «efecto sombrilla» producido por la presencia de polvo, que aumenta al producir y usar la energía.

El contenido en CO_2 del aire lo fija un equilibrio entre el resultado de la vida del suelo, la respiración vegetal, las emisiones volcánicas y las combustiones, por un lado, y la función clorofílica, la carbonatación de las rocas y la disolución del CO_2 en el agua del mar a través del equilibrio carbona-bicarbonato, por el otro (8). A su vez, las lluvias ácidas (CO_2, SO_2) no se sabe que hayan alterado este equilibrio marino en el sentido que es de esperar —aumento del CO_2 atmosférico— a pesar de haberse consumido en los últimos 40 años tanto combustible como en todo tiempo anterior. Téngase en cuenta que el desplazamiento del equilibrio global es muy lento por la dificultad para la transferencia en la interfase aire/agua. El CO_2 de combustión, pues, quizás pueda ser un problema para nuestros descendientes, si para entonces no está resuelta y aceptada la producción de energía por otras vías: solar, nuclear, geotérmica, eólica, etc.

Otra acusación contra la producción energética se centra en la magnitud de las instalaciones que se utilizan, que lleva implícita una

---

dría suplirse con biomasa residual. En España (FERNÁNDEZ: *Ing. Quím.*, 140, 23 (80)) parece posible la utilización de terrenos marginales —$23 \cdot 10^6$ Ha— con capacidad para producir algo más energía —$1,1 \cdot 10^{15}$ kcal/año— que la total de manda española de 1976, $7,1 \cdot 10^{14}$ kcal.

(7) Se debe a la mayor absortividad del CO_2 de las radiaciones de mayor longitud de onda.

(8) El mar contiene unas $700 \cdot 10^{12}$ Tm CO_2, y el aire $2,4 \cdot 10^{12}$ Tm; esta última cifra ha aumentado en un 10 por 100 en los últimos 50 años. La emision actual por combustión es del orden de los $10 \cdot 10^9$ Tm CO_2/año.

gran concentración de sus acciones antiambientales. Efectivamente, la magnitud está justificada por las ventajas de la llamada «economía de escala» (9). Pero siendo cierto que la mayor capacidad de producción origina mayor intensidad en los efectos de los residuos, tampoco puede olvidarse que, aparte de las ventajas en la productividad, ocurre que la mayor cantidad absoluta de residuos hace que puedan ser aprovechados como materia prima para otras fabricaciones, pues en ese aprovechamiento se da también su particular economía de escala.

Se dice temer a las centrales nucleares por la peligrosidad que se atribuye a su funcionamiento y los residuos radiactivos. Los argumentos que se esgrimen son de posibilidad y no de probabilidad y, entretanto, hay el testimonio de 36 países con casi 600 centrales —unos 450 GW en total— en construcción o funcionamiento en todo el mundo.

Late en esta polémica un fondo político. No en balde los grandes centros de producción energética suponen una gran concentración de capital y de poder, consecuentemente. De ahí que ciertos sectores ideológicos —en contradicción con la política seguida al respecto en los países donde esas ideologías actúan de modo excluyente— rechacen la vía nuclear en favor de los procedimientos más arcaicos, de pequeña escala, a que se presta la fuente solar, diluida. A ello se une que la economía de escala propia de las grandes centrales se caracteriza por un índice de empleo —relación obreros/capital— muy bajo, que suscita temores en el sector laboral, justamente preocupado de modo inmediato por la falta de trabajo.

No está en mi ánimo terciar en una disputa tan oscurecida por fines ajenos a mi formación y ambiciones. Por eso sólo quisiera, final y modestamente, exponer una impresión, más que un juicio, que concretaré en mi renuencia a aceptar con categoría de dogma cualquier inquietud *ilimitada* por el medio ambiente, hasta el punto de que se condicione sin justificación bastante el desarrollo de los pueblos. Toda preocupación ambiental me parece atendible y simpática, siempre y cuando su fin sea el proclamado y no una forma encubierta de luchar por el poder, con los correlatos implícitos en estas lides, pues como cínicamente decía Napoleón, en la guerra y en el amor todo está permitido. La ocultación de la verdad, por lo pronto.

Distinto es el caso de los arsenales militares nucleares existentes, nunca bastantes, por lo que se oye, cuando resulta que la potencia almacenada podría destruir la humanidad 25 veces (!). Destruir la humanidad sería una inconcebible maldad, pero ¿qué decir de la inversión complementaria correspondiente a las 24 destrucciones que nadie podría aprovechar?

---

(9) La economía de escala (gigantez químico-industrial) fue el tema de mi ingreso en esta Real Academia, en 1971.

Cuesta pensar que ésta sea la salida homeostática que nos espera, y sería muy deseable que la renuncia al uso de armas tan terribles diera ocasión para otras soluciones al problema del incesante y acelerado aumento de la población humana.

La inconcebible potencia de los medios de destrucción ha llevado los resultados de la guerra a situaciones imposibles: Una de las batallas más cruentas de la antigüedad, la derrota de los Medos (10), les supuso dejar en el campo de batalla 257.000 muertos, de las 30 miríadas que eran sus combatientes; otros 30.000 hombres escaparon con cierto orden conducidos por Artabuzo; de los 3.000 restantes no se sabe. Pues, bien, la proporción de muertos que tuvo la humanidad entera con esta matanza fue de un 2 por 100 —que ya es capacidad mortífera, pues esa misma proporción se ha registrado en la II Guerra Mundial, con armas atómicas incluidas—. En estos momentos, todo indica que la batalla nuclear que quizás se prepara sería mucho más siniestra, extensa y de efectos más persistentes y dolorosos, acaso un 30 por 100 de muertos inmediatos y un número no calculado de personas supervivientes afectadas por la radiación, con todas sus temibles consecuencias.

El alimento

El alimento, como se sabe, tiene un origen y fin energéticos. Se origina por la función clorofílica al aprovechar una mínima parte del flujo solar recibido, que antes se comentó. La clorofila inicia la síntesis de la biomasa primaria o vegetal, parte de la misma servirá para alimentar a algunas especies animales que también puede nutrir al hombre. Cuando, en secuencia trófica, la materia vegetal pasa a transformarse en organismo del herbívoro que la come, sólo un 20-30 por 100 se aprovecha para producir materia animal, pero descontando los residuos y otras pérdidas, en la producción de carne no se aprovecha más de un 10-15 por 100. Después, los carnívoros que se alimentan de los herbívoros, incorporan no más de un 20 por 100 neto, e igualmente otro 20 por 100 los carnívoros ulteriores que se alimentan de los primeros.

Esta pérdida tan grande de energía en la cadena trófica explica por qué es raro encontrar en la Naturaleza cadenas tróficas con más de cuatro eslabones y la tendencia natural del sistema a suprimir eslabones —que equivale a la desaparición de especies— por razones de economía energética. Veamos un ejemplo. Si una masa de algas con 1.000 kcal acumuladas es devorada por plancton, queda reducida la energía disponible a 150 kcal en el plancton. Si la masa de plancton

(10) Heródoto, IX, 70, núm. 5.

correspondiente la come un pez, se reducen esas 150 kcal ahora a 30 kcal. Y si el pez lo come el hombre no aprovecha sino 6 kcal de esas 30. De 1.000, pues, nos han quedado 6. De modo que si la cadena se cortara en el eslabón anterior inmediato —el pez—, y comiéramos el plancton en vez del pez, el rendimiento a favor del hombre sería 5 veces mayor; y si también se eliminara el otro eslabón y nos nutriéramos directamente de las algas ese rendimiento aumentaría 25 veces.

La especie humana es peligrosamente acaparadora. Su capacidad al respecto se puede juzgar con estos datos: con una dieta de 2.500 kcal/persona, el total de población, $4.700 \cdot 10^6$ personas, necesitan $1,7 \cdot 10^{16}$ kcal/año, suponiendo metabolizable el 20 por 100 del consumo primario. La biosfera toda produce (tabla 3) $680,8 \cdot 10^{15}$ kcal/año, con lo que resulta que la especie humana, *que es una en un millón*, se lleva 100 (17/680) = 2,5 por 100 de dicha producción, 25.000 veces más de lo que le corresponde *como especie*. Y en cuanto a masa, la biomasa humana es del orden de $4.700 \cdot 10^6$ personas × 0,060 Tm/persona = $282 \cdot 10^{16}$ Tm; mientras la biomasa animal se ha estimado unas 20.000 veces mayor; la voracidad de la «masa» humana resulta así 500 veces superior a la media.

El acortamiento de las cadenas alimentarias hace a los sistemas más sencillos y de mayor rendimiento inmediato, pero los hace también menos variados, más frágiles desde el punto de vista de su estabilidad: de un montón de tierra se pueden separar varios de sus elementos —granitos de arena— sin que el conjunto se desmorone; mas la estabilidad de un montón de igual masa pero de piedras grandes se puede comprometer al separa sólo una piedra (Tischler).

La tabla 3 resume la producción vegetal de las distintas zonas de la biosfera, según Whittaker (11):

Es de destacar, en la tabla 3, la menor fertilidad relativa de los océanos, pues con una superficie de captación solar 2,5 veces mayor que la terrestre sólo producen la mitad (55,0 frente a 79,9 + 189, + + 9,1 + 2,8 ≃ 111), cuya explicación no comentaremos aquí (12). Lo que importa por el momento es anotar que con las $3,64 \cdot 10^{16}$ kcal anuales de producción de las tierras de cultivo se podrían alimentar 17.000 millones de habitantes, con dieta bruta de 6.000 kcal/día.

La producción oceánica es, como se ve en la tabla, unas seis veces mayor que la agrícola, unos 55.000 millones de toneladas/año, pero la mayor parte de las capturas de pesca que hoy se hacen corresponden a especies de un nivel trófico muy alto, por lo que se estima en

---

(11) *Communities and Ecosystems*, 1975. De J. FERNÁNDEZ-GONZÁLEZ: *Ing. Quím.*, 149, 23 (1980).

(12) Ver R. MARGALEF: *Fronteras de la Ciencia. Ecología*. UNED, Madrid, 1977.

TABLA 3

Capacidad de producción de la biosfera (Whittaker)

Zonas	Ref. a superficie total				Ref. a superf. emergida		Equivalente energía 10^{15} kcal/a
	Superficie ocupada		Producción total *		Superficie ocupada, %	Producción total, %	
	10^6	%	10^9 Tm/a	%			
Total	510	100	170,2	100	100	100	680,8
Océanos	361	70,8	55,0	32,3	—	—	222,0
Bosques	57	11,2	77,9	47,0	38,2	69,4	319,6
Prados y Estepas	24	4,7	18,9	11,1	16,1	16,4	75,6
Tierra agrícola	14	2,7	9,1	5,4	9,4	7,9	36,4
Desiertos y tundras	50	9,8	2,8	1,6	33,6	2,4	11,2
Aguas continentales	4	0,8	4,5	2,6	2,7	3,9	18,0

(*) L. C. COLE, en *Sci. Amer.* (1971). Estima la producción anual de biomasa en 290.000 millones de toneladas (vegetales) más 120.000 millones de toneladas (organismos consumidores).

no más de $150 \cdot 10^6$ Tm la pesca máxima posible (13). El equivalente calórico estimado de esta captura anual sería de unos 600 billones de kilocalorías anuales, con lo que se podrían alimentar hasta 660 millones de personas.

Una manera de elevar la capacidad nutridora del mar es rebajar el nivel trófico de las especies capturadas. Es el caso de la pesca del «krill», conjunto de pequeños crustáceos que se alimentan de diatomeas, por lo que dan más rendimiento que los peces —que se nutren de peces más pequeños—. Además, la extracción del «krill» no es tan cara, en energía, como la pesca usual, que consume cinco veces más energía que la que suministra. Por eso se está fomentando mucho este tipo de explotación.

Aun sin considerar las disponibilidades de los bosques, prados, etc., y lo que la técnica y la política pueden hacer para un aprovechamiento mejor de tierras y productos, cabe pensar que el factor alimentario es todavía muy elástico. Valga decir también que los rendimientos actuales de bosques y tierras podrían mejorarse fácilmente con sólo variar el criterio justificante de los cultivos, que sigue siendo, en general, el de la «calidad» de los productos y no el de la cantidad. También cabría considerar la posibilidad de que la Ciencia facilite los modos para elevar el aprovechamiento clorofílico por encima del exiguo 0,5 por 100 que actualmente cuenta como promedio y la revolución que sería «genetizar» la agricultura, lo que permitiría elevar los rendimientos con gran ahorro de energía, de abonos, de plaguicidas, etc., más la utilización de suelos pobres y más secos.

Por otro lado, se ha evaluado por los especialistas en $8 \cdot 10^7$ km² la superficie total de la Tierra capaz de dar alimentos o productos transformables en alimentos. Nótese que esa cifra es casi 6 veces superior a la dada por Whittaker.

Me parece de interés exponer la previsiones del profesor Gaspar González, de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Complutense, quien ha calculado que con 1.000 m² de superficie de cultivo. y en condiciones adecuadas, se podría en España producir el alimento necesario para abastecer a un ser humano. Los datos del profesor González se recogen en la tabla 4, con su justificación.

Estos datos vienen a corroborar el punto de vista optimista en cuanto a las posibilidades de nutrición, si la implícita evolución de los otros subsistemas no dificulta el equilibrio nuevo. Más adelante se verán otros factores en relación, posiblemente más limitativos o con menos esperanza de que puedan superarse.

El agua.—En inmediata relación con la crisis del alimento está el problema del agua, coalimento y materia imprescindible para la eco-

(13) Ver R. MARGALEF: *Loc. cit.*

TABLA 4

Cómo producir en España la energía y las proteínas alimentarias que precisa, como promedio, una persona al año, en 1.000 metros cuadrados de superficie.

Cosecha	Consumo anual, kg	Rendimientos kg/ha		Extensión necesaria m²	Ingestión diaria	
		Exigidos	Registrados [1]		Kcal	Proteína g
Trigo [2]	80	5.000	4.200	160,0	613,7	17,5
Arroz	7	7.000	7.060	10,0	69,5	1,3
Patatas	105	35.000	35.317	30,0	227,2	7,2
Azúcar	30	8.000	7.700	37,5	306,6	—
Granos de leguminosas	10	2.500	2.587	40,0	82,2	54,8
Frutos con cáscara [3]	5	2.500		20,0	78,8	7,5
Hortalizas [4]	125	40.000	46 843	31,2	89,0	7,8
Frutas [5]	125	40.000	40.000	31,3	175,0	2,4
Granos pienso para producción de huevos, carne y leche [6]	300	8.500	8.000	350,0	550,0	44,0
Alimentos groseros (heno de alfalfa para productos de leche) substancia seca	150	10.000 EU	10 000	40,0	—	—
Aceites vegetales [7]	20	800	837,3	250,0	460	—
Totales	957 kg			1.000,0 m²	2.652 kcal	142,5 g

[1] Se han tomado los rendimientos máximos del «Anuario de Estadística Agraria» 1979. Ministerio de Agricultura.

[2] Equivalente a 64 kg harina panificable, 80 por 100 de extracción.

[3] Valores medios de almendra, nueces, avellana y cacahuete.

[4] Valores medios de las dieciséis más consumidas.

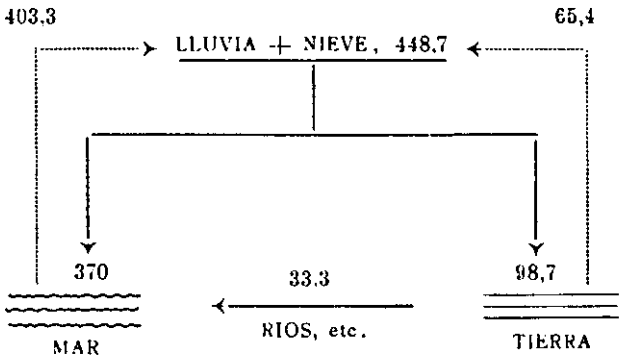
[5] Valores medios de las once más consumidas.

[6] Para completar las 350 U. Escandinavas (equivalentes cebada; 1 EU = 1 kg cebada) que se precisarían para obtener el consumo estimado (150 litros de leche, 365 huevos y 60 kg de carne de ave) se cuenta con los subproductos del trigo, del arroz, remolacha azucarera, pajas de leguminosas y otros no incluidos entre los alimentos groseros.

[7] Valores medios de girasol, cártamo y soja.

nomía vital, clima, higiene, etc. Salvo el aire, es la materia directamente más necesaria. El consumo principal en cantidad es para fines agrícolas: por cada kilogramo de algodón, arroz, trigo o caña azucarera se necesitan, respectivamente, 10, 4, 1,5 y 1,0 Tm de agua. Al lado de estas cifras, las necesidades industriales resultan bajas. Así, 1 kg de papel —industria de gran necesidad hídrica— sólo consume 0,2 Tm. En conjunto, las necesidades hídricas del pueblo más desarrollado (EE. UU.) son de unos 2.200 m^3/hab. día.

El flujo global y anual del agua en la naturaleza se recoge abreviadamente en el gráfico que sigue. Las cifras son billones de metros cúbicos/año (14). De los 448,7 billones de toneladas precipitadas, al mar van 370 y la tierra sólo recoge 98,7; de éstas, se evaporan 65,4 y van por los ríos, al mar, 33,3.



Adoptando la cifra del consumo norteamericano —que resulta utópica a plazo corto y medio— para toda la humanidad, el flujo de agua ($33,3 \cdot 10^{12}$ Tm/año) permitiría una población de 15.000 millones de habitantes, que es el doble de la población prevista para el año 2.000. Entre otros muchos matices importantes que se omiten aquí figura el de la distribución de tan preciado elemento, con la correspondiente repercusión en el vértice social.

El resultado no es alarmante, si se tiene en cuenta lo mucho que aún pueden mejorarse los aprovechamientos actuales, la enorme reserva que es el mar y que el agua no es materia destructible. El agua que se descompone en las fábricas químicas y en la función clorofílica, p. ej., acaba por reaparecer, por razones de energía libre de la reacción de su síntesis. Por otro lado, la producción de agua dulce partiendo de la marina es problema técnicamente resuelto, sin otra dificultad, hoy, que el coste de la energía.

(14) Datos de R. Revelle: *El Hombre y la Ecosfera*. Editorial A. Blume, Madrid, 1979.

La reserva marina es de 1.300 billones de metros cúbicos (liquida) más otros 15 billones de metros cúbicos como hielo. En la atmósfera se hallan unos 12.000 millones de metros cúbicos. Como promedio, el contenido acuoso de ríos y lagos se renueva cada cuatro meses; el de la atmósfera cada diez días; en el mar, el agua tiene un tiempo de residencia de varios miles de años.

La tierra.—Nos referimos al suelo agrícola, formado por lentísimo ataque químico y físico de las rocas magmáticas primitivas que en tiempos fueron la cara externa de la Tierra. Los productos del ataque pudieron quedar *in situ* —suelo primario— o ser arrastrados por las corrientes de agua para sedimentarse en otros lugares —suelo secundario— (15). El suelo es el soporte de la vida vegetal terrestre. Su espesor medio lo han calculado edafólogos y geólogos en unos 20 cm. El suelo se destruye cuando se destina a otros usos —construcción, carreteras, etc.— y también por *erosión*. Los meteoros lo erosionan y las aguas se llevan al mar unos 13.000 millones de toneladas/año de materias en suspensión —suelo— más otros 4.000 millones de toneladas de sustancias solubles que son componentes de la fertilidad del suelo. En total: $17 \cdot 10^9$ Tm/año. Supuesta una densidad aparente del suelo destruido de 1,2 Tm/m^3, el volumen del suelo erosionado sería de $1,4 \cdot 10^{10}$ m^3. La superficie total (tabla 1) es de $145 \cdot 10^{12}$ m^2 y dividiendo la última cifra por ésta resulta que la pérdida media anual de suelo es del orden de los 0,01 cm, o sea, 1 cm/siglo.

El cálculo anterior es muy vulnerable, ciertamente, pero da una idea de que si las cosas siguen como van, la reducción del espesor del suelo agrícola dentro de 5-10 siglos podría ser de gravísimas consecuencias.

Como la aceleración del proceso de formación de arcillas no parere viable, no queda sino impedir la erosión por los varios procedimientos que se conocen e intensificar la práctica de cultivos sin suelo, vía hidropónica.

Los elementos fertilizantes.—Los más próximos a la fase crítica podrían ser los tres fundamentales: nitrógeno, potasio y fósforo. La atmósfera y el mar garantizan las disponibilidades de los dos primeros, respectivamente. El problema aparece con el fósforo. El planeta, en su biosfera, tiene una riqueza media en fósforo de 0,1 por 100; en el protoplasma vegetal se concentra a un 0,2 por 100 y en el organismo humano y otros llega al 1 por 100.

El fósforo es componente de los ácidos nucleicos, indispensable,

(15) A. Hoyos y F. González: *Génesis de la arcilla.* Monografía núm. 19. C. S. I. C. Madrid, 1949.

pues, para la vida. La planta lo toma del suelo y hay que suplir el empobrecimiento de éste por abonado con compuestos fosfatados: fosfatos varios de calcio, de amonio, de potasio. Gran parte del fósforo-abono y el resultante de la putrefacción de restos orgánicos pasa a las aguas al lavarse la tierra por las lluvias y el riego, y en definitiva acaba en los océanos, junto con los restos de detergentes que hoy lo incorporan en gran cantidad. En el mar vuelve a concentrarse en los peces y sus restos acaban por formar yacimientos de importancia que sólo los movimientos geológicos ponen en condiciones de accesibilidad para ser explotados en beneficio de la agricultura. La cantidad de fósforo que recibe el mar anualmente se calcula en unos $3{,}5 \cdot 10^6$ Tm, de la que sólo vuelven regularmente unas 100.000 toneladas como guano que depositan las aves marinas.

Existen grandes yacimientos de fosfatos en América, Africa y Asia, de los que podrá suministrarse la industria de fertilizantes por muchos años, pero no indefinidamente. Las reservas mundiales alcanzan los $30 \cdot 10^9$ Tm; el consumo actual es algo superior a las $30 \cdot 10^6$ Tm/año, por lo que la duración, al ritmo de extracción actual, sería sólo de un milenio.

Sin embargo, si se pretende superar la situación alimenticia carencial que hoy padece casi un 25 por 100 de la humanidad, y para ello —y por el crecimiento demográfico previsto— se ha logrado elevar en cuatro veces la producción agrícola mundial para fines del siglo. La duración de las reservas sería sólo de 250 años.

Como no parece que el papel del fósforo en la fertilización vegetal pueda ser asumido por cualquier otro elemento o compuesto, la crisis del fósforo sólo podrá afrontarse con la búsqueda de nuevos yacimientos —probablemente submarinos— y racionalizando cuanto antes el uso de los fertilizantes fosfatados —para aminorar sus pérdidas por el lavado de las tierras abonadas, con la consecuente eutrofia de los cauces— y anular su uso irrecuperable como detergente.

El espacio habitable

Parece ser el factor de mayor limitación. Con los últimos datos disponibles (16, 17) se pueden establecer las siguientes premisas y conclusiones.

---

(16) «Anuario estadístico de las Naciones Unidas».

(17) WILBURG JIMÉNEZ CASTRO: *La población mundial hacia el siglo XXI.* «Revista PHP» del Inst. Int. Incorp. Tokyo. Ed. española, sept. 1983.

Los índices de crecimiento (r, en por 100) y las densidades de población, d (en H/km²) en 1980, de distintas regiones del mundo, son:

Lugares	r	d
Europa	0,4	98
Asia O.	1,3	93
Hispano América	2,5	18
Africa	2,9	15
URSS	0,9	12
América Norte	0,8	11
Oceanía	1,5	3
Promedio	1,8	32,5

Es muy difícil estimar un límite para la población del planeta. De momento se podría tomar como referencia una densidad de población muy próxima en números redondos a la europea (1980), es decir, 100 H/km² como promedio para todo el planeta. Partiendo de una superficie habitable de $136 \cdot 10^6$ km², la población que cabría en la superficie de la Tierra a razón de 100 H/km² sería de 13.600 millones de habitantes.

El tiempo necesario para llegar a esa población depende de la tasa de crecimiento considerada:

a) Con un crecimiento como el que ahora tienen Hispanomérica y los pueblos del Asia meridional ($r = 2{,}5$ por 100) se conseguiría la citada densidad de población media, en todo el mundo, en 45 años:

$$13.580 = 4.415\ (1 + r)^t$$

$$t = 45 \text{ años}$$

b) Con una tasa de crecimiento de 1,8 por 100, promedio mundial actual:

$$t = 63 \text{ años}$$

c) Con un índice de crecimiento mundial medio del orden del

que tiene hoy la URSS (~ 1 por 100), el mundo estaría, como promedio, tan poblado como hoy lo está Europa en:

$$t = 113 \text{ años}$$

Tomando una densidad de población final mayor de 100 H/km² evidentemente se alarga el momento de la saturación. Pero téngase en cuenta que la inercia de las sociedades al control de la población es muy grande, y dados los actuales índices de crecimiento de gran parte de los países —los de menor nivel de desarrollo, los más inertes— la regresión del crecimiento poblacional resultará muy lenta. Y téngase en cuenta también que los índices de crecimiento de los países menos desarrollados recogen el hecho de que en ellos la esperanza de vida es mucho más baja (18).

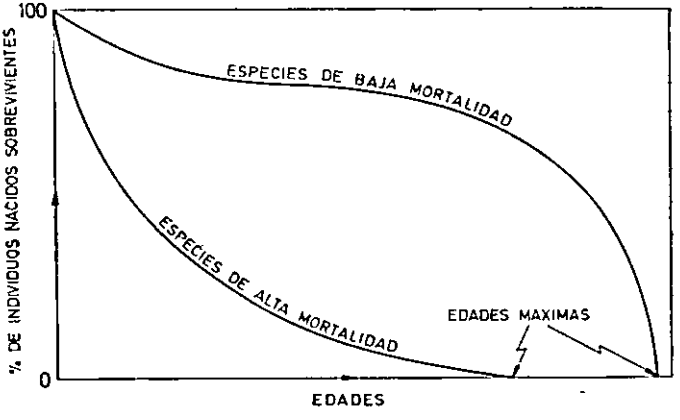


Fig. 4.—Curvas típicas de supervivencia de las poblaciones.

La heterogeneidad que se aprecia entre los distintos países y regiones quizás imponga una ordenación de las emigraciones presumibles y grandes modificaciones sociales al cambiar el perfil de las curvas de población —pirámides de edad— a medida que los bienes del desarrollo alarguen las esperanzas de vida de las poblaciones que aún padecen gran mortalidad infantil.

Hay dos perfiles típicos de curvas de población, como se sabe y

(18) La esperanza de vida en Gambia es 25,0 años (hombres) y 45,0 (mujeres); en Guinea Bissau, 39,4 (hombres) y 42,6 (mujeres). En 1975, la esperanza de vida en los países desarrollados era de 71,4 años, de 50 años en los de desarrollo medio, y de menos de 40 en los de bajo desarrollo. La mortalidad infantil tiene gran peso en estos índices.

refleja en la figura 4. La mayor diferencia está en la mortalidad más o menos prematura. La curva superior («humana») corresponde a los países más desarrollados, en los que la mayor parte de los nacidos llega a alcanzar edades avanzadas y se igualan mucho las de defunción. Si la figura se hace girar 90° a la izquierda, el espacio comprendido entre la curva y los ejec coordenados sería la mitad izquierda de la llamada «pirámide de población». La baja tasa de fallecimientos entre el nacimiento y la muerte, y que ésta se produzca a avanzada edad hace que la «pirámide» tienda a ser un paralelepípedo rematado por una pequeña pirámide de poca altura. No han faltado voces para clamar por el significado de esa distribución, pues resulta que sólo los individuos de la zona central —altura correspondiente a los 20-60 años— serían productivos, mientras los de las zonas 0-20 y 60-80 consumirían a costa del esfuerzo de los otros. Parece, sin embargo, que una vez alcanzado el régimen de continuidad, la población productora lo sería por 40 años (de los 20 a los 60) y aprovecharía el esfuerzo ajeno durante 40 años también; es decir: habría que trabajar en total como $2x$ para consumir x toda la vida. Si la población activa fuera del orden de la mitad de la que está en edad de actividad, el índice de trabajo por persona activa sería de $4x$. Hoy, en España, este índice es ~ 3. Estas posibilidades y más son presumibles dado el gran aumento de la productividad consecuente al desarrollo de la técnica.

La otra curva corresponde a poblaciones en las que la mortandad en los primeros años es muy grande —de ahí el fuerte escarpado descendente inicial—. Esta distribución es la propia de especies que para sobrevivir y llegar a la edad adulta han de ser muy prolíferas. Era el caso del hombre, corregido desde hace poco tiempo por los beneficios de la vida civilizada, que ha creado problemas, ciertamente, pero ha resuelto muchos más. Hasta el punto que ahora, como hemos visto, la cuestión es la supervivencia de la especie, no la del individuo.

Final y resumen

En la globalidad del ecosistema actúan cuatro subsistemas generales: la población humana, los medios técnicos, las organizaciones sociales y el medio natural. El desarrollo de la inteligencia al servicio de la supervivencia dio origen a la Técnica. A medida que la Técnica resuelve los problemas del «primum vivere» el hombre encuentra tiempo para «filosofar» y ocasión para reproducirse con más éxito. Así surgen nuevas expectativas, necesidades y ambiciones que imponen cambios sociales y alumbran nuevos problemas para que la Técnica, la Sociología y la Política construyan un nuevo ciclo.

Desde el primer momento se contó con lo único disponible: la Naturaleza, y de ella se usó sin mayores preocupaciones, como si fuera inacabable, como si la propia homeostasis del subsistema naturaleza pudiera volver al mismo equilibrio cada vez que éste se rompiera por solicitaciones más y más exigentes.

El resultado ha sido que la población humana ha crecido en número y en exigencias, con lo que acaba por resultar un depredador peligroso por excluyente y voraz, hasta el punto de estar amenazado el propio género humano.

Traducido al previsible plan de acciones humanas, esto significa: que deberá ponerse a contribución tanto talento para administrar la Naturaleza como se ha puesto para conquistarla; que, para ello, la Técnica será cada vez más necesaria y su uso atemperado a la evolución de los otros factores; que estos otros factores son las instituciones político-sociales, a cuyo cargo ha de correr el buen orden y justo reparto de los bienes y el control de la población, de modo que se asegure un mínimo de calidad para la vida que la Técnica pueda dar a las gentes: que no se podrá en lo sucesivo eludir la consideración del medio ambiente, pues la elasticidad de su respuesta apenas existe hoy y sólo para acciones poco relevantes.

El hombre, en suma, habrá de esforzarse para no ser «la infección que ha brotado en la superficie de la tierra» (Nietzsche) y habrá de revestirse de la modestia y la austeridad necesarias para sentirse y comportarse como un elemento más de un mundo que no le pertenece en propiedad sino en usufructo limitado. Habrá que hacer buena la célebre sentencia orteguiana que casi nunca se oye completa, por lo que subrayo la segunda parte: «Yo soy yo y mi circunstancia, *y si no la salvo a ella no me salvo yo*». Pongamos entre la circunstancia al medio ambiente, pues es justo hacerlo, y veremos cuan actual resulta el pensamiento del gran filósofo español.