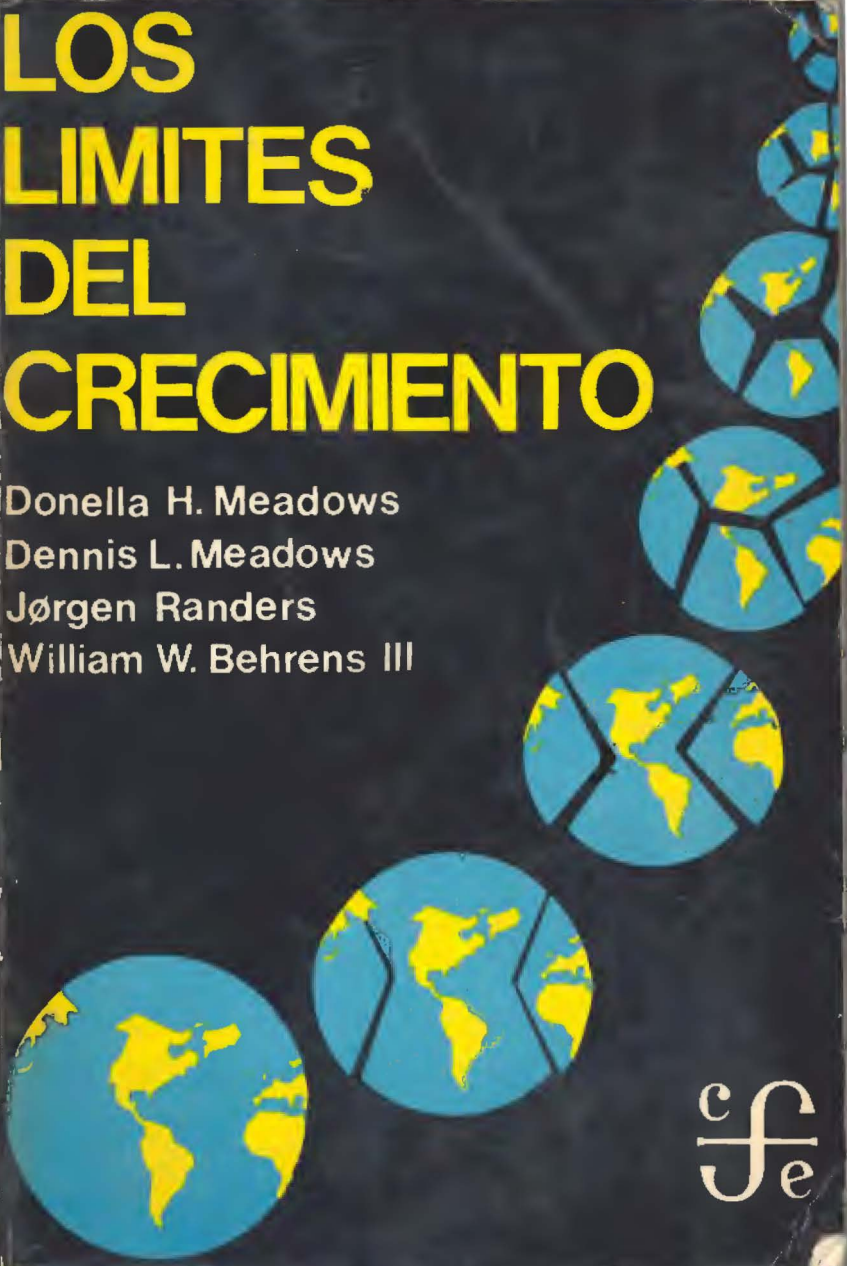
LOS LIMITES DEL CRECIMIENTO

Donella H. Meadows
Dennis L. Meadows
Jørgen Randers
William W. Behrens III



cfe

Los límites del crecimiento

Informe al Club de Roma sobre el Predicamento de la Humanidad

DONELLA H. MEADOWS
DENNIS L. MEADOWS
JØRGEN RANDERS
WILLIAM W. BEHRENS III

Prólogo de VÍCTOR L. URQUIDI

COLECCION
POPULAR

FONDO DE CULTURA ECONÓMICA
MÉXICO

Primera edición en inglés, 1972
Primera edición en español, 1972
Primera reimpresión, 1973

Traducción de
MA. SOLEDAD LOAEZA DE GRAUE

Título original de esta obra
The Limits to Growth
© 1972 Dennis L. Meadows, Nueva York

D. R. © 1972, FONDO DE CULTURA ECONÓMICA
Av. de la Universidad 975, México 12, D.F.

Impreso en México

Al doctor Aurelio Peccei, cuya profunda preocupación por la Humanidad ha sido nuestra inspiración y la de muchos otros para reflexionar en torno a los problemas mundiales de largo plazo.

LISTA DE PARTICIPANTES EN EL EQUIPO DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MASSACHUSETTS

Dr. *Dennis L. Meadows*, Director, Estados Unidos.

Dr. *Alison A. Anderson*, Estados Unidos (contaminación).
Dr. *Jay M. Anderson*, Estados Unidos (contaminación).
Ilyas Bayar, Turquía (agricultura).
William W. Behrens III, Estados Unidos (recursos).
Farhad Hakimzadeh, Irán (población).
Dr. *Steffen Harbordt*, Alemania (tendencias sociopolíticas).
Judith A. Machen, Estados Unidos (administración).
Dr. *Donella H. Meadows*, Estados Unidos (población).
Peter Milling, Alemania (capital).
Nirmala S. Murthy, India (población).
Roger F. Naill, Estados Unidos (recursos).
Jørgen Randers, Noruega (contaminación).
Stephen Shantzis, Estados Unidos (agricultura).
John A. Seeger, Estados Unidos (administración).
Marilyn Williams, Estados Unidos (documentación).
Dr. *Erich K. O. Zahn*, Alemania (agricultura).

Prólogo a la edición en español

ALLENDE EL AÑO 2000

La investigación auspiciada por el Club de Roma —asociación privada compuesta, desinteresadamente, por hombres de empresa, científicos y participantes en la vida pública nacional e internacional— sobre "El Predicamento de la Humanidad" ha originado con la presente obra, *Los límites del crecimiento*, una inmediata controversia. Desde la aparición, en marzo de 1972, de la versión en inglés, *The Limits to Growth*, del profesor Dennis L. Meadows y sus colaboradores del Instituto Tecnológico de Massachusetts, los comentarios, en pro y en contra, se han sucedido en la prensa y las revistas informativas de gran número de países. La traducción de este libro a varias lenguas, junto con la actual versión al español —destinada a América Latina y a España— contribuirá sin duda a extender la discusión a lo largo del mundo y a crear conciencia —no importa cuál sea la base de datos de que se parta y cuál el prejuicio ideológico— del problema central que el estudio plantea: el de la capacidad del planeta en que convivimos para hacer frente, más allá del año 2000 y bien entrado el siglo XXI, a las necesidades y modos de vida de una población mundial siempre creciente, que utiliza a tasa acelerada los recursos naturales disponibles, causa daños con frecuencia irreparables al

medio ambiente y pone en peligro el equilibrio ecológico global —todo ello en aras de la meta del crecimiento económico, que suele identificarse con bienestar.

Contrariamente al tenor de muchos de los comentarios superficiales que se han hecho a esta obra, y al proyecto que la sustenta, no se trata de un pronóstico apocalíptico, ni para el mundo en su conjunto ni para determinadas partes, sean los países subdesarrollados o los altamente capitalizados. Se trata simplemente de un análisis de una serie de elementos, con sus interacciones, que, según sus tasas de incremento y su importancia relativa, pueden determinar o no que la sociedad que estamos legando a nuestros biznietos y a quienes les sigan pueda ser administrada en forma racional, y represente, si no para todos, al menos para la gran mayoría, una condición de vida aceptable en lo material y plena en lo espiritual. Tal como van las cosas, por ahora no parece probable que se produzca ese tipo de sociedad. Las naciones industrializadas, que consumen la mayor parte de los recursos naturales del mundo en beneficio de una pequeña parte de la población, marchan casi ciegamente hacia niveles de consumo material y deterioro físico que a la larga no pueden sostenerse. Y con ello se distancian cada vez más de las naciones de menor desarrollo, en las que viven dos tercios de los habitantes del globo, en que el punto de partida es de grave deterioro ambiental, baja productividad y escasa capacidad para alcanzar niveles medios de bienestar que garanticen normas internacionalmente acordadas de convivencia humana que traducen viejas aspiraciones de los pueblos.

En el seno de las Naciones Unidas, donde han alcanzado expresión estas aspiraciones en numerosos documentos y recomendaciones, la visión del futuro de la Humanidad no tiene gran alcance. En lo político, se carece de meta; los obstáculos a la paz están a la vista, sin que las Naciones Unidas como tal sea una institución capaz de removerlos. En lo económico y social, se opera por "decenios"; en la actualidad corre el Segundo Decenio del Desarrollo, dotado de metas cuantitativas y cualitativas de dudoso cumplimiento. Un número apreciable de investigadores, en diversos países, ha procurado, sin embargo, efectuar enfoques a más largo plazo. El año 2000 es la meta preferida en muchos estudios, tal vez por ser fin de siglo y un número redondo con múltiples propiedades; en Estados Unidos, Francia, Japón, Brasil, Argentina y otros países existen interesantes estudios que proyectan la sociedad presente, sobre todo las variables económicas, a base de extrapolación de tendencias observadas, supuestos y combinaciones de hipótesis y buenas dosis de imaginación. Algunos datos que sirven de partida se toman como firmes, por ejemplo, las proyecciones demográficas; a ellos se añaden consideraciones sobre recursos naturales, tecnología, comercio internacional, distintos "escenarios" político-militares y sociales, etc. Las proyecciones lineales que implican conducen a veces a pronósticos bastante aventurados y otras a simples utopías o, por otro lado, a catástrofes globales o regionales.

El estudio del Club de Roma no pretende metas tan ambiciosas ni es un anuncio del fin del mundo. Es ante todo un instrumento o método en que por medio de la técnica del "análisis dinámico de sistemas" se

interrelacionan cinco géneros de variables: monto y tasa de incremento de la población mundial, disponibilidad y tasa de utilización de los recursos naturales, crecimiento del capital y la producción industriales, producción de alimentos y extensión de la contaminación ambiental. El sistema constituido por estos elementos, que son cuantificables, es susceptible de muy diversas variaciones a través del tiempo, según el monto y la tasa de cambio de cada uno y de los factores que los determinan. Siendo cuantificables por observación, aproximación o hipótesis, estos elementos pueden expresarse en ecuaciones e introducirse en una computadora. Pueden efectuarse tantas "corridas" de computadora como variaciones se desee introducir. Dado que las relaciones entre las variables no son necesariamente de carácter lineal, los resultados obtenidos, derivados de complejas interactuaciones, no son previsibles a simple vista —están reservadas al investigador algunas sorpresas. Es más, los rezagos entre unos elementos y otros, y los efectos rezagados de algunos factores positivos o negativos de retroalimentación, dejan ver que algunos objetivos son inalcanzables a corto plazo o que algunas acciones ejercen efectos desfavorables muchos años después —razones de más para que la imbricada situación del planeta y sus habitantes se estudie desde ahora.

Con arreglo a estas consideraciones, los autores presentan en esta obra los principales resultados de su investigación, y tienen el mérito adicional de hacerlo en lenguaje sencillo, dejando los trabajos técnicos de base para otro volumen. La conclusión a que se llega es que la población y la producción globales no pueden seguir creciendo indefinidamente, porque se ponen

en juego —están ya influyendo— factores que tienden a limitar semejante expansión, entre ellos el agotamiento progresivo de los recursos, el posible aumento de la mortalidad y los efectos negativos de la contaminación ambiental. Hacia mediados del siglo XXI, con diferencias de más o de menos según distintas hipótesis, será necesario haber logrado un equilibrio que permita sostener un nivel dado de población, en condiciones de vida material estables. De otra manera, como lo muestran diversas alternativas presentadas, se corre el peligro de un colapso de consecuencias incalculables, inclusive un descenso brusco de la población. El camino para llegar a un equilibrio mundial no es un proceso automático, ni el mantenimiento de la estabilidad se producirá sin una buena administración de las variables globales. Pero con este estudio se podrá estar al menos más consciente de lo que requerirá hacerse y de las implicaciones de distintas combinaciones de acción o aun de la falta de acción. La metodología seguida permite, además, introducir nuevos cambios en las variables, entre ellas las que se derivan de descubrimientos tecnológicos aún no imaginables o de la aplicación, en diversas condiciones, de conocimientos existentes válidos a nivel científico pero aún no probados en la práctica.

Al examinar los modelos de *Los límites del crecimiento* en el mundo de habla hispana, y en particular en América Latina, surge de inmediato la pregunta: ¿qué significa el modelo global para una región determinada o para un país aislado? El libro no hace sino escasas referencias a este problema, por más que muchos de los aspectos concretos del estudio se refieren a recursos no

renovables cuya disponibilidad varía en distintas regiones, o al hecho de que las tasas de utilización de los mismos y los niveles de producción industrial y contaminación son mucho mayores en los países que han alcanzado ya altos niveles de desarrollo. Por otra parte, bien sabido es que la tasa de incremento de la población del Tercer Mundo es el doble de la de los países industrializados —y en algunas regiones, como en América Latina, del triple. Por lo tanto, las interrelaciones, presentes y futuras, entre población, recursos, producción y contaminación son distintas según la región o país de que se trate y no necesariamente coincidentes con las del mundo como un todo. Aun una región como la latinoamericana no es, por supuesto, homogénea; en ella existen grandes diferencias por países en cuanto a monto y tasa de incremento de la población, disponibilidad de recursos, capacidad de autoabastecerse de productos agrícolas e industriales, y aun de viabilidad económica, social y política.

Constituirá una etapa indispensable de los nuevos análisis que se hagan —y que se inician ya en Europa, la Unión Soviética, Japón y América Latina— "desagregar" los modelos globales. Es evidente, por lo demás, que a los países en vía de desarrollo como la mayoría de los latinoamericanos, o a los de etapa intermedia como algunos otros de América Latina, el sur de Europa y otros, no puede satisfacerles la perspectiva de crecimiento nulo que plantea a la postre, en el siglo XXI, el modelo mundial estabilizado, ya que sus propios niveles de capacidad productiva y consumo material son aún muy bajos e insatisfactorios. Y si los países más adelantados empiezan a volver más lento su crecimiento —en Japón, por ejemplo, se habla abiertamente de ello— y llegan a suspenderlo de aquí a cien años, ¿cuáles serán las consecuencias internacionales de semejante estabilidad, en particular para los países de menor desarrollo cuyo propio crecimiento ha dependido o dependerá aún, a través del comercio exterior, de la expansión económica de los más desarrollados?

En un mundo que tienda a la estabilidad, así sea a cien años de plazo, la perspectiva que ello ofrece a los países y regiones que persiguen la expansión plantea toda clase de interrogantes, en todos los órdenes, en cuanto a la organización y funcionamiento de la sociedad y en cuanto a los fines mismos de la actividad humana. Para algunos países latinoamericanos —por ejemplo, aquellos en que la población se duplicará cada veinte o veintidós años si persisten las actuales tasas de incremento (Brasil, Centroamérica, Colombia, Venezuela, México, la República Dominicana)—, los planteamientos integrales quizá tengan que hacerse más pronto de lo que se piensa en la actualidad. Aun suponiendo en ellos políticas de población que desde ahora tiendan a reducir hacia fines del presente siglo la tasa de natalidad a lo necesario para lograr apenas el reemplazo de las defunciones, la estabilidad de la población en números absolutos difícilmente se lograría, debido a factores estructurales, antes del año 2060. Así que habrá que hacer frente al incremento continuo de la población por 90 años más, y probablemente aún más allá. A esta población se querrá dar crecientes niveles de bienestar material, expresados en consumo de bienes y servicios que a su vez dependerán de inversiones y producción agrícolas e indus-

triales, creciente producción de energía y un vigoroso intercambio internacional de productos. Semejante proceso puede ir acompañado, si no se toman medidas oportunas, de altos grados de contaminación física y deterioro del medio ambiente, así como de degradación de los recursos naturales. Algunos de éstos —minerales no renovables y suelos y bosques— podrán agotarse. Inclusive existe el riesgo de que antes de que los propios países latinoamericanos los agoten para satisfacer necesidades de su propia producción (sobre todo los minerales), los consuman las grandes empresas internacionales que con ellos tienen que alimentar las voraces necesidades de consumo de las sociedades postindustriales. Ello plantea posibles conflictos de orden económico y político.

Es evidente, por todas estas razones y por el hecho, explícitamente reconocido por los autores, de la desigualdad que impera en el planeta, que la transición hacia un mundo en equilibrio no puede hacer a un lado la necesidad de reestructurar las relaciones sociales, internas e internacionales. El Comité Ejecutivo del Club de Roma, en el Comentario al final del libro, habla de una estrategia global para lograrlo. No existen recetas para ello, ni ha sido propósito de este estudio ofrecerlas. Se ha cumplido, sin embargo, una primera etapa —sujeta desde luego a rectificación— que consiste en llamar la atención sobre la magnitud y complejidad de la acción humana en un mundo material finito. No estábamos acostumbrados a pensar en estos términos, por más que en la Historia se haya previsto muchas veces el fin apocalíptico. La ciencia moderna, cuyo desarrollo impredecible y acelerado en los últimos treinta años, para bien y para mal, ha sido extraordinario y ha alentado esperanzas y aun sueños extraplanetarios, permite ya reconocer, en efecto, que sí existen límites. Difícilmente pueden esperarse milagros tecnológicos que a su vez no impliquen mayor uso de recursos o tengan consecuencias graves sobre el medio ambiente. La situación actual del globo, las depredaciones del hombre sobre su medio ambiente por el afán de producir bienes materiales, por el afán de lucro o por incapacidad para establecer la paz duradera, no dan lugar a mucho optimismo. El mensaje que nos deja *Los límites del crecimiento* —y que constituye pieza central del proyecto sobre el Predicamento de la Humanidad que seguirá llevando adelante el Club de Roma— es que todavía nos queda tiempo. No es demasiado tarde, pero pronto lo será si no tomamos conciencia clara de lo que está pasando.

El lector hispanoparlante —en América Latina, España y otras partes— juzgará de la bondad de esta afirmación. No se requiere ser alarmista ni propagandista. Se precisa buena dosis de realismo. Es necesario despertar inquietud. Este género de preocupación debe ser compartido por todos; debemos todos participar en la solución de los problemas por venir de la Humanidad. Por ello, recomiendo al lector no una sino varias lecturas de este libro; que no se precipite a sacar conclusiones en tal o cual sentido al cabo de las primeras treinta o cincuenta páginas. Que lo lea todo, con calma, y medite. Que haga saber, por los distintos medios publicitarios, o directamente a los autores, sus reacciones y sus ideas, a manera de contribuir a que se lleven a cabo estudios más completos y profundos y a que

aumente constantemente el número de personas responsables, a nivel público y privado, que empiecen a actuar con vistas a un futuro más lejano que el que de ordinario rige la acción política, social y económica.

VÍCTOR L. URQUIDI

México, D. F.,
junio de 1972

PRESENTACIÓN

EN AGOSTO de 1970, el Club de Roma, un grupo de ciudadanos de todos los continentes, preocupado por el creciente peligro que representan los muchos problemas interrelacionados que encara la Humanidad, invitó al Grupo sobre Dinámica de Sistemas del Instituto Tecnológico de Massachusetts a emprender el estudio de las tendencias e interacciones de un número limitado de factores que amenazan a la sociedad global. Esta investigación es parte de un proyecto más amplio que el Club de Roma llevará a cabo en los próximos años en torno a "El Predicamento de la Humanidad", como contribución a un mejor entendimiento de las diferentes alternativas futuras que afrontan todos los pueblos y todos los países en este punto decisivo de su historia. El estudio del Instituto Tecnológico de Massachusetts, bajo el generoso patrocinio de la Fundación Volkswagen, tiene por objeto definir los límites y los obstáculos físicos del planeta a la multiplicación de la Humanidad y de la actividad humana —de ahí el título *Los límites del crecimiento —Informe para el proyecto del Club de Roma en torno al predicamento de la Humanidad.*

El informe de este grupo de científicos está concluido y nos complace presentarlo al público y a quienes formulan las políticas a seguir. Sus conclusiones indican que la Humanidad no puede proliferarse a una tasa acelerada y considerar el desarrollo material como su

principal objetivo, sin encontrar obstáculos a este proceso; también señalan que estamos ante la alternativa de buscar nuevos objetivos para tomar nuestro destino en nuestras propias manos o someternos a las consecuencias inevitablemente más crueles del crecimiento irrestricto. El informe proporciona material para quienes se preocupen por el actual desarrollo de los acontecimientos y por los valores que lo sostienen, y además ofrece la oportunidad de refutar sus resultados y afirmaciones a quienes tengan opiniones o información diferentes. Estamos convencidos de que este documento deberá ser objeto de la mayor atención y suscitar interés crítico. Desde luego que antes de establecer una base firme de decisión se hacen necesarias investigaciones y observaciones más detalladas, así como información más sólida. No obstante, aun en esta etapa de la investigación, es obvio que tenemos que introducir algunos cambios básicos en nuestra filosofía de la vida y en nuestro comportamiento.

Para entablar el diálogo describiremos primero las razones que indujeron al Club de Roma a encomendar la preparación de este proyecto inicial.

La condición humana

Durante miles de años el hombre ha luchado por elevarse del nivel de subsistencia. A través de este periodo, la tecnología, a pesar de su crudeza, ha sido su principal agente. El fuego, la rueda, el arado, las prácticas metalúrgicas rudimentarias —estas técnicas y otras— condujeron a la agricultura sedentaria, al establecimiento de las ciudades y al surgimiento de una serie de

industrias artesanales. La Revolución Industrial fue un punto crítico en este desarrollo que indujo la explosión de las actividades, la fealdad y la riqueza que se convirtieron en el umbral del mundo que ahora conocemos en los países llamados industrializados. La ciencia aceleró mucho el proceso al descifrar la naturaleza de la materia y las leyes físicas; abrió paso a toda una gama de industrias mecánicas, químicas y eléctricas fundadas en ella, cuyos productos son ahora de uso común y forman la base de la sociedad materialista de consumo y desperdicio que prevalece en parte del planeta. Mientras tanto, la mayoría de la Humanidad que vive en las demás regiones se ha beneficiado apenas de manera parcial, aun cuando también se ha visto envuelta en el torbellino del cambio.

A la vez, la investigación científica ha registrado avances espectaculares. Los inmensos gastos que se asignan a esta actividad en todos los países industrializados proporcionan un rico depósito, en expansión, de conocimientos, del cual surgen nuevos desarrollos tecnológicos todavía más amplios, cuyas consecuencias para el futuro de la sociedad son enormes, aunque no bien perceptibles. Debemos reconocer el extraordinario éxito de la ciencia y de la tecnología en la producción de una prosperidad y de un crecimiento económicos sin precedentes; han aumentado y enriquecido nuestras existencias de alimentos, han prolongado nuestras vidas y han brindado salud y tiempo ocioso a millones de seres. Ésta parecería ser la Edad de Oro para las generaciones que nos antecedieron.

Pero, con todas sus ventajas, la ciencia y la tecnología también han contribuido de manera determinante

a la complejidad de la situación actual, al extraordinario crecimiento de la población que estamos experimentando, a la contaminación y a otros amargos efectos secundarios de la industrialización. No deseamos volver a la situación de siglos anteriores, cuando el hambre y la enfermedad mantenían el crecimiento de la población bajo control, pero todavía no hemos aprendido a dominar el crecimiento actual. Y como carecemos de una visión clara del futuro que deseamos, no sabemos exactamente hacia dónde orientar la inmensa fuerza que representa la investigación científica y tecnológica —una fuerza que encierra el potencial del progreso o de la destrucción.

Es, pues, en esta etapa, en la que el hombre parece triunfar en su lucha milenaria contra la pobreza, la enfermedad y la esclavitud del trabajo, cuando asoman la desilusión y la duda. Empezamos a percatarnos de que en nuestra sociedad tecnológica cada paso hacia adelante fortalece más al hombre, pero al mismo tiempo lo hace más impotente; cada triunfo del hombre sobre la naturaleza parece también representar un triunfo de ésta sobre él mismo. La ciencia y la tecnología han acarreado la amenaza de la incineración termonuclear tanto como la salud y la prosperidad; el aumento de la población y el movimiento hacia las ciudades han originado nuevos y más humillantes tipos de pobreza, y un escuálido urbanismo, con frecuencia estéril en términos culturales, ruidoso y degradante; la electricidad y la energía motriz han aligerado el peso del trabajo físico, pero también han borrado la satisfacción que ese trabajo produce; el automóvil trae libertad de movimiento, pero también el fetichismo de las máquinas y el veneno en las ciudades. Las consecuencias inconvenientes de la tecnología son demasiado obvias y constituyen una amenaza —que pudiera ser irreversible— a nuestro medio ambiente natural: los individuos están cada vez más enajenados de la sociedad y rechazan la autoridad: la drogadicción, el crimen y la delincuencia van en aumento; la fe decae, no sólo en cuanto a la religión que durante siglos ha sido el sostén de la Humanidad, sino también en cuanto al proceso político y a la eficacia de la reforma social: Todas estas dificultades parecen agudizarse con la creciente prosperidad.

Por ello, aunque se insiste todavía en la conveniencia de aumentar la producción y el consumo, en los países más prósperos crece el sentimiento de que la vida está perdiendo calidad, y se cuestionan los fundamentos mismos de todo el sistema. Al mismo tiempo, la situación en las regiones menos desarrolladas del mundo es aún más inquietante. En éstas son más marcados los contrastes entre las expectativas que despierta la magia de la tecnología moderna y la participación tan reducida que estas poblaciones pueden desgajar del progreso que parece resplandecer en otras partes. Así pues, en el despertar del progreso científico y tecnológico, han aparecido intolerables brechas psicológicas, políticas y económicas que oponen "los que tienen" a "los que no tienen". El agravamiento de este estado de cosas haría inevitables los estallidos políticos.

En esta época de cambio acelerado nos hemos percatado de que el hombre es una criatura que entiende, aunque confusamente, sus orígenes y la capacidad que tiene para disponer de su propio futuro; pero también

hemos visto que carece de un sentido real de orientación. La tecnología ha aumentado y extendido grandemente sus poderes físicos, pero parece haber contribuido muy poco o nada a su razonamiento y sensatez. La evolución orgánica, con los miles de años que exige el surgimiento de nuevas y saludables especies a través de la mutación, ya no puede aplicarse a la situación actual; el hombre ha llegado al punto en el que debe desarrollar una vía enteramente nueva para su evolución cultural.

La problemática mundial: síntomas y enfermedad

En estas condiciones el hombre se enfrenta cada vez con mayor frecuencia a toda una gama de problemas que parecen intratables e inasibles: deterioro del medio ambiente, incontrolable expansión urbana, inseguridad de empleo, enajenación de la juventud, rechazo del sistema de valores de nuestra sociedad por parte de una proporción siempre en aumento de la población, inflación y otras perturbaciones económicas y monetarias —sólo para mencionar algunos de ellos. Estos problemas, al parecer diversos, tienen tres características en común. En primer lugar, tienen dimensiones o efecto de alcance mundial y surgen en todos los países en ciertos niveles de desarrollo, independientemente de los sistemas políticos y sociales vigentes. En segundo lugar, son complejos y sumamente variados puesto que incluyen elementos técnicos, sociales, económicos y políticos. Y tercero y último, interactúan vigorosamente entre sí de una manera que todavía nos resulta incomprensible.

Es este haz de problemas interrelacionados lo que llamamos "la problemática". Las interrelaciones son tan fundamentales y críticas que es imposible aislar de la maraña de la problemática alguno de los grandes problemas para tratarlo por separado. Intentarlo sólo aumenta las dificultades en otra parte, a veces inesperada, de la masa de problemas. Por esa misma razón, ningún país, ni siquiera el más grande, puede intentar resolver sus propios problemas si antes no se resuelven los que amenazan al sistema global. Nuestros métodos habituales de análisis, nuestros enfoques, nuestras políticas y estructuras gubernamentales fracasan cuando se enfrentan a situaciones tan complejas. Ni siquiera sabemos cuál será el futuro o las consecuencias indirectas de nuestras llamadas "soluciones" acostumbradas. *Éste es, pues, el "predicamento de la humanidad": somos capaces de percibir los síntomas individuales del profundo malestar de la sociedad; sin embargo, no podemos entender el significado y la interrelación de sus innumerables componentes o diagnosticar sus causas básicas, y por lo mismo, somos incapaces de planear respuestas adecuadas al caso.*

Son estas consideraciones y la necesidad de buscar nuevas respuestas las que llevaron al Club de Roma a iniciar su proyecto. Nuestro interés lo constituye el futuro de la Humanidad que sabe tanto, que ha tenido tantos logros, pero con tanta insensatez y tan poco sentido de la dirección. Creemos que ha llegado el momento en que ya no podemos evitar enfrentarnos a una situación en la que culminan las consecuencias que se han acumulado rápidamente durante un periodo único de extraordinario y desordenado crecimiento de la

población, de logros tecnológicos y científicos y de grandes realizaciones económicas.

Estamos convencidos de que nuestra actual organización sociopolítica, nuestra perspectiva de corto plazo y nuestro enfoque fragmentado, y sobre todo el sistema de valores prevaleciente, son incapaces de tratar la problemática contemporánea, siempre más compleja y global, o siquiera de comprender su verdadera naturaleza. Es necesario introducir cambios profundos para rectificar la situación mundial antes de que sea demasiado tarde. No obstante, estos cambios no podrán iniciarse en la dirección correcta a menos de que comprendamos en qué forma las nuevas realidades que afrontamos difieren de aquellas que se han planteado al hombre en siglos y milenios, y que conformaron su evolución biológica y psicosocial: de qué manera se han transformado a través de su propia acción; y, en esencia, cómo funcionan verdaderamente las nuevas realidades híbridas, en parte naturales y en parte elaboradas por el hombre mismo, que en la actualidad condicionan la vida del planeta.

El proyecto del Instituto Tecnológico de Massachusetts

El primer paso con que se inicia cualquier empresa científica consiste en reconocer y en tratar de formular con precisión el problema que se intenta abordar. El primer objetivo del enfoque del Club de Roma de la problemática mundial era explorar su naturaleza, dimensiones y dinámica con mayor profundidad. Para hacerlo se buscaron métodos analíticos formales que in-

tegraran de manera racional las muchas variables que hay que examinar para efectuar una evaluación comprensiva de la situación mundial vigente. Al cabo de muchos meses de discusión e investigación se eligió un método específico, el de Dinámica de Sistemas, desarrollado por el profesor Jay W. Forrester en el Instituto Tecnológico de Massachusetts. Originalmente esta técnica tenía por objeto el análisis de problemas industriales, pero ya se había aplicado al estudio de muchos otros sistemas complejos, incluida la decadencia de las ciudades, la medicina interna y diversos problemas sociales.

En vista de nuestras necesidades, el profesor Forrester diseñó un modelo mundial preliminar, incorporando algunas de las relaciones más importantes subyacentes en el complejo de los problemas críticos previamente seleccionados por el Club. Este enfoque apareció como un gran proyecto para simular la interacción de algunas de las principales variables inherentes al sistema que representa la problemática mundial. Con base en esto, la Fundación Volkswagen proporcionó el apoyo financiero que permitió reunir, bajo la dirección del profesor Dennis L. Meadows, un grupo interdisciplinario de científicos formado por Donella H. Meadows (E.U.), Ilyas Bayar (Turquía), William W. Behrens III (E.U.), Farhad Hakimzadeh (Irán), Peter M. Milling (Alemania), Jørgen Randers (Noruega) y Erich K. O. Zahn (Alemania).

Una de las principales ventajas de la técnica de Dinámica de Sistemas reside en que permite la representación de las relaciones mundiales, gráfica o matemáticamente, en términos accesibles a todos. Su com-

prensión no exige una capacidad matemática refinada para atender sus resultados, utilizarlos o contribuir a ellos. Así pues, demógrafos, economistas, líderes gubernamentales y otras personas interesadas en esta problemática deben ser capaces de evaluar y aplicar fácilmente los resultados a sus propios campos de estudio.

La principal labor de la investigación del MIT consistía en examinar en un contexto mundial las interdependencias e interacciones de cinco factores críticos: el crecimiento de la población, la producción de alimentos, la industrialización, el agotamiento de los recursos naturales y la contaminación. Este trabajo exigía la selección de un cuerpo de hipótesis acerca de las relaciones que existen entre los elementos individuales, con base en nuestros conocimientos del mundo real. Buscamos el consejo de algunos otros expertos con relación a aspectos específicos de la estructura del modelo y con respecto a la validez del insumo de datos. Sin embargo, esto no podía eliminar un cierto grado de subjetividad, que no es en todo caso mayor que la que subyace en los modelos mentales que por lo general orientan las decisiones humanas.

En el transcurso de 1972 estará terminado un informe técnico con referencias y comentarios detallados sobre el insumo de datos y las hipótesis adoptadas, así como las descripciones de las técnicas utilizadas e información acerca de los procesamientos en la computadora. También han sido preparados numerosos subestudios finalmente estructurados en áreas particulares de problemas, que constituyen el tema de estudios especiales.

Al presentar este informe general, que resume la investigación realizada, sus resultados y las conclusiones

y observaciones preliminares que ha sugerido a quienes emprendieron este singular esfuerzo, deseamos expresar públicamente nuestro profundo agradecimiento a Dennis Meadows y a todos sus colegas por su contribución a la comprensión de las nuevas y difíciles situaciones que debemos afrontar colectivamente en este mundo en proceso de cambio. Al fin del libro indicaremos cómo han sido satisfechas las expectativas que alimentábamos cuando pedimos al MIT que llevara a cabo esta investigación, y daremos nuestra interpretación del informe dentro del marco del proyecto general de "El predicamento de la humanidad".

Alexander King *Saburo Okita* *Aurelio Peccei*
Eduard Pestel *Hugo Thiemann* *Carroll Wilson*

Noviembre de 1971.

INTRODUCCIÓN

> No deseo aparecer en exceso dramático, pero a partir de la información de que dispongo como Secretario General, no puedo sino concluir que a los miembros de las Naciones Unidas restan, tal vez, diez años para controlar sus antiguas querellas y lanzarse a una participación global que frene la carrera armamentista, mejore el medio ambiente, limite la explosión demográfica y dé por fin el impulso necesario a los esfuerzos orientados hacia el desarrollo. Si esa participación global no se crea en el próximo decenio, entonces mucho me temo que los problemas que he mencionado habrán alcanzado proporciones tan escalofriantes que seremos incapaces de controlarlos.
>
> U THANT, 1969.

LOS PROBLEMAS que U Thant menciona —la carrera armamentista, el deterioro del medio ambiente, la explosión demográfica y el estancamiento económico— son citados con gran frecuencia como los problemas centrales de largo plazo del hombre moderno. Muchos creen que el desarrollo futuro de la Humanidad, y quizás hasta su misma supervivencia, dependen de la rapidez y efectividad con que el mundo responda a estos problemas. Y no obstante, apenas una fracción muy pequeña de la población mundial está activamente interesada en la comprensión de estos problemas y en la búsqueda de soluciones a los mismos.

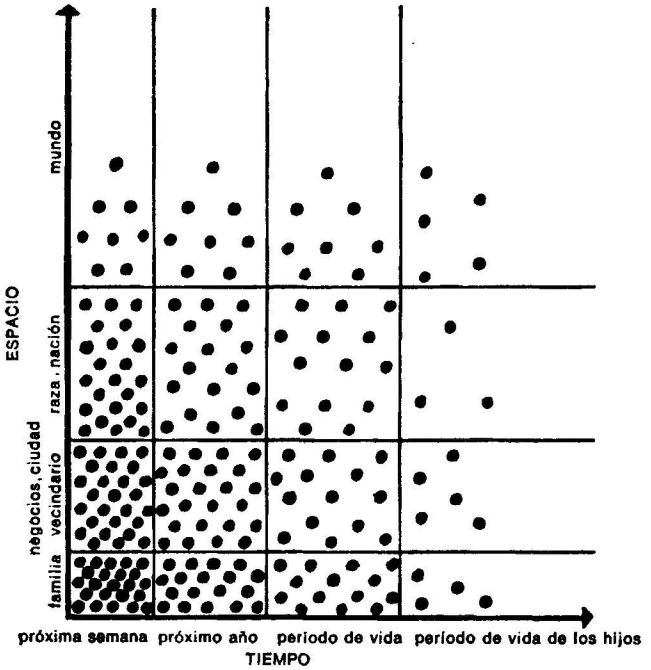
PERSPECTIVAS HUMANAS

Cada uno de los seres humanos se enfrenta a una serie de presiones y de problemas que exigen su atención y acción. Estos problemas le afectan a diferentes niveles. Puede alguien ocupar mucho tiempo tratando de encontrar el sustento diario para sí mismo y su familia. Puede interesarse por poseer poder personal, o por que el país en que vive lo posea. La posibilidad de una guerra mundial puede preocuparlo durante toda su vida, o la de una guerra contra el clan rival del vecindario la semana próxima.

Estos diferentes niveles de interés humano pueden ilustrarse, como lo muestra la gráfica 1. Ésta presenta dos dimensiones: tiempo y espacio. Cualquier preocupación humana puede localizarse en algún punto de la gráfica, dependiendo del espacio geográfico que abarque y de su duración en el tiempo. La mayoría de las preocupaciones humanas se concentra en el ángulo inferior izquierdo de la gráfica. Para estas personas la vida es difícil y deben orientar casi todos sus esfuerzos a su sustento diario y al de sus familias. Otras personas piensan y actúan en torno a problemas más alejados de los ejes tiempo y espacio. Las presiones que perciben no sólo los afectan a ellos en particular, sino a toda la comunidad con la que se identifican. Las acciones que emprenden duran no sólo días, sino semanas o años futuros.

Las perspectivas de tiempo y espacio de una persona

GRÁFICA 1. *Perspectivas humanas*



Aunque las perspectivas de los seres humanos varían en tiempo y en espacio, todo interés humano se localiza en algún punto de la gráfica tiempo-espacio. La mayoría de la población del mundo se preocupa por cuestiones que afectan únicamente a su familia o a sus amigos en un periodo corto de tiempo. Otros ven más allá y en un área más amplia —una ciudad o un país. Muy pocos tienen una perspectiva global que se proyecte a un futuro muy lejano.

dependen de su cultura, de sus experiencias pasadas y de la urgencia de los problemas a que se enfrente en cada nivel. La mayoría de la gente necesita primero haber resuelto con éxito los problemas en un área reducida, para después transferir sus intereses a una más amplia. En general, cuanto más amplio sea el espacio y mayor el tiempo relacionados con el problema, menor será el número de personas efectivamente interesadas en su solución.

La delimitación de nuestra visión a un área muy pequeña puede ser decepcionante y peligrosa. Existen muchos ejemplos de personas que empeñan toda su capacidad en la resolución de un problema local inmediato, para encontrar que sus esfuerzos tienen que rendirse ante la fuerza de los acontecimientos que ocurren en un contexto más amplio. Una guerra internacional puede destruir los campos que con tanta dedicación ha cuidado un agricultor; una política nacional específica puede trastornar los planes de los funcionarios locales; el desarrollo económico de un país puede verse malogrado por la ausencia de demanda mundial de sus productos. De hecho, existe actualmente un interés creciente por la posibilidad de que la mayoría de los objetivos personales y nacionales puedan verse frustrados por tendencias globales de largo plazo, como las mencionadas por U Thant.

¿Son realmente tan amenazantes las implicaciones de estas tendencias globales, que su resolución debiera tener prioridad sobre los intereses locales de corto plazo?

¿Es cierto, como lo sugiere U Thant, que sólo nos queda menos de un decenio para controlar estas tendencias?

Y, si no las controlamos, ¿cuáles podrían ser las consecuencias?

¿Qué métodos debe seguir la humanidad para resolver problemas globales, y cuáles serían los costos y los resultados de la aplicación de cada uno de esos métodos?

Éstas son las cuestiones que tratamos de analizar en la primera fase del Proyecto del Club de Roma en torno al Predicamento de la Humanidad; por lo tanto, nuestro interés se localiza en el ángulo superior derecho de la gráfica tiempo-espacio.

Problemas y modelos

Toda persona enfoca sus problemas, donde quiera que se localicen en la gráfica tiempo-espacio, con la ayuda de modelos. Un modelo es simplemente un cuerpo ordenado de hipótesis acerca de un sistema complejo; es un intento por entender algún aspecto de la infinita variedad de ellos que presenta el mundo, seleccionando, a partir de percepciones y de experiencias pasadas, un cuerpo de observaciones generales aplicables al problema en cuestión. Un agricultor utiliza un modelo mental de su tierra, sus propiedades, las posibilidades del mercado y las condiciones climáticas del pasado para decidir lo que ha de sembrar cada año. Un agrimensor construye un modelo físico —un mapa— para ayudarse en la planeación de un camino. Un economista utiliza modelos matemáticos para entender y predecir el flujo del comercio internacional.

Quienes toman las decisiones a todos los niveles utilizan inconscientemente modelos mentales para elegir

entre diversas políticas que darán forma al mundo futuro. Estos modelos mentales son, por necesidad, muy sencillos si los comparamos con la realidad a partir de la cual han sido abstraídos. El cerebro humano, a pesar de ser tan extraordinario, únicamente puede registrar un número limitado de las complicadas interacciones simultáneas que determinan la naturaleza del mundo real.

Nosotros también hemos utilizado un modelo. Es un modelo formal, escrito, del mundo.* Constituye un intento preliminar por mejorar los modelos mentales que poseemos sobre problemas globales de largo plazo combinando la abundante información que ya tiene la mente humana y que contienen los registros escritos, con los nuevos instrumentos de procesamiento de la información que ha producido el creciente conocimiento humano —el método científico, el análisis de sistemas y la computadora moderna.

Nuestro modelo mundial fue construido específicamente para analizar cinco grandes tendencias de interés global —la acelerada industrialización, el rápido crecimiento demográfico, la extendida desnutrición, el agotamiento de los recursos no renovables y el deterioro del medio ambiente. Estas tendencias se interrelacionan en muchos sentidos y su desarrollo se mide en decenios y en siglos, más que en meses y años. Con este modelo tratamos de entender las causas que motivan

* El modelo prototipo en que hemos basado nuestro trabajo fue diseñado por el profesor Jay W. Forrester del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT). Su libro *World Dynamics* presenta una descripción de ese modelo (Cambridge, Mass., Wright-Allen Press, 1971.)

estas tendencias, sus interrelaciones y sus implicaciones en los cien años futuros.

El modelo que hemos construido es, como cualquier otro, imperfecto, supersimplificado e inacabado. Somos conscientes de sus limitaciones, pero creemos que es el modelo más útil disponible por el momento para tratar los problemas más lejanos en la gráfica tiempo-espacio. Hasta donde sabemos, es el único modelo que existe cuyo alcance sea realmente global, que tenga un horizonte de tiempo mayor de treinta años y que incluya variables tan importantes como población, producción de alimentos y contaminación ambiental, no como entidades independientes, sino como elementos dinámicos en interacción, tal y como lo son en el mundo real.

Como nuestro modelo es formal o matemático, tiene también dos ventajas importantes sobre los modelos mentales: primero, cualquier hipótesis que formulemos está escrita de manera precisa, así que queda abierta al examen y a la crítica; segundo, una vez que las hipótesis hayan sido examinadas, discutidas y revisadas para que se adapten a nuestro mejor conocimiento actual, sus implicaciones para el comportamiento del sistema mundial pueden ser detectadas sin error por una computadora, independientemente de lo complicadas que puedan ser.

Consideramos que las ventajas arriba señaladas hacen que este modelo sea único entre todos los modelos matemáticos y mentales de los que actualmente disponemos. Pero esto no significa que su forma actual sea del todo satisfactoria. Nos proponemos modificarlo, ampliarlo y mejorarlo conforme vayan mejorando gra-

dualmente nuestro propio conocimiento y la base de datos mundiales de la que partimos.

A pesar del estado preliminar de nuestro trabajo, creemos que es importante que publiquemos ahora el modelo y nuestros hallazgos. En todas partes del mundo se toman a diario decisiones que afectarán en los próximos decenios las condiciones físicas, económicas y sociales del sistema mundial. Estas decisiones no pueden esperar la aparición de modelos perfectos ni la comprensión total. En todo caso se tomarán con base en algún modelo, mental o escrito. Pensamos que el modelo que aquí hemos descrito ya está tan desarrollado como para ser de gran utilidad para quienes tomen las decisiones. Más aún, los modos de comportamiento básico que hemos observado a través de este modelo se muestran tan fundamentales y generales que no creemos que nuestras conclusiones se vean sustancialmente alteradas por futuras revisiones.

El propósito de este libro no es proporcionar una descripción completa y específica de todos los datos y ecuaciones matemáticas incluidas en el modelo mundial. Tal descripción se encuentra en el informe técnico final de nuestro proyecto. En *Los límites del crecimiento* nosotros más bien resumimos los principales rasgos del modelo y nuestros hallazgos de manera breve y no técnica. Deseamos hacer hincapié no tanto en las ecuaciones o los complicados detalles del modelo, sino más bien en lo que ese modelo nos dice del mundo. Hemos recurrido a una computadora para facilitar nuestra propia comprensión de las causas y las consecuencias de las aceleradas tendencias que caracterizan al mundo moderno, pero desde luego que

no es necesaria la familiaridad con las computadoras para entender o discutir nuestras conclusiones. Las implicaciones de esas tendencias provocan problemas que rebasan los alcances de un documento puramente científico; problemas que deben ser debatidos por una comunidad más amplia que la de los científicos. Nuestro propósito es iniciar ese debate.

Hasta ahora hemos derivado de nuestro trabajo las conclusiones que a continuación se expresan. No somos de ninguna manera el primer grupo que las haya formulado. En los decenios recientes quienes han considerado el mundo desde una perspectiva global de largo plazo han llegado a conclusiones similares. No obstante, la gran mayoría de los responsables de las decisiones políticas parecen perseguir activamente objetivos que no son congruentes con estos resultados. Nuestras conclusiones son:

1) Si se mantienen las tendencias actuales de crecimiento de la población mundial, industrialización, contaminación ambiental, producción de alimentos y agotamiento de los recursos, este planeta alcanzará los límites de su crecimiento en el curso de los próximos cien años. El resultado más probable sería un súbito e incontrolable descenso tanto de la población como de la capacidad industrial.

2) Es posible alterar estas tendencias de crecimiento y establecer una condición de estabilidad ecológica y económica que pueda mantenerse durante largo tiempo. El estado de equilibrio global puede diseñarse de manera que cada ser humano pueda satisfacer sus necesidades materiales básicas y gozar de igualdad de oportunidades para desarrollar su potencial particular.

3) Si los seres humanos deciden empeñar sus esfuerzos en el logro del segundo resultado en vez del primero, cuanto más pronto empiecen a trabajar en ese sentido, mayores serán las probabilidades de éxito.

Estas conclusiones son tan amplias y provocan tantas interrogantes para estudio porterior que nos sentimos francamente abrumados por la magnitud del trabajo que representa. Esperamos que este libro sea útil para quienes, en muchas áreas de estudio y en muchos países del mundo, deseen elevar los horizontes de tiempo y espacio de sus intereses, y que se unan a nosotros en la comprensión y preparación para un gran periodo de transición —la transición del crecimiento al equilibrio global.

I. NATURALEZA DEL CRECIMIENTO EXPONENCIAL

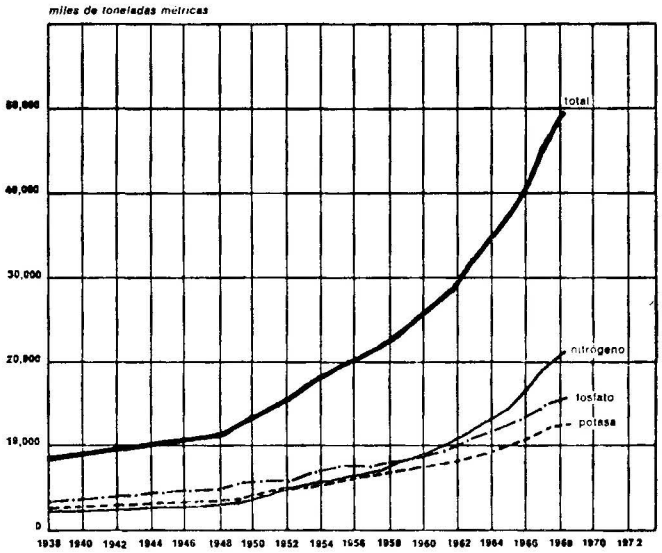
> Actualmente la gente piensa que cinco hijos no son muchos, y cada hijo a su vez tiene cinco hijos, y antes de morir el abuelo ya tiene veinticinco descendientes [adicionales]. Por eso la gente es más y la riqueza es menos; trabajan mucho y reciben poco.
>
> HAN FEI-TZU, ca. 500 a. c.

Los cinco elementos básicos que hemos señalado aquí para este estudio —población, producción de alimentos, contaminación ambiental, industrialización y agotamiento de recursos no renovables— van en aumento. El monto de su crecimiento anual sigue un patrón que los matemáticos llaman crecimiento exponencial o tasa geométrica. Casi todas las actividades más comunes de la humanidad, desde el uso de fertilizantes hasta la expansión de las ciudades, pueden ser representadas con curvas de crecimiento exponencial (gráficas 2 y 3). Como gran parte de este libro trata de las causas e implicaciones de las curvas de crecimiento exponencial, es importante empezar por la comprensión de sus características generales.

LAS MATEMÁTICAS DEL CRECIMIENTO EXPONENCIAL

La mayoría de la gente está acostumbrada a pensar en el crecimiento como un proceso *lineal*. Una cantidad crece linealmente cuando aumenta en un monto constante y en un periodo de tiempo también constante; por ejemplo, cuando un niño crece dos centímetros cada año, está creciendo linealmente. Si cada

GRÁFICA 2. *Consumo mundial de fertilizantes*

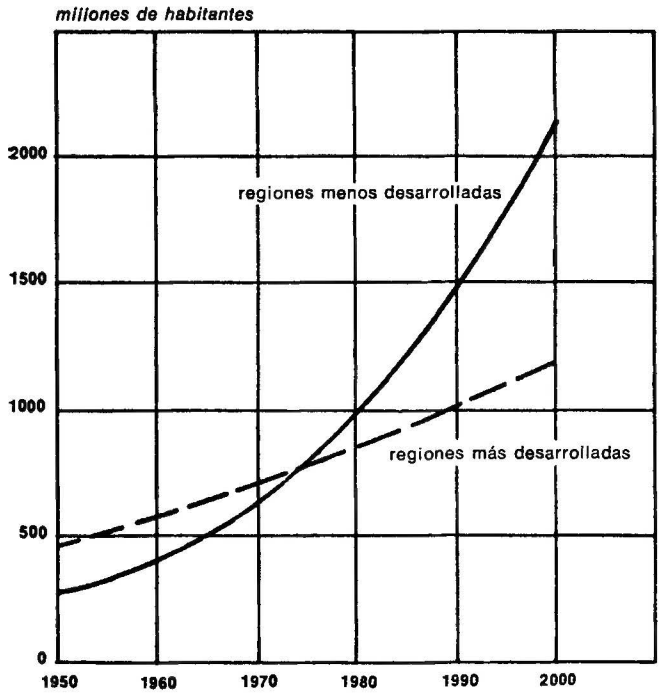


El consumo mundial de fertilizantes crece exponencialmente con un tiempo de duplicación de casi diez años. Actualmente su uso total es cinco veces mayor al de la segunda Guerra Mundial.

Nota: Las cifras no incluyen ni a la Unión Soviética ni a China.

FUENTE: Naciones Unidas, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, *Statistical Yearbook 1955*, *Statistical Yearbook 1960 y Statistical Yearbook 1970*. Nueva York, Naciones Unidas, 1956, 1961 y 1971.

GRÁFICA 3. *Población urbana mundial*



Se espera que la población urbana total aumente exponencialmente en las regiones menos desarrolladas del mundo, y casi linealmente en las más desarrolladas. En la actualidad, en las regiones menos desarrolladas, dicha población se duplica cada 15 años.

FUENTE: Naciones Unidas, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, *The World Population Situation in 1970*, Nueva York, Naciones Unidas, 1971.

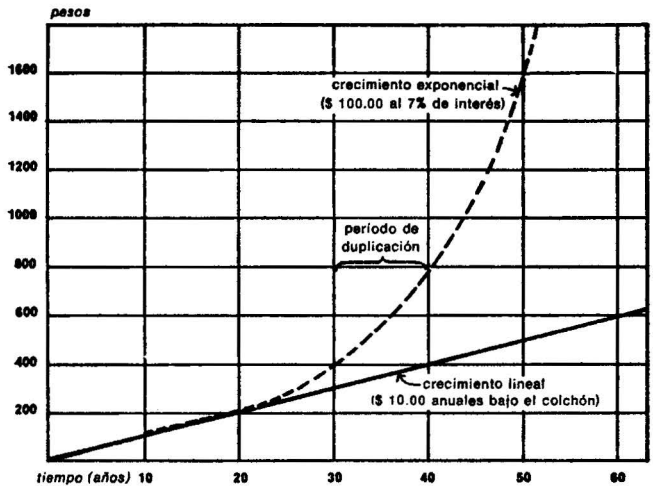
año una persona ahorra diez pesos bajo su colchón su dinero acumulado también está creciendo linealmente. Por supuesto que el monto del aumento anual no se ve afectado ni por la estatura del niño, ni por el monto de dinero que ya estaba bajo el colchón.

Una cantidad acusa crecimiento exponencial cuando aumenta una proporción constante del total, en un periodo de tiempo también constante; es decir, cuando se incrementa "a tasa constante". Una colonia de células en la que cada célula se divide en dos células más cada diez minutos, crece exponencialmente. Es decir, que por cada célula habrá dos células más cada diez minutos, un aumento del 100 %. En los primeros diez minutos habrá cuatro células, luego ocho y luego dieciséis.

Si una persona que guardó $ 100 bajo el colchón los saca y los invierte en valores al 7 % (de manera que el monto total acumulado aumente al 7 % anual), el dinero invertido aumentará con mayor rapidez que el dinero acumulado que se incrementaba linealmente bajo el colchón (gráfica 4). El monto añadido anualmente a una cuenta de banco, o cada diez minutos a la colonia de células, no es constante. Aumenta continuamente, en la medida en que aumente también el monto total acumulado. Ese crecimiento exponencial es un proceso común en el sistema biológico, en el sistema financiero y en muchos otros más que existen en el mundo.

Siendo así de común, el crecimiento exponencial puede producir, no obstante, resultados asombrosos —resultados que han fascinado a la humanidad durante siglos. Existe una antigua leyenda persa que narra

GRÁFICA 4. *Crecimiento del ahorro*



Si cada año una persona guarda diez pesos bajo su colchón, sus ahorros crecerán linealmente, como lo muestra la curva inferior. Si después de diez años invierte sus $ 100 a una tasa de interés del 7 %, esos $ 100 crecerán exponencialmente, con un tiempo de duplicación de diez años.

cómo un hábil cortesano le ofreció a su rey un hermoso tablero de ajedrez a cambio de 1 grano de arroz por el primer cuadro del tablero, 2 por el segundo, 4 por el tercero, y así sucesivamente. El rey aceptó gustoso y ordenó que le trajeran el arroz de sus almacenes. El cuarto cuadro del tablero exigía 8 granos, el décimo 512, el decimoquinto 16 384 y el vigesimoprimero proporcionó más de un millón de granos de arroz al cortesano. En el cuadragésimo cuadro el rey tuvo

que pedir un billón de granos de arroz de sus almacenes. Y así, mucho antes de que el rey hubiera llegado al cuadro número 64 ya había agotado todas sus existencias de arroz. El aumento exponencial es muy engañoso porque genera números muy grandes con gran rapidez.

Una adivinanza infantil francesa ilustra otro aspecto del crecimiento exponencial —la aparente precipitación con que se alcanza un límite prefijado. Supóngase que usted posee un estanque en el que crece un lirio acuático. Cada día la planta duplica su tamaño. Si el lirio pudiera tener un crecimiento incontrolado, en 30 días cubriría el estanque por completo, eliminando cualquiera otra forma de vida que se hubiera desarrollado en el agua. Durante algún tiempo el lirio parece pequeño, por lo que usted decide no podarlo sino hasta que cubra la mitad del estanque. ¿Cuándo será eso? El día número 29, desde luego. Usted sólo tiene un día para salvar su estanque.*

Es útil pensar en el crecimiento exponencial en términos de *periodo de duplicación*, o sea el tiempo en el que una cantidad creciente se duplica. En el caso del lirio descrito anteriormente, el periodo de duplicación es un día. Una suma de dinero depositada en un banco al 7 % de interés se duplicará en 10 años. Existe una relación matemática simple entre la tasa de interés, o tasa de crecimiento, y el tiempo en que se duplica la cantidad. El periodo de duplicación es aproximadamente igual a 70 dividido entre la tasa de crecimiento, como lo ilustra el cuadro 1.

* Agradecemos a Robert Lattes que nos haya procurado esta adivinanza.

CUADRO 1. *Periodo de duplicación*

Tasa de crecimiento (% anual)	*Tiempo de duplicación (años)*
0.1	700
0.5	140
1.0	70
2.0	35
4.0	18
5.0	14
7.0	10
10.0	7

MODELOS Y CRECIMIENTO EXPONENCIAL

El crecimiento exponencial es un fenómeno dinámico, lo que significa que implica elementos que varían con el tiempo. En sistemas muy sencillos, como la cuenta de banco y el lirio del estanque, la causa del crecimiento exponencial y de su futuro desarrollo es relativamente fácil de entender. No obstante, cuando diferentes cantidades crecen simultáneamente en un sistema, y cuando todas ellas se interrelacionan de manera más compleja, el análisis de las causas del crecimiento y del futuro comportamiento del sistema se complica mucho más. ¿Es el crecimiento de la población la causa de la industrialización?, ¿o es la industrialización la causa del crecimiento de la población? ¿Es alguno de ellos la causa única de la creciente contaminación ambiental, o lo son ambos? ¿Una mayor producción de alimentos tendrá como resultado un aumento de la población? Si cualquiera de estos elementos crece más rápida o más lentamente que los demás, ¿cuáles serán sus efectos sobre las tasas de crecimiento de los últimos? Son estas mismas preguntas las que actualmente están siendo debatidas en muchas partes del mundo. Sus respuestas las podemos encontrar a través de una mejor comprensión de todo el complejo sistema que une a todos estos importantes elementos.

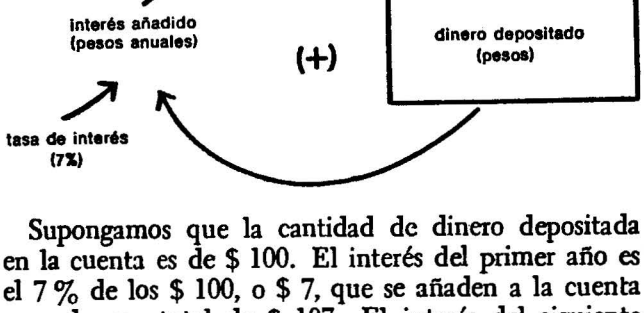
En los últimos treinta años, el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) ha desarrollado un nuevo método para la comprensión del comportamiento dinámico de sistemas complejos. El método se llama Dinámica de Sistemas.* La base del método es el reconocimiento de que la *estructura* de cualquier sistema —las muchas relaciones circulares que se entrelazan, algunas veces con rezagos o demoras entre sus componentes— es con frecuencia tan importante en la determinación de su comportamiento como los mismos componentes individuales. El modelo mundial descrito en este libro es un modelo de Dinámica de Sistemas.

La teoría de la modelación dinámica indica que cualquier cantidad que crezca exponencialmente tiene de alguna manera relación con un *circuito positivo de retroalimentación*; algunas veces se le llama "círculo vicioso". Por ejemplo, la conocida espiral precios-salarios —el aumento de los salarios provoca el aumento de los precios, que a su vez induce demandas de elevación de salarios, y así sucesivamente. En un circui-

* Una descripción detallada del método de análisis denominado Dinámica de Sistemas puede hallarse en los libros de J. W. Forrester, *Industrial Dynamics*, Cambridge, Mass., MIT Press, 1961; y *Principles of Systems*, Cambridge, Mass., Wright Allen Press, 1968.

to positivo de retroalimentación se cierra una cadena de relaciones causa-efecto, de manera que el aumento de cualquiera de esos elementos iniciará una secuencia de cambios que resultará en un aumento todavía mayor del elemento que originalmente sufrió el cambio.

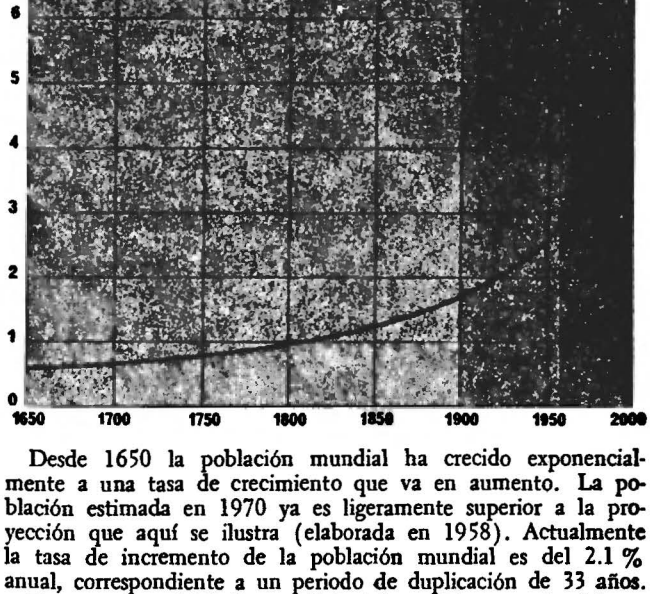
El circuito positivo de retroalimentación que explica el aumento exponencial del monto de dinero depositado en una cuenta bancaria puede representarse de la siguiente manera:



Supongamos que la cantidad de dinero depositada en la cuenta es de $ 100. El interés del primer año es el 7 % de los $ 100, o $ 7, que se añaden a la cuenta para dar un total de $ 107. El interés del siguiente año es el 7 % de $ 107, o $ 7.49, que, sumado, da un nuevo total de $ 114.49. Un año después el interés de esa suma será de más de $ 8. Mientras más dinero haya en la cuenta de banco, más será el dinero añadido anualmente por el interés. Cuanto más dinero sea añadido al año siguiente, más dinero habrá en la cuenta y eso añadirá aún más dinero por concepto de intereses, y así sucesivamente. Siguiendo el circuito, el dinero acumulado en la cuenta crece exponencialmente. La tasa de interés (constante al 7 %) determina el aumento a lo largo del circuito, o la tasa de crecimiento de la cuenta.

Podemos iniciar nuestro análisis dinámico de la situación del mundo a largo plazo precisando los circuitos positivos de retroalimentación que subyacen en el crecimiento exponencial de las cinco cantidades fí-

GRÁFICA 5. *Población mundial*



Desde 1650 la población mundial ha crecido exponencialmente a una tasa de crecimiento que va en aumento. La población estimada en 1970 ya es ligeramente superior a la proyección que aquí se ilustra (elaborada en 1958). Actualmente la tasa de incremento de la población mundial es del 2.1 % anual, correspondiente a un periodo de duplicación de 33 años.

FUENTE: Donald J. Bogue: *Principles of Demography*. Nueva York, John Wiley and Sons, 1969.

sicas que ya hemos mencionado. Las tasas de crecimiento de dos de estos elementos en particular —población e industrialización— son interesantes para nuestro estudio, puesto que el objetivo de muchas políticas de desarrollo es fomentar el crecimiento del segundo en relación con el primero. En principio, los dos circuitos positivos de retroalimentación básicos que explican el crecimiento exponencial industrial y demográfico son sencillos. Describiremos sus estructuras en las páginas siguientes. Las muchas interconexiones que existen entre estos dos circuitos positivos de retroalimentación actúan para amplificar o disminuir la acción de los circuitos, para ligar o desligar las tasas de crecimiento de la industria y de la población. Su interconexión constituye el resto del modelo mundial y su descripción ocupará gran parte de lo que sigue en este libro.

Crecimiento de la población mundial

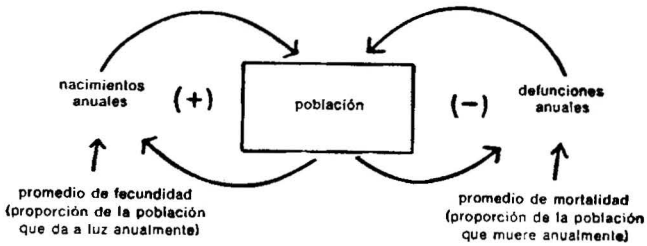
La gráfica 5 muestra la curva de crecimiento exponencial de la población mundial. En 1650 la población era de 500 millones, su tasa de crecimiento era de aproximadamente el 0.3 % anual,[1] y su periodo de duplicación era de cerca de 250 años. En 1970 la población sumaba un total de 3 600 millones y la tasa de crecimiento era del 2.1 % anual,[2] que correspondía a

[1] A. M. Carr-Saunders, *World Population: Past Growth and Present Trends*, Oxford, Clarendon Press, 1936, p. 42. (Existe traducción al español, México, FCE.)

[2] US Agency for International Development, *Population Program Assistance*, Washington, D. C., Government Printing Office, 1970, p. 172.

un periodo de duplicación de 33 años. Así pues, la población no sólo ha crecido exponencialmente, sino que la tasa de crecimiento también se ha elevado. Podemos decir que el crecimiento de la población ha sido "super" exponencial, pues la curva de población se eleva con más rapidez que si el crecimiento fuera estrictamente exponencial.

La estructura del circuito de retroalimentación que representa el comportamiento dinámico del crecimiento de la población se presenta de la siguiente manera:



A la izquierda hallamos el circuito positivo de retroalimentación que explica el crecimiento exponencial observado. En una población con un promedio constante de fecundidad, cuanto mayor sea la población más niños nacerán anualmente. Mientras más niños nazcan, mayor será la población al año siguiente. Luego de un lapso que permita a esos niños crecer y ser padres de familia, nacerán todavía más niños que engrosarán todavía más la población. El crecimiento sostenido se mantendrá mientras permanezca constante el promedio de fecundidad. Si, por ejemplo, además de hijos varones, cada mujer tiene un promedio de dos

hijas, y cada una de éstas tiene a su vez dos hijas, la población se duplicará cada generación. La tasa de crecimiento dependerá tanto del promedio de fecundidad como de la extensión del lapso entre las generaciones.

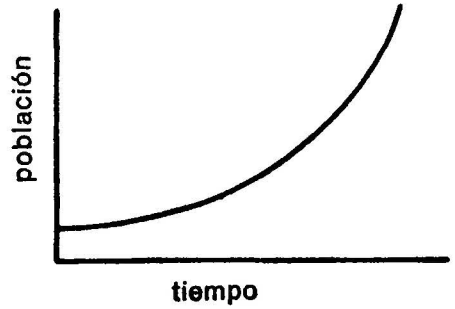
Claro que la fecundidad no es necesariamente constante, y en el capítulo III examinaremos algunos de los factores que hacen que varíe.

El diagrama anterior muestra otro circuito de retroalimentación que también rige el crecimiento de la población. Es un *circuito negativo de retroalimentación*. Mientras que los circuitos positivos de retroalimentación generan un crecimiento galopante, los circuitos negativos tienden a regular el crecimiento y a mantener el sistema estable. Estas curvas se comportan de manera similar a un termostato que controla la temperatura de una habitación. Si la temperatura desciende, el termostato activa el sistema de calefacción que eleva la temperatura. Cuando ésta alcanza su límite, el termostato apaga el sistema de calefacción y la temperatura vuelve a descender. En un circuito negativo de retroalimentación un cambio en uno de los elementos se propaga por el circuito hasta que vuelve a cambiar ese elemento en una dirección *opuesta* al cambio inicial.

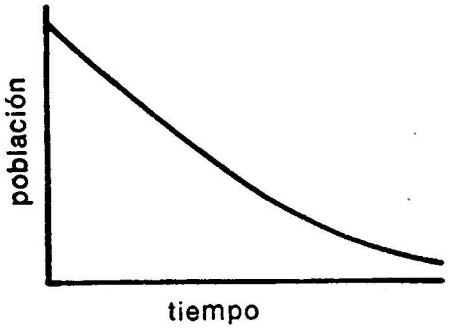
El circuito negativo de retroalimentación que controla la población se basa en el promedio de mortalidad, que refleja el estado general de salud de la población. El número de defunciones anuales es igual al total de la población multiplicado por el promedio de la mortalidad (que podemos considerar como la probabilidad media de muerte a cualquier edad). Un

aumento de la población junto con un promedio de mortalidad constante producirá más defunciones anuales. A mayor número de muertes menor será la población restante y, por lo tanto, al año siguiente habrá menos defunciones. Si un promedio de 5 % de la población muere anualmente, en un año habrá 500 muertes en una población de 10 000 habitantes. Sin considerar por el momento los nacimientos, ello resultaría en 9 500 habitantes al año siguiente. Si el promedio de mortalidad permanece en 5 %, sólo habrá 475 muertes en esta población menor que la anterior, quedando así 9 025 habitantes. Al año siguiente sólo habrá 452 muertes; de nuevo, habrá rezago en este circuito de retroalimentación, porque la tasa de mortalidad es función de la edad promedio de la población. Claro que la mortalidad, aun a una edad dada, tampoco es necesariamente constante.

Si una población no registrara defunciones, su crecimiento sería exponencial, de acuerdo con el circuito positivo de retroalimentación representado por los nacimientos, como lo muestra la siguiente gráfica:



Si no hubiera nacimientos, la población descendería hasta cero por el circuito negativo de retroalimentación representado por las defunciones, así:



Como toda población real registra tanto nacimientos como defunciones, así como fecundidad y mortalidad variables, puede complicarse mucho el comportamiento dinámico de las poblaciones regidas por estos dos circuitos de retroalimentación estrechamente entrelazados.

¿Qué ha provocado el reciente aumento super-exponencial de la población mundial? Antes de la Revolución Industrial, tanto la fecundidad como la mortalidad eran relativamente elevadas e irregulares. Por lo general, la tasa de natalidad excedía sólo ligeramente a la tasa de mortalidad, y la población crecía exponencialmente, pero su tasa de crecimiento era muy lenta e irregular. En 1650 el promedio de vida de la mayoría de la población mundial era de unos 30 años. Desde entonces la Humanidad ha desarrollado muchas prácticas que han tenido profundos efectos sobre el

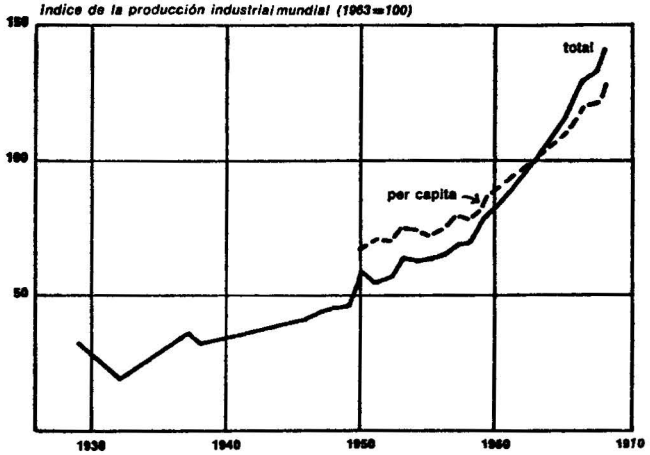
sistema de crecimiento de la población, especialmente con relación a las tasas de mortalidad. Con la expansión de la medicina moderna, las técnicas de salubridad pública y los nuevos métodos de producción y distribución de alimentos, las tasas de mortalidad han descendido en todo el mundo. El promedio mundial de esperanza de vida es de cerca de 53 años;[3] y va en aumento. En promedio mundial, el aumento a lo largo del circuito positivo de retroalimentación (fecundidad) ha disminuido apenas ligeramente, mientras que el aumento a lo largo del circuito negativo de retroalimentación está disminuyendo. El resultado es un creciente predominio del circuito positivo de retroalimentación y la marcada elevación de la población a ritmo exponencial, representada en la gráfica 5.

¿Y con respecto a la población del futuro? ¿Cómo podríamos extender al siglo XXI la curva de población de la gráfica 5? Volveremos sobre este problema en los capítulos III y IV. Por el momento sólo podemos concluir con certeza que en razón de los rezagos que caracterizan a los circuitos de retroalimentación, especialmente el positivo de nacimientos, no existe ninguna posibilidad de que la curva de crecimiento de la población llegue a ese horizonte antes del año 2 000, aun en las hipótesis más optimistas de descenso de la fecundidad. La mayoría de quienes serán padres de familia en el año 2 000 ya nacieron. A menos que la mortalidad registre una señalada elevación, que obviamente la Humanidad se esforzaría por evitar, puede preverse que en 30 años habrá una población mundial

[3] *World Population Data Sheet* 1968, Washington, D. C., Population Reference Bureau, 1968.

de cerca de 7 000 millones. Y si sigue disminuyendo la mortalidad, pero no se logra disminuir la fecundidad con mayor éxito que en el pasado, en 60 años habrá 4 personas por cada una de las que actualmente vive en el mundo.

GRÁFICA 6. *Producción industrial mundial*



La producción industrial mundial, con relación al año base 1963, muestra también un claro aumento exponencial, a pesar de pequeñas fluctuaciones. La tasa media de crecimiento del total de la producción en 1963-1968 es de 7 % anual. La tasa de crecimiento por habitante es de 5 % anual.

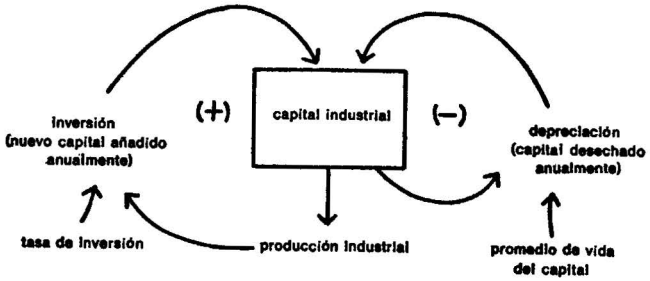
FUENTE: Naciones Unidas, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, *Statistical Yearbook 1956* y *Statistical Yearbook 1969*, Nueva York, Naciones Unidas, 1957 y 1970.

CRECIMIENTO ECONÓMICO MUNDIAL

Un segundo elemento que ha estado creciendo aún con

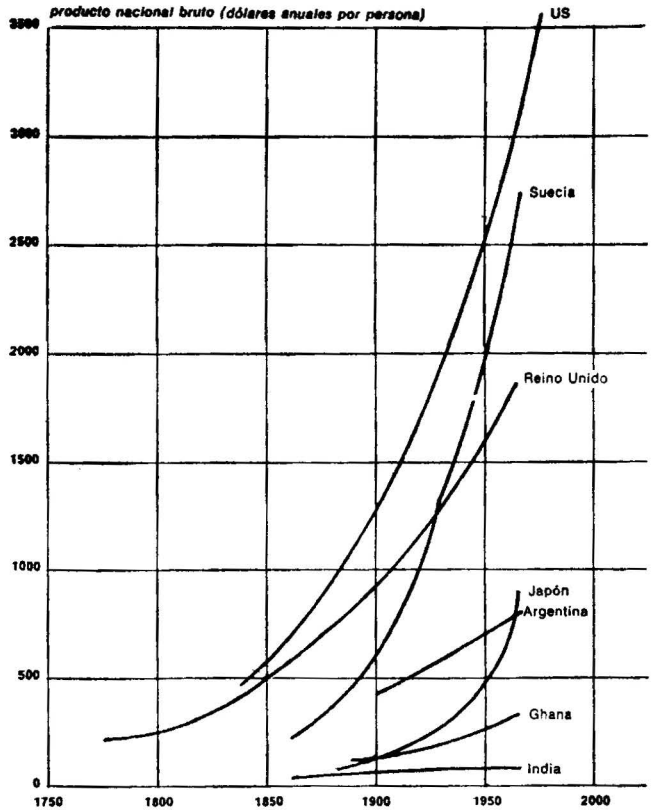
mayor rapidez que la población es el producto industrial. La gráfica 6 muestra la expansión de la producción industrial mundial desde 1930, con la producción de 1963 como punto de referencia. La tasa media de crecimiento de 1963 a 1968 fue de 7 % anual, o, con base en la producción por habitante, de 5 % anual.

¿Cuál es el circuito positivo de retroalimentación que explica el crecimiento exponencial del producto industrial? La estructura dinámica, en el diagrama que sigue, es de hecho muy semejante a la que ya hemos descrito con relación al sistema de población.



Cada año es posible obtener un cierto monto de productos manufacturados con un monto dado de capital industrial (fábricas, camiones, herramientas, maquinaria, etc.). El producto real depende también del trabajo, las materias primas y otros insumos. Por el momento partiremos de la hipótesis de que estos insumos son suficientes, de manera que en la producción el capital es el factor limitante. (El modelo mundial incluye desde luego los demás insumos.) Gran parte del producto anual son bienes de consumo como textiles,

Gráfica 7. *Tasas de crecimiento económico*



El crecimiento económico de cada país en particular indica que las diferencias entre las tasas de crecimiento exponencial están ampliando la brecha económica que existe entre los países ricos y los pobres.

Fuente: Simon Kuznets, *Economic Growth of Nations*, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1971.

automóviles y casas, que abandonan el sistema industrial. Pero alguna fracción de la producción es más capital —telares, plantas de acero, tornos— que pasa a ser una inversión que aumenta el acervo o acumulación de capital. Aquí tenemos otro circuito positivo de retroalimentación. Más capital crea más producto, alguna fracción variable del producto es inversión, y más inversión significa más capital. El nuevo y mayor monto de capital acumulado genera todavía más producto, y así progresivamente. También hay rezagos en este circuito de retroalimentación, puesto que la construcción de una pieza grande de capital industrial, por ejemplo, una planta de energía eléctrica o una refinería, puede tomar varios años.

El acervo de capital no es permanente, sino que se desgasta o envejece y por lo tanto siempre descartamos una parte. Para representar esta situación debemos introducir en el sistema de capital un circuito negativo de capital que explique su depreciación. Cuanto más capital haya, más se desgastará en promedio anual; y cuanto más se desgaste, menos habrá al año siguiente. Este circuito negativo de retroalimentación es exactamente análogo al de la tasa de mortalidad en el sistema de población. Como en este último, el circuito positivo es el que predomina actualmente en el mundo, y el capital industrial acumulado en todo el mundo está creciendo exponencialmente.

Como el producto industrial crece al 7 % anual y la población sólo al 2 % anual, podría parecer que los circuitos positivos de retroalimentación predominantes serían motivo de regocijo. La simple extrapolación de esas tasas de crecimiento sugeriría que el nivel de vida

CUADRO 2. *Tasas de crecimiento económico y demográfico*

País	*Población (1968) (millones)*	*Tasa media anual de crecimiento de la población (1961-68) (% anual)*	*PNB per capita (1968) (dólares)*	*Tasa media anual de crecimiento del PNB per capita (1961-68) (% anual)*
República Popular de China *	730	1.5	90	0.3
India	524	2.5	100	1.0
URSS *	238	1.3	1 100	5.8
Estados Unidos	201	1.4	3 980	3.4
Pakistán	123	2.6	100	3.1
Indonesia	113	2.4	100	0.8
Japón	101	1.0	1 190	9.9
Brasil	88	3.0	250	1.6
Nigeria	63	2.4	70	—0.3
República Federal de Alemania	60	1.0	1 970	3.4

* El Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento hace la salvedad siguiente acerca de sus estimaciones sobre China y la URSS: "Las estimaciones del PNB *per capita* y su tasa de crecimiento tienen amplio margen de error, principalmente por los problemas que representa derivar de un producto material neto el PNB al costo de los factores, y convertir esa estimación en dólares." Las estimaciones de Naciones Unidas concuerdan en general con las del BIRF.

FUENTE: *World Bank Atlas*, Washington, D. C., Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento, 1970.

de los habitantes del mundo se duplicará en los próximos 14 años. Sin embargo, tal conclusión implica con

frecuencia la hipótesis de que el creciente producto industrial se distribuye equitativamente entre todos los habitantes del mundo. Podemos descubrir el error de esta hipótesis si examinamos las tasas de crecimiento económico *per capita* en algunos países (véase la gráfica 7).

Gran parte del crecimiento industrial mundial que muestra la gráfica 6 se está llevando a cabo realmente en los países industrializados, donde la tasa de crecimiento de la población es más bien baja. La ilustración más reveladora de ese hecho es un cuadro muy sencillo que compara las tasas de crecimiento industrial y demográfico de los diez países más poblados del mundo, o sea el 64 % de la población mundial. El cuadro 2 fundamenta el refrán "los ricos tienen más dinero, los pobres tienen más hijos".

Es poco probable que las tasas de crecimiento que enumera el cuadro 2 se mantengan constantes hasta fines de este siglo. En los próximos 30 años muchos factores variarán. El fin de los disturbios civiles en Nigeria, por ejemplo, aumentará en ese país la tasa de crecimiento económico, mientras que el inicio de disturbios civiles y luego de la guerra en Pakistán ya ha interferido en el crecimiento económico de este país. No obstante, hay que reconocer que las tasas de crecimiento que hemos enumerado anteriormente son producto de un complicado sistema social y económico, que es en esencia estable, y que es más probable que cambie lenta y no aceleradamente, salvo en caso de agudas perturbaciones sociales.

El cálculo de los valores extrapolados del Producto Nacional Bruto (PNB) *per capita*, desde este momento

hasta el año 2000, es un problema aritmético muy sencillo con base en la hipótesis de que las tasas de crecimiento demográfico y del PNB se mantendrían más o menos sin variación en estos diez países. El resultado del cálculo aparece en el cuadro 3. Pero seguramente nunca se alcanzarán esas cifras. No son predicción, sino simples indicadores de la orientación general hacia donde nos lleva nuestro sistema tal y como está estructurado actualmente. *Las cifras demuestran que el proceso de crecimiento económico, tal y como se desarrolla actualmente, está ampliando de manera inexorable la brecha absoluta que existe entre los países ricos y los países pobres del mundo.*

CUADRO 3. PNB *extrapolado al año 2000*

País	*PNB per capita (dólares)* *
República Popular de China	100
India	140
URSS	6 330
Estados Unidos	11 000
Pakistán	250
Indonesia	130
Japón	23 200
Brasil	440
Nigeria	60
República Federal Alemana	5 850

* Con base en el dólar de 1968, sin alteración de su poder de compra.

La mayoría de la gente rechaza intuitiva y acertadamente extrapolaciones como las que muestra el cuadro 3, porque los resultados parecen absurdos. Sin embargo, hay que reconocer que al rechazar cifras extrapoladas también se rechaza la hipótesis de que no habrá cambio alguno en el sistema. Si efectivamente no se cumplen en la realidad las extrapolaciones del cuadro 3, será porque ha sido alterado el equilibrio entre los circuitos positivos y negativos de retroalimentación; equilibrio que determina las tasas de crecimiento del capital y la población de cada país. La fecundidad, la mortalidad, la tasa de inversión de capital, la tasa de depreciación del capital —cualquiera de estos factores, o todos, pueden cambiar. Al postular cualquier resultado diferente al que muestra el cuadro 3 hay que especificar cuál factor es susceptible de registrar variación, qué tan amplia y cuándo. Son exactamente estas preguntas las que tratamos de contestar con nuestro modelo, a partir de una base global agregada, más que de una base nacional.

Para especular con algún grado de realismo en torno a las futuras tasas de crecimiento de la población y del capital industrial, antes tenemos que saber algo más sobre los otros factores que interactúan con el sistema población-capital. Empezaremos por formular una serie de preguntas básicas.

¿Podrá el mundo mantener físicamente las tasas de crecimiento de la población y del capital que muestra el cuadro 3? ¿A cuánta gente puede mantener el mundo, a qué nivel de riqueza y durante cuánto tiempo? Antes de responder a estas preguntas examinaremos los sistemas mundiales que proporcionan el sostenimiento físico del crecimiento económico y el demográfico.

II. LOS LÍMITES DEL CRECIMIENTO EXPONENCIAL

> Porque ¿quién de vosotros que quiere construir una torre, no se sienta primero y calcula los gastos, a ver si tiene lo que necesita para acabarla?
>
> SAN LUCAS 14:28

¿QUÉ SERÁ necesario para mantener el crecimiento económico y demográfico hasta el año 2 000, y aun después? La lista de los elementos que ello exige es muy larga, pero a grandes rasgos puede ser dividida en dos categorías principales.

La primera de ellas incluye las necesidades *físicas* que sirven de apoyo a cualquier actividad fisiológica e industrial —alimentos, materias primas, combustibles nucleares y orgánicos y los sistemas ecológicos del planeta que absorben desechos y reincorporan al ciclo industrial sustancias químicas básicas. Estos elementos son en principio objetos tangibles, contables, como la tierra cultivable, el agua, los metales, los bosques y los océanos. En este capítulo evaluaremos las reservas mundiales de estos recursos, puesto que ellos son los que, en última instancia, determinan los límites del crecimiento mundial.

La segunda categoría de elementos consiste en las necesidades *sociales*. Aun cuando los sistemas físicos del planeta son capaces de sostener una población mayor, más desarrollada en términos económicos, el crecimiento real de la economía y de la población dependerán de factores como la paz y la estabilidad social, la educación y el empleo y el desarrollo tecnológico sostenido; y es mucho más difícil evaluar o predecir estos factores. Este libro no puede tratarlos explícitamente, como tampoco puede hacerlo nuestro modelo mundial en su actual grado de desarrollo, salvo en la medida en que nuestra información acerca de la cantidad y distribución de las reservas físicas pueda señalar posibles problemas sociales futuros.

Los alimentos, los recursos naturales y un medio ambiente saludable son condiciones necesarias pero no suficientes del desarrollo. Estos elementos pueden ser abundantes, pero aun así los problemas sociales pueden detener el desarrollo. No obstante, supongamos por el momento que prevalecerán las mejores condiciones sociales. En ese caso ¿cuánto crecimiento podrá sostener el sistema físico? Con la respuesta que obtengamos podremos estimar los límites del crecimiento de la población y del capital, pero no la prueba contundente de que el crecimiento alcanzará realmente esos niveles.

ALIMENTOS

En Zambia, África, de cada mil niños que nacen 260 mueren antes de cumplir un año. En India y Pakistán la proporción es de 140 por cada 1 000; en Colombia es de 82. Muchos más mueren antes de cumplir la edad escolar, otros durante los primeros años escolares.

En los países pobres en donde se expiden certificados de defunción de los niños en edad pre-esco-

lar, por lo general las causas de la muerte se atribuyen al sarampión, la pulmonía, la disentería o a cualquier otra enfermedad. De hecho, lo más probable es que estos niños hayan sido víctimas de la desnutrición.[4]

Nadie sabe con exactitud cuántas personas están subalimentadas, pero existe consenso general en cuanto a que el número es muy grande, tal vez del 50 al 60 % de la población de los países no industrializados,[5] lo cual significa un tercio de la población mundial. Las estimaciones de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) indican que en la mayoría de los países en desarrollo no se satisfacen las necesidades calóricas básicas, y en particular las proteínicas (véase la gráfica 8). Más aún, aunque la producción agrícola mundial va en aumento, la de alimentos *per capita* en los países no industrializados apenas se mantiene constante en el inadecuado nivel en el que se halla (véase la gráfica 9). ¿Significan estas estadísticas más bien desoladoras que ya hemos alcanzado los límites de la producción mundial de alimentos?

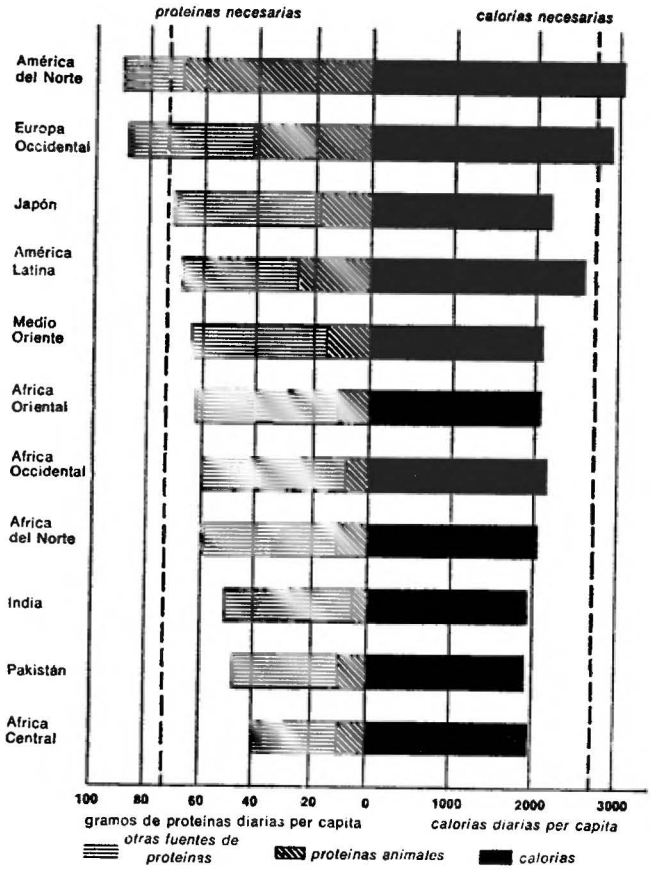
El principal recurso necesario para la producción de alimentos es la tierra. Estudios recientes indican que en el mundo hay, cuando mucho, 3 200 millones de hectáreas de tierra potencialmente cultivable.[6] En la

[4] Lester R. Brown, *Seeds of Change*, Nueva York, Praeger Publishers, 1970, p. 135.

[5] President's Science Advisory Panel on the World Food Supply, *The World Food Problem*, Washington, D. C., Government Printing Office, 1967, 2: 5.

[6] *Ibid.*, 2: 423.

GRÁFICA 8. *Consumo de proteínas y de calorías*



En gran parte del mundo no se satisfacen las necesidades diarias de proteínas y de calorías. Existe desigualdad en la dis-

actualidad se cultiva aproximadamente la mitad más rica y accesible de esa tierra. La otra mitad exigirá inmensos insumos de capital para extenderla, limpiarla, irrigarla y fertilizarla para hacerla productiva. Los costos de la explotación de nuevas tierras se estiman desde 215 a 5 275 dólares por hectárea.[7] Según un informe de la FAO, en términos económicos es imposible dedicar más tierra al cultivo, a pesar de la necesidad apremiante de alimentos que existe actualmente en el mundo:

> En el sur de Asia . . .en algunos países del Lejano Oriente, en el Medio Oriente, en el norte de África y en algunas partes de América Latina y de África . . .casi no hay espacio para extender el área cultivable. . . En las regiones más áridas hasta sería necesario convertir en pastizales permanentes la tierra marginal o submarginal para el cultivo. En gran parte de América Latina y de África al sur del Sahara existen todavía posibilidades considerables para extender el área cultivable; sin embargo, los costos de la explotación son muy elevados y a menudo será más económico intensificar la utilización de las áreas ya cultivadas.[8]

tribución no sólo entre regiones, según se ve aquí, sino también dentro de las mismas regiones. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), las áreas donde la escasez es mayor incluyen "los países andinos, las extensiones semiáridas de África y el Medio Oriente y algunos países densamente poblados de Asia". Las líneas que indican las calorías y las proteínas necesarias son estimaciones para Estados Unidos. Se ha formulado la hipótesis de que si en otras regiones la dieta permitiera a las personas alcanzar su peso corporal potencial, las necesidades serían las mismas en todas partes.

FUENTE: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, *Provisional Indicative World Plan for Agricultural Development*, Roma, FAO, 1970.

[7] *Ibid.*, 2: 460-469.

Si el mundo decidiera pagar los elevados costos de capital que representa explotar toda la tierra cultivable y producir toda la cantidad de alimentos que fuera posible, ¿cuánta gente podría ser alimentada en teoría?

En la gráfica 10 la curva inferior representa la cantidad de tierra necesaria para alimentar a la creciente población mundial, suponiendo que el promedio mundial de 0.4 hectáreas por persona sea suficiente. (Para alimentar a toda la población mundial conforme a los niveles que actualmente prevalecen en Estados Unidos, serían necesarias 0.9 hectáreas por persona.) La curva superior representa la cantidad real de tierra cultivable disponible en el tiempo. Esta línea desciende porque cada persona adicional exige una determinada cantidad de tierra (las 0.08 hectáreas que hemos supuesto)* para la construcción de vivienda, carreteras, depósitos de basura, líneas de transmisión de electricidad y otros usos que "pavimentan" esencialmente la tierra cultivable y la inutilizan para la producción de alimentos. La gráfica no muestra la pérdida de tierra

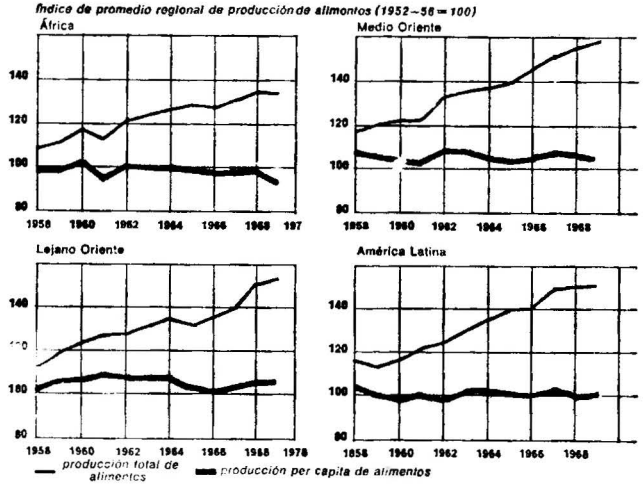
[8] Naciones Unidas, FAO, *Provisional Indicative World Plan for Agricultural Development*, Roma, FAO, 1970, 1: 41. (Hay edición en español.)

* Reconocimientos aéreos de 44 condados del oeste de Estados Unidos, realizados de 1950 a 1960, indican que el terreno construido va de .008 a .174 hectáreas por persona.[9]

[9] Datos de una encuesta del Economic Research Service, presentados por Rodney J. Arkley en *Urbanization of Agricultural Land in California*, mimeografiado, Berkeley, Calif., Universidad de California, 1970.

por la erosión, aunque no por ello debamos desconocerla; en cambio, señala que, aun partiendo de la hipótesis optimista de que se utiliza toda la tierra posible, antes del año 2 000 habrá una grave escasez de tierra si la necesidad *per capita* de este elemento y las tasas de crecimiento de la población siguen siendo las mismas que han sido hasta ahora.

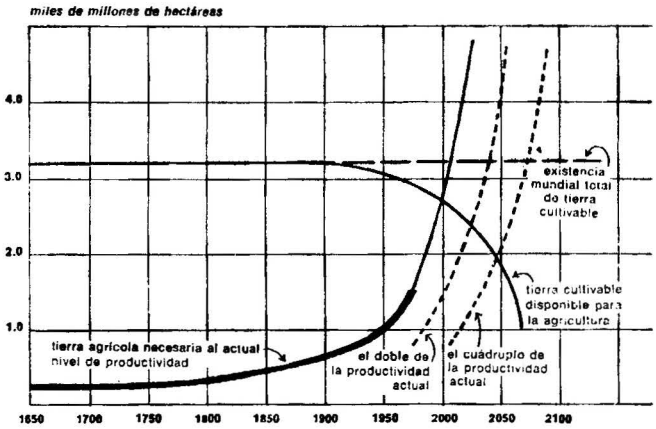
GRÁFICA 9. *Producción de alimentos*



La tasa de crecimiento de la producción total de alimentos en las regiones no industrializadas del mundo es casi la misma que la de la población. Así pues, el bajo nivel de la producción de alimentos *per capita* ha permanecido casi constante.

FUENTE: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, *State of Food and Agriculture 1970*, Roma, FAO, 1970.

GRÁFICA 10. *Tierra cultivable*



El total de tierra cultivable que existe en el mundo es de unas 3 200 millones de hectáreas. La productividad actual exige 0.4 hectáreas de tierra cultivable por persona. De esta manera la curva de la tierra necesaria refleja la curva del crecimiento de la población. La línea fina de la curva después de 1970 muestra la necesidad proyectada de tierra, suponiendo que la población mundial sostenga su actual tasa de crecimiento. La tierra cultivable disponible disminuye porque a medida que la población crece se utiliza con fines urbano-industriales. Las curvas punteadas representan la tierra necesaria en caso de que la productividad actual se duplicara o se cuadruplicara.

La gráfica 10 también ilustra algunos hechos generales muy importantes acerca del crecimiento exponencial en un espacio limitado. Muestra primero cómo en pocos años puede pasarse de una situación de abundancia a otra de escasez. Siempre ha habido un exceso abrumador de tierra potencialmente cultivable, y aho-

ra, en el curso de 30 años (el tiempo de duplicación de la población) puede darse una súbita y grave escasez. Puede que la Humanidad tenga muy poco tiempo para reaccionar ante una crisis resultante del crecimiento exponencial dentro de un espacio finito, como en nuestro ejemplo del propietario del estanque del capítulo 1.

Una segunda enseñanza de la gráfica 10 es que las hipótesis numéricas precisas acerca de los límites carecen de importancia cuando se consideran en contraposición al progreso inexorable del crecimiento exponencial. Por ejemplo, podemos suponer que la tierra cultivable no se ocupa en la construcción de ciudades, de carreteras o de cualquier otro uso no agrícola; en ese caso la cantidad de tierra cultivable permanece constante, tal y como lo representa la línea horizontal discontinua. El punto en el que se cruzan las dos líneas tiene un rezago de sólo diez años. O podemos suponer que es posible duplicar y aun cuadruplicar la productividad de la tierra a través de los avances de la tecnología agrícola y de inversiones de capital como tractores, fertilizantes y sistemas de regadío. Las líneas punteadas representan los efectos de dos hipótesis diferentes en cuanto a un incremento de la productividad. Cada duplicación de la productividad da un margen adicional de casi 30 años, o sea menos que el tiempo de duplicación de una población.

Desde luego que la sociedad no se verá súbitamente sorprendida por el "punto crítico" en el que la cantidad de tierra necesaria sea mayor a la cantidad de tierra disponible. Los síntomas de la crisis empezarán

a manifestarse mucho antes de que se alcance dicho punto. Los precios de los alimentos serán tan altos que algunas personas morirán de hambre; otras se verán forzadas a disminuir la cantidad efectiva de tierra que utilizan y a optar por dietas de menor calidad. Estos síntomas se manifiestan ya en muchas partes del mundo. Aunque actualmente sólo se cultiva la mitad de la tierra que representa la gráfica 10, tal vez de 10 a 20 millones de defunciones anuales puedan atribuirse directa o indirectamente a la desnutrición.[10]

Es evidente que muchas de estas muertes se deben más a las limitaciones sociales del mundo que a sus limitaciones físicas. No obstante, en el sistema de producción de alimentos existe un vínculo muy grande entre estos dos tipos de limitaciones. Si todavía fuera posible hallar con alguna facilidad tierra fértil y cultivarla no habría ningún obstáculo económico para alimentar a quienes padecen hambre, ni tampoco habría que hacer difíciles elecciones de carácter social. Sin embargo, la mejor mitad de la tierra potencialmente cultivable del mundo ya está siendo aprovechada, y el abrir nuevas tierras al cultivo resulta tan costoso que ha sido considerado "antieconómico". Aquí nos enfrentamos a un problema social exacerbado por una limitación física.

Aun cuando la sociedad decidiera pagar los costos necesarios para ganar nuevas tierras, o incrementar la productividad de la tierra ya cultivada, la gráfica 10 muestra con cuánta rapidez el crecimiento de la pobla-

[10] Paul R. Ehrlich y Anne H. Ehrlich, *Population, Resources, Environment*, San Francisco, Calif., W. H. Freeman and Company, 1970, p. 72.

ción provocaría otro "punto crítico". Y cada vez resultará más costoso superar los sucesivos puntos críticos, dado que cada duplicación será más cara que la anterior. Podemos llamar a este fenómeno la ley de los costos crecientes. El mejor ejemplo, y también el más realista, de esa ley se deriva de una evaluación del costo de los beneficios agrícolas hasta ahora conocidos. De 1951 a 1966, para alcanzar un aumento del 34 % en la producción mundial de alimentos los agricultores aumentaron 63 % sus gastos anuales en tractores, 146 % la inversión anual en fertilizantes y 300 % en el uso anual de plaguicidas.[11] El próximo aumento del 34 % exigirá insumos aún mayores de capital y de recursos.

¿Cuántas personas pueden ser alimentadas en el mundo? Desde luego que la respuesta a esta pregunta no es sencilla. Depende de la elección que haga la sociedad entre las diversas alternativas que se le presentan. Existe una relación directa de sacrificio entre la producción de más alimentos y la de otros bienes y servicios que desea la Humanidad. La demanda de estos bienes y servicios aumenta al mismo tiempo que crece la población, y por eso el sacrificio es cada vez más aparente y la elección más difícil de resolver. No obstante, aun cuando la elección constantemente prioritaria fuera la producción de alimentos, el crecimiento continuo de la población y la ley de los costos crecientes podrían llevar el sistema aceleradamente al punto en el que todos los recursos disponibles se de-

[11] *Man's Impact on the Global Environment*, Report of the Study of Critical Environmental Problems, Cambridge, Mass., MIT Press, 1970, p. 118.

CUADRO 4. *Recursos naturales no renovables*

1	2	3	4			5	6	7	8	9	10
Recurso	*Reservas mundiales conocidas*[a]	*Indice estático (años)*[b]	*Tasa de crecimiento proyectada (% anual)*[c] Alta	Media	Baja	*Indice exponencial (años)*[d]	*Indice exponencial calculado quintuplicando las reservas conocidas (años)*[e]	*Países o áreas con las mayores reservas (% del total mundial)*[f]	*Principales productores (% del total mundial)*[g]	*Principales consumidores (% del total mundial)*[h]	*Consumo de Estados Unidos como porciento del mundial*[i]
Aluminio	1.17×10^{8} tons.[j]	100	7.7	6.4	5.1	31	55	Australia (33) Guinea (20) Jamaica (10)	Jamaica (19) Surinam (12)	Estados Unidos (42) URSS (12)	42
Carbón	5×10^{12} tons.	2 300	5.3	4.1	3.0[k]	111	150	Estados Unidos (32) URSS-China (53)	URSS (20) Estados Unidos (24)		22
Cobalto	4.8×10^{8} lbs.	110	2.0	1.5	1.0	60	148	Rep. del Congo (Zayre) (31) Zambia (16)	Rep. del Congo (Zayre) (51)		32
Cobre	308×10^{6} tons.	36	5.8	4.6	3.4	21	48	Estados Unidos (18) Chile (19)	Estados Unidos (20) URSS (15) Zambia (13)	Estados Unidos (33) URSS (13) Japón (11)	33
Cromo	7.75×10^{8} tons.	420	3.3	2.6	2.0	95	154	Rep. de Sudáfrica (75)	URSS (30) Turquía (10)		19
Estaño	4.3×10^{6} tons. largas	17	2.3	1.1	0	15	61	Tailandia (33) Malasia (14)	Malasia (41) Bolivia (16) Tailandia (13)	Estados Unidos (24) Japón (14)	24
Gas natural	1.14×10^{15} pies[3]	38	5.5	4.7	3.9	22	49	Estados Unidos (25) URSS (13)	Estados Unidos (25) URSS (18)		63
Grupo platino[m]	429×10^{6} oz. troy	130	4.5	3.8	3.1	47	85	Rep. de Sudáfrica (47) URSS (47)	URSS (59)		31
Hierro	1×10^{12} tons.	240	2.3	1.8	1.3	93	173	URSS (33) Sudamérica (18) Canadá (14)	URSS (25) Estados Unidos (14)	Estados Unidos (28) URSS (24) Alemania Occ. (7)	28
Manganeso	8×10^{8} tons.	97	3.5	2.9	2.4	46	94	Rep. de Sudáfrica (38) URSS (25)	URSS (34) Brasil (13) Rep. de Sudáfrica (13)		14
Mercurio	3.34×10^{8} frascos	13	3.1	2.6	2.2	11	41	España (30) Italia (21)	España (22) Italia (21) URSS (18)		24
Molibdeno	10.8×10^{9} lbs.	79	5.0	4.5	4.0	34	65	Estados Unidos (58) URSS (20)	Estados Unidos (64) Canadá (14)		40
Níquel	147×10^{8} lbs.	150	4.0	3.4	2.8	53	96	Cuba (25) Nueva Caledonia (22) URSS (14) Canadá (14)	Canadá (42) Nueva Caledonia (28) URSS (16)		38
Oro	353×10^{6} oz. troy	11	4.8	4.1	3.4[l]	9	29	Rep. de Sudáfrica (40)	Rep. de Sudáfrica (77) Canadá (6)		26
Petróleo	455×10^{9} barriles	31	4.9	3.9	2.9	20	50	Arabia Saudita (17) Kuwait (15)	Estados Unidos (23) URSS (16)	Estados Unidos (33) URSS (12) Japón (6)	33
Plata	5.5×10^{9} oz. troy	16	4.0	2.7	1.5	13	42	Países Comunistas (36) Estados Unidos (24)	Canadá (20) México (17) Perú (16)	Estados Unidos (26) Alemania Occ. (11)	26
Plomo	91×10^{6} tons.	26	2.4	2.0	1.7	21	64	Estados Unidos (39)	URSS (13) Australia (13) Canadá (11)	Estados Unidos (25) Alemania Occ. (11) URSS (13)	25
Tungsteno	2.9×10^{9} lbs.	40	2.9	2.5	2.1	28	72	China (73)	China (25) URSS (19) Estados Unidos (14)		22
Zinc	123×10^{6} tons.	23	3.3	2.9	2.5	18	50	Estados Unidos (27) Canadá (20)	Canadá (23) URSS (11) Estados Unidos (8)	Estados Unidos (26) Japón (13) URSS (11)	26

[a] Fuente: U. S. Bureau of Mines, *Mineral Facts and Problems*, 1970, Washington, D. C., Government Printing Office, 1970.

[b] Número de años que durarán las reservas globales conocidas dado el consumo mundial actual. Calculado a partir de la división de las reservas conocidas (columna 2) entre el consumo anual actual. U. S. Bureau of Mines, *Mineral Facts and Problems*, 1970.

[c] Fuente: U. S. Bureau of Mines, *Mineral Facts and Problems*, 1970.

[d] Tiempo de duración de las reservas globales conocidas si el consumo aumenta exponencialmente a la tasa media de crecimiento anual calculado a partir de la fórmula:

$$\text{Indice exponencial} = \frac{l\,n[(r.s) + 1]}{r}$$

donde r = tasa media de crecimiento de la columna 4 y
s = índice estático de la columna 3.

[e] Número de años que durarán las reservas globales conocidas multiplicadas por cinco, supuesto un consumo que registra un aumento exponencial a la tasa media anual de crecimiento; calculado a partir de la fórmula anterior, con 5*s* en lugar de *s*.

[f] Fuente: U. S. Bureau of Mines, *Mineral Facts and Problems*, 1970.

[g] Fuente: Naciones Unidas, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, *Statistical Yearbook* 1969, Nueva York, 1970.

[h] Fuentes: *Yearbook of the American Bureau of Metal Statistics* 1970, York, Pa., Maple Press., 1970. *World Petroleum Report*, Nueva York, Mona Palmer Publishing, 1968. Comisión Económica para Europa, *The World Market of Iron Ore*, Nueva York, Naciones Unidas, 1968. U. S. Bureau of Mines, *Mineral Facts and Problems*, 1970.

[i] Fuente: U. S. Bureau of Mines, *Mineral Facts and Problems*, 1970.

[j] Bauxita expresada en su equivalentte en aluminio.

[k] Previsiones contingentes del U. S. Bureau of Mines, con base en el supuesto de que el carbón se utilizará para sintetizar combustibles líquidos y gaseosos.

[l] Incluye las estimaciones del U. S. Bureau of Mines de la demanda de oro para su atesoramiento.

[m] Los metales del grupo platino son: platino, paladio, iridio, osmio, rodio y rutenio.

Fuentes adicionales: P. T. Flawn, *Mineral Resources*, Skokie, Ill., Rand McNally, 1966. *Metal Statistics*, Somerset, N. J., American Metal Market Company, 1970. U. S. Bureau of Mines, *Commodity Data Summary*, Washington, D. C., Government Printing Office, enero de 1971.

dicaran a la producción de alimentos, sin ninguna otra posibilidad de expansión.

Hasta ahora sólo hemos examinado uno de los límites posibles a la producción de alimentos —la tierra cultivable. Existen otros, pero la extensión de este estudio no nos permite examinarlos detalladamente. El más evidente, segundo en importancia después de la tierra, es la disponibilidad de agua. Existe un límite para el agua que cada año fluye en la superficie de tierra del mundo, y también existe una demanda de esa agua que aumenta exponencialmente. Podríamos dibujar una gráfica análoga a la gráfica 10 para demostrar el acercamiento de la curva creciente de la demanda de agua a su oferta promedio constante. En algunas áreas del mundo se alcanzará ese límite mucho antes de que aparezca el límite de tierra cultivable.

También es posible evitar o extender estos límites a través de los avances tecnológicos que eliminan el tener que depender de la tierra (alimentos sintéticos), o que crean nuevas fuentes de agua (desalinación del agua de mar). Más adelante, en el capítulo IV, examinaremos estas innovaciones. Por el momento nos basta con saber que ninguna nueva tecnología es espontánea o gratuita. Las fábricas y las materias primas que exige la producción de alimentos sintéticos, el equipo y la energía indispensables para la purificación del agua de mar, derivan necesariamente del sistema físico mundial.

El crecimiento exponencial de la *demanda* de alimentos es un resultado directo del circuito positivo de retroalimentación que en este momento está determinando el crecimiento demográfico. La *oferta* de

alimentos que se espera en el futuro depende de la tierra y del agua, y también del capital dedicado a la agricultura, que a su vez depende de otro circuito positivo de retroalimentación predominante en el sistema —el circuito de inversión de capital. El abrir nuevas tierras al cultivo, explotar el mar o ampliar el uso de fertilizantes y de pesticidas exigirá un aumento del acervo de capital dedicado a la producción de alimentos. Los recursos que permiten el crecimiento de esas reservas tienden a no ser recursos renovables, como la tierra y el agua, sino más bien recursos no renovables como los metales y los combustibles. Así, la expansión de la producción de alimentos en el futuro depende en gran parte de la disponibilidad de recursos no renovables. ¿Existen límites a la oferta mundial de estos recursos?

Recursos no renovables

Aun cuando consideráramos factores económicos como el aumento de los precios y la disminución de la disponibilidad de los recursos, actualmente parecería que las cantidades de platino, oro, zinc y plomo no satisfacen la demanda. Si la demanda de plata, estaño y uranio mantiene su actual tasa de expansión, es posible que estos productos escaseen a fines de este siglo aun a precios muy elevados. Para el año 2 050 pueden agotarse muchos otros minerales si se mantiene su actual tasa de consumo.

A pesar de los hallazgos espectaculares que se han hecho recientemente, el número de lugares donde todavía pueden explorarse estos minerales es muy limitado. Los geólogos discrepan en cuanto a las perspectivas de nuevos yacimientos minerales más ricos y más amplios. A largo plazo resultaría una imprudencia confiar en esos descubrimientos.[12]

El cuadro 4 enumera los recursos minerales y combustibles más importantes —materias primas vitales para los principales procesos industriales. En la columna 3 del mismo cuadro se incluye el índice estático de reservas, o el número de años que durarán las reservas hasta ahora conocidas (columna 2) de ese recurso, si se mantiene su tasa *actual* de uso. Este índice estático es la medida que normalmente se utiliza para expresar la futura disponibilidad de recursos. Varias hipótesis sustentan el índice estático; una de ellas es que la tasa de uso permanecerá constante.

Pero en el mismo cuadro la columna 4 muestra que la tasa mundial de uso de cualquier recurso natural está creciendo exponencialmente. En muchos casos esa tasa crece aún con mayor rapidez que la población, lo cual indica que más gente consume más recursos anualmente y también que el consumo promedio por persona crece todos los años. En otras palabras, la curva de crecimiento exponencial del consumo de recursos está siendo impulsada por los circuitos positivos de retroalimentación del crecimiento demográfico y del crecimiento de capital.

En la gráfica 10 hemos visto que un aumento exponencial en el uso de la tierra puede contraponerse rápidamente a la cantidad fija de tierra disponible. Del

[12] *First Annual Report of the Council on Environmental Quality*, Washington, D. C., Government Printing Office, 1970, p. 158.

mismo modo un aumento exponencial en el consumo de recursos puede disminuir con gran rapidez una reserva fija de recursos. La gráfica 11, que es muy similar a la anterior, ilustra el efecto de incrementar exponencialmente el consumo de una cantidad inicial dada de un recurso no renovable. En este caso el ejemplo es el cromo, que hemos elegido porque, de entre todos los recursos enumerados en el cuadro 4, acusa uno de los índices estáticos de reservas más prolongado. Podríamos dibujar una gráfica similar para cada uno de los recursos que aparecen en la lista. Las escalas de tiempo para cada uno de ellos variarían, pero la forma general de las curvas sería la misma.

Las reservas mundiales de cromo son de cerca de 775 millones de toneladas métricas, de las cuales se extraen anualmente 1.85 millones.[13] Así pues, con la tasa actual de uso las reservas durarán unos 420 años. La línea discontinua de la gráfica 11 ilustra el agotamiento lineal de las reservas de cromo, previsible a partir de la hipótesis de que el uso se mantiene constante. No obstante, el consumo real de cromo aumenta a una tasa anual del 2.6 %. Las curvas continuas de la misma gráfica muestran cómo esa tasa de crecimiento, si se mantiene constante, agotará los recursos, no en 420 años como lo indica la hipótesis lineal, sino únicamente en 95 años. Si suponemos que las reservas hasta ahora desconocidas pudieran quintuplicar las que ya conocemos, como lo muestra la línea punteada, ese aumento quíntuple únicamente ampliaría la duración de las reservas de 95 a 154 años. Aun cuando a partir de 1970

[13] US Bureau of Mines, *Mineral Facts and Problems, 1970*, Washington, D. C., Government Printing Office, 1970, p. 247.

fuera posible reciclar el 100 % del cromo (la línea horizontal), y de esa manera poder mantener las reservas iniciales, en 235 años la demanda excedería a la oferta.

La gráfica 11 muestra que si el consumo de recursos registra un crecimiento exponencial, el índice estático de reservas (420 años para el cromo) es una medida más bien equívoca de la disponibilidad de los mismos. Podemos definir un nuevo índice, un "índice exponencial de reservas", que nos proporcione la probable duración de cada recurso suponiendo que se mantenga constante la actual *tasa* de crecimiento del consumo. Este índice aparece en la columna 5 del cuadro 4. También hemos calculado un índice exponencial con base en la hipótesis de que nuevos hallazgos puedan quintuplicar las reservas actuales de cada recurso. Este índice aparece en la columna 6. El efecto del crecimiento exponencial consiste en reducir el periodo probable de disponibilidad del aluminio, por ejemplo, de 100 a 31 años (con un aumento quíntuple de las reservas, el periodo sería de 55 años). El cobre, que tiene una duración de 36 años a la actual tasa de uso, de hecho durará sólo 21 años si mantiene su actual tasa de crecimiento, y 48 si las reservas se quintuplican. Es obvio que las actuales tasas de consumo exponcial reducen en gran medida el tiempo durante el cual el crecimiento económico en gran escala podría basarse en estas materias primas.

Por supuesto que la disponibilidad real de los recursos no renovables en los próximos decenios estará determinada por factores mucho más complicados que los que pueden expresar el simple índice estático de

reservas o el índice exponencial de las mismas. Este problema lo hemos estudiado con un modelo muy detallado que examina las muchas interrelaciones que existen entre factores tales como los grados variables de pureza del metal, los costos de producción, la nueva tecnología minera, la elasticidad de la demanda del consumo y la sustitución de otros recursos.* A continuación ilustramos las conclusiones generales de este modelo.

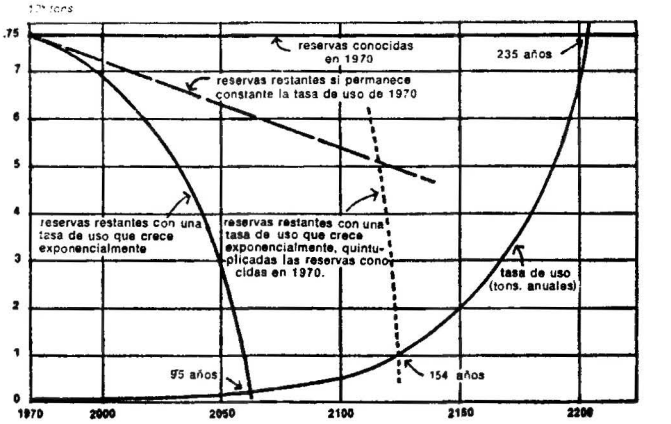
La gráfica 12, realizada por una computadora, indica la futura disponibilidad de un recurso que en 1970 tiene un índice estático de reservas de 400 años, por ejemplo, el cromo. El eje horizontal representa el tiempo en años; el eje vertical indica diversas cantidades, incluidos el monto de las reservas restantes (RESERVAS), el monto utilizado cada año (TASA DE USO), el costo de extracción por unidad (COSTO REAL), el avance de la tecnología de extracción minera y de refinación (representado por T) y la fracción del uso original del recurso que ha sido trasladada a un recurso sucedáneo (F).

En un principio, el consumo anual del cromo crece exponencialmente, y el acervo del recurso se agota rápidamente. El precio del cromo se mantiene bajo y constante porque nuevos desarrollos en la tecnología minera permiten un uso eficiente de grados cada vez menores de pureza del metal. No obstante, la demanda sigue en aumento, de manera que el avance de la tecnología no es lo bastante acelerado como para con-

* Una descripción más completa de este modelo se incluye en los trabajos de William W. Behrens III que se enumeran en el Apéndice.

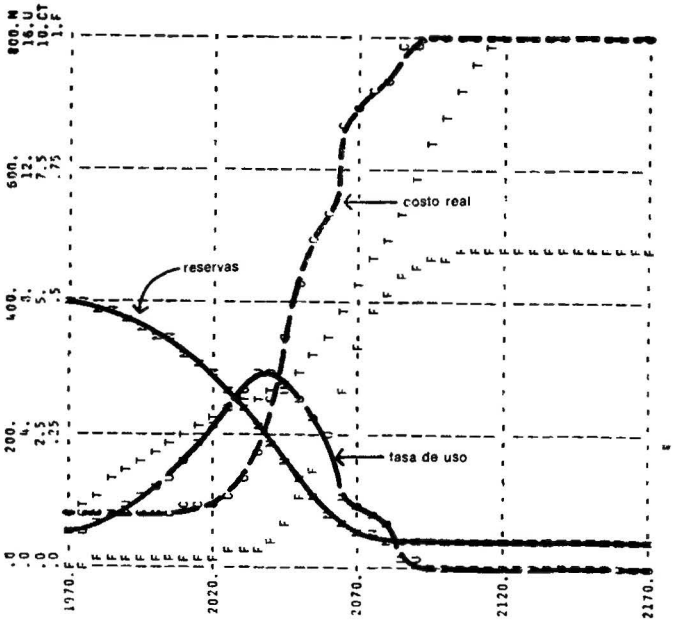
trarrestar los costos de descubrimiento, extracción, procesamiento y distribución. El precio empieza a elevarse, primero con lentitud y después muy rápidamente. Este precio más elevado induce a los consumidores a utilizar el cromo con más eficiencia y a reemplazarlo por otros metales siempre que sea posible. Al cabo de 125 años el cromo restante, cerca del 5 % del

GRÁFICA 11. *Reservas de cromo*



La duración de las reservas conocidas de cromo depende de la futura tasa de uso del cromo. Si el uso permanece constante las reservas se agotarán linealmente (línea discontinua) y durarán 420 años. Si el uso aumenta exponencialmente a su actual tasa de crecimiento del 2.6 % anual, las reservas se agotarán en 95 años. Si las reservas actuales se quintuplican, se dispondrá de cromo durante 154 años (línea punteada), suponiendo que el uso crezca exponencialmente. Aun cuando se pudiera reciclar todo el cromo a partir de 1970, la demanda, que también crece exponencialmente, excederá a la oferta al cabo de 235 años (línea horizontal).

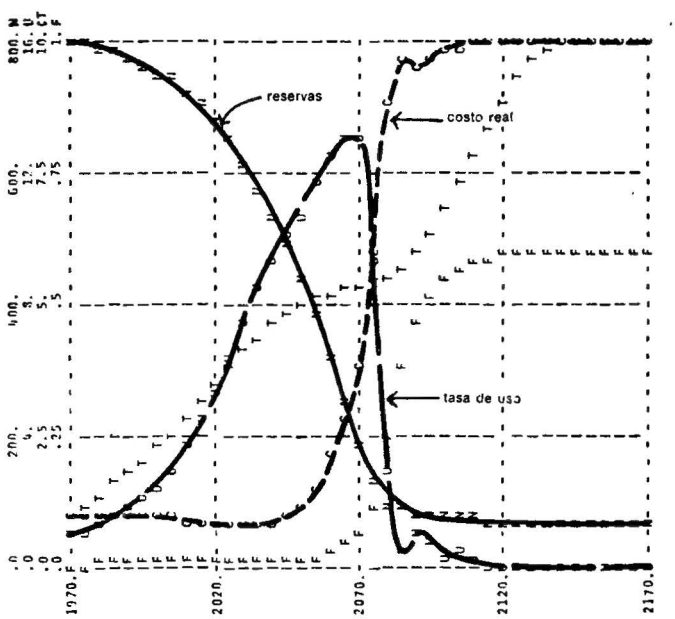
GRÁFICA 12. *Disponibilidad de cromo*



Esta gráfica representa un cálculo de computadora de los factores económicos que intervienen en la disponibilidad de un recurso (cromo) que muestra un índice estático de reservas de 400 años. El crecimiento exponencial del consumo se ve eventualmente frenado por los costos crecientes, en la medida en que se agotan las reservas iniciales, aun cuando la tecnología extractiva y de beneficio también aumenten exponencialmente. La tasa de uso cae hasta cero al cabo de 125 años; en ese punto otro recurso sustituye al cromo en el 60 % de los usos originales.

FUENTE: William W. Behrens III, *The Dynamics of Natural Resource Utilization*, trabajo presentado a la Conferencia sobre Simulación de Computadoras, 1971. Boston, Massachusetts, julio de 1971.

GRÁFICA 13. *Disponibilidad de cromo con el doble de las reservas conocidas*



Si en 1970 un hallazgo duplica las reservas conocidas del recurso (siendo 800 años el índice estático de reservas) el crecimiento exponencial de la tasa de uso se prolonga, y esta última alcanza un valor muy elevado. No obstante, las reservas se agotan muy rápidamente durante el periodo de máxima tasa de uso del metal. Este agotamiento rápido lleva a que el efecto de la duplicación de las reservas no implique una duplicación en la duración del recurso, sino que únicamente la prolongue de 125 a 145 años.

FUENTE: William W. Behrens III, *The Dynamics of Natural Resource Utilization, op. cit.*

acervo inicial, es obtenible sólo a un precio prohibitivo, y la explotación de nuevos yacimientos ha caído prácticamente hasta cero.

Esta hipótesis dinámica, más realista, acerca del uso futuro del cromo sugiere una duración probable de 125 años, periodo considerablemente más reducido que el de la duración calculada a partir de la hipótesis estática (400 años), pero mayor que el de la duración calculada a partir de la hipótesis del crecimiento exponencial constante (95 años). En el modelo dinámico, la tasa de uso ni es constante ni crece continuamente, sino que sigue una curva en forma de campana con una fase de crecimiento y una fase de disminución.

La "corrida" o secuencia de la computadora representada en la gráfica 13 ilustra el efecto de un hallazgo que *duplica* las reservas conocidas de cromo restantes en 1970. El índice estático de reservas para 1970 pasa de 400 a 800 años. Como resultado de este nuevo descubrimiento los costos permanecerán bajos durante algún tiempo, de manera que el crecimiento exponencial puede mantenerse durante más tiempo que en la gráfica 12. El periodo durante el cual el uso de ese recurso es factible en términos económicos aumenta de 125 a 145 años. En otras palabras, una *duplicación* de las reservas aumenta sólo 20 años el periodo real de uso.

La superficie terrestre contiene amplia cantidad de las materias primas que el hombre ha aprendido a explotar y a transformar en cosas útiles. Sin embargo, a pesar de su amplitud estas cantidades no son infinitas. Ahora que hemos visto la precipitación con

que alcanza su límite una cantidad que crece exponencialmente, el siguiente enunciado es una consecuencia lógica: *Dadas las actuales tasas de consumo de los recursos y el aumento proyectado de estas tasas, la gran mayoría de los recursos no renovables hoy importantes tendrán costos extremadamente elevados dentro de 100 años.* Mientras la demanda de recursos siga aumentando exponencialmente, este enunciado será cierto no obstante se formulen las hipótesis más optimistas acerca de reservas por descubrir, avances tecnológicos, sustitución o reciclaje. Los precios de los recursos cuyos índices estáticos son los más bajos han empezado ya a elevarse. Por ejemplo, en los últimos veinte años el precio del mercurio ha aumentado 500 %, y en treinta años el precio del plomo ha aumentado 300 por ciento.[14]

Las conclusiones simples que hemos derivado al considerar el total de las reservas mundiales de recursos se complican ante el hecho de que ni las reservas de recursos ni su consumo están distribuidos en forma pareja alrededor del mundo. Las últimas cuatro columnas del cuadro 4 muestran claramente que los países consumidores industrializados dependen mucho de toda una red de acuerdos internacionales con los países productores para el abastecimiento de las materias primas que su base industrial exige. Además del pro-

[14] Datos sobre el mercurio del US Bureau of Mines, *Minerals Yearbook*, Washington, D. C., Government Printing Office, 1967, 1(2), p. 724 y US Bureau of Mines, *Commodity Data Summary*, Washington, D. C., Government Printing Office, enero de 1971, p. 90. Los datos sobre el plomo fueron tomados de *Metal Statistics*, Somerset, N. J., American Metal Market Company, 1970, p. 215.

blema económico que representa el destino de diversas industrias a medida que el precio de un recurso tras otro se hace cada vez más prohibitivo, está el problema político imponderable de las relaciones entre países productores y países consumidores a medida que los recursos restantes se concentran en áreas geográficas más limitadas. La reciente nacionalización de las minas sudamericanas y las presiones en el Medio Oriente dirigidas hacia la elevación de los precios del petróleo, sugieren que el problema político ha de suscitarse mucho antes que el económico.

¿Existen recursos suficientes para que pueda llevarse a cabo el desarrollo económico de los 7 000 millones de habitantes que se prevé que tendrá el mundo en el año 2 000, a un nivel de vida razonablemente elevado? Una vez más la respuesta a esta pregunta está condicionada. Depende de la manera como las principales sociedades consumidoras de recursos traten algunas de las decisiones más importantes que afrontan. Podrían seguir aumentando el consumo de recursos conforme a la tendencia actual. Podrían aprender a recuperar y reciclar materiales desechados. Podrían desarrollar nuevos diseños para aumentar la durabilidad de productos derivados de recursos escasos. Podrían fomentar patrones económicos y sociales que satisficieran las necesidades de una persona, a la vez que minimizaran, en lugar de maximizar, las sustancias irremplazables que esa persona posea y desgaste.

Todas estas posibilidades implican sacrificios que son particularmente difíciles en este caso porque conllevan la elección entre beneficios presentes y futuros. Para garantizar la disponibilidad futura de recursos adecuados deben adoptarse políticas que disminuyan el uso actual de los recursos. La mayoría de estas políticas opera a través de la elevación de los costos de los recursos. El reciclaje y el mejoramiento del diseño de los productos son costosos, de tal manera que actualmente se consideran "antieconómicos" en la mayor parte del mundo. No obstante, aun cuando estas políticas fueran efectivamente instituidas, mientras los circuitos de retroalimentación que regulan la población y el crecimiento industrial sigan generando más habitantes y una mayor demanda de recursos *per capita*, el sistema se ve empujado a sus límites —el agotamiento de los recursos mundiales no renovables.

¿Qué sucede con los metales y con los combustibles extraídos una vez que han sido utilizados y desechados? En cierto sentido nunca se pierden. Los átomos que los constituyen encuentran un reacomodo y eventualmente se dispersan en una forma diluida e inutilizable en el aire, el suelo y las aguas del planeta. Los sistemas ecológicos naturales pueden absorber muchas de las emanaciones de la actividad humana, volver a procesarlas y convertirlas en sustancias que son útiles, o al menos inofensivas, para otras formas de vida. Sin embargo, cuando se libera alguna emanación en gran escala, los mecanismos naturales de absorción pueden saturarse. Los desechos de la civilización pueden acumularse en el medio ambiente hasta hacerse visibles, estorbosos y aun perjudiciales. El mercurio en los peces, las partículas de plomo en el aire de las ciudades, las montañas de basura de las urbes, las manchas de petróleo en las playas, todo ello es el resultado del flujo creciente de recursos que pasan por las manos

del hombre. Por lo tanto, no debe extrañar que la contaminación sea otra cantidad que crece exponencialmente en el sistema mundial.

La contaminación

> Son muchos quienes concluyen, con base en pruebas objetivas, que el periodo de la vida de la biosfera, en tanto que región habitable para organismos vivos, ha de medirse en decenios más que en cientos de miles de años. Nuestra propia especie es culpable por entero de esta situación.[15]

El interés del hombre por el efecto de sus actividades sobre el medio ambiente es apenas reciente. Todavía más recientes e incompletos son los intentos científicos de medir este efecto. Desde luego que en la actualidad no somos capaces de llegar a una conclusión final acerca de la capacidad del mundo para absorber la contaminación. Sin embargo, en esta parte del libro podemos señalar cuatro puntos básicos que ilustran desde una perspectiva global y dinámica lo difícil que será entender y controlar el estado futuro de nuestros sistemas ecológicos. Estos puntos son:

1) Los pocos tipos de contaminación que realmente han podido ser medidos en el tiempo parecen acusar crecimiento exponencial.

2) Prácticamente desconocemos cuáles sean los límites superiores de las curvas de crecimiento de la contaminación.

[15] G. Evelyn Hutchinson, "The Biosphere", *Scientific American*, septiembre de 1970, p. 53.

3) La presencia de rezagos naturales en los procesos ecológicos aumenta las probabilidades de que se subestimen las medidas necesarias de control, y por lo tanto, de que se alcancen, de manera casi inadvertida, esos límites.

4) Muchos de los elementos contaminadores están distribuidos globalmente y sus efectos perjudiciales aparecen en lugares muy alejados de los puntos donde se generan.

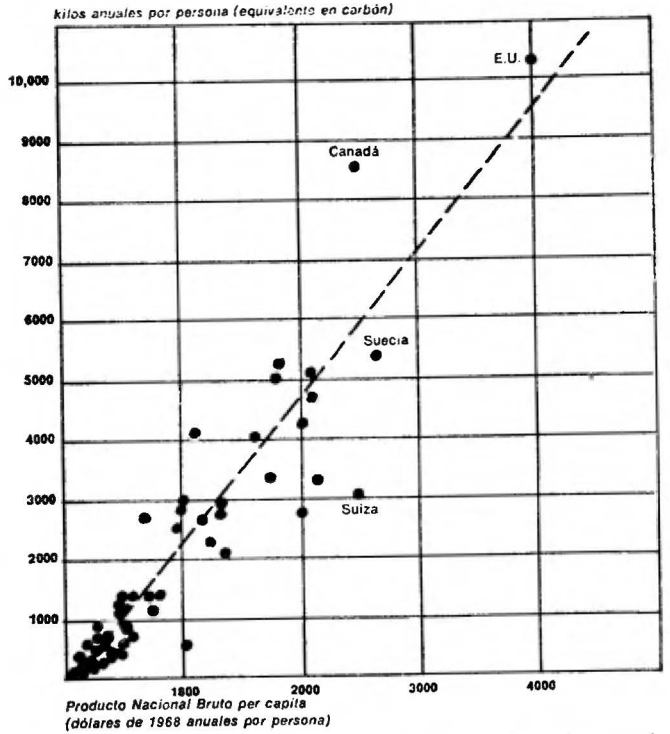
Es imposible ilustrar cada uno de estos puntos para cada tipo de agente contaminante, tanto por las limitaciones de espacio de este libro como por las limitaciones que nos imponen los datos disponibles. Por eso examinaremos cada punto tomando como ejemplos los contaminantes que más han podido ser estudiados hasta ahora, aunque esto no implica necesariamente que los contaminantes mencionados sean los de mayor interés (todos son de algún interés), sino que son los que mejor conocemos.

El crecimiento exponencial de la contaminación

Casi todos los elementos contaminantes que han sido medidos como función del tiempo muestran un crecimiento exponencial. Las tasas de aumento de los diversos ejemplos que se presentan varían mucho, pero la mayoría de ellas son superiores a la de la población. Es claro que algunos contaminantes se relacionan directamente con el crecimiento demográfico (o con la actividad agrícola que también se relaciona con este último).

Otros están vinculados de manera más íntima al

GRÁFICA 14. *Consumo de energía y Producto Nacional Bruto* per capita



Aunque los países consumen cantidades variables de energía *per capita*, el consumo de energía se correlaciona bastante bien con el producto total *per capita* (PNB *per capita*). Generalmente la relación es lineal; la dispersión de los puntos se debe a diferencias de clima, de precios locales de los combustibles y a la incidencia de la industria pesada. [Las fuentes de esta gráfica están en la página siguiente.]

crecimiento de la industria y a los avances tecnológicos. La mayoría de los contaminantes que actúan en el complicado sistema mundial reciben de alguna manera la influencia *tanto* del circuito positivo de retroalimentación de la población *como* del de la industrialización.

Primero examinaremos los contaminantes relacionados con el uso creciente de la energía. El desarrollo económico es de hecho el proceso de utilización de mayor cantidad de energía para incrementar la productividad y la eficiencia del trabajo humano. Uno de los mejores indicadores de la riqueza de la población es el monto de la energía que consume cada persona (véase la gráfica 14). El consumo mundial de energía *per capita* aumenta a una tasa del 1.3 % anual,[16] lo cual significa un aumento total, incluido el crecimiento demográfico, del 3.4 % anual.

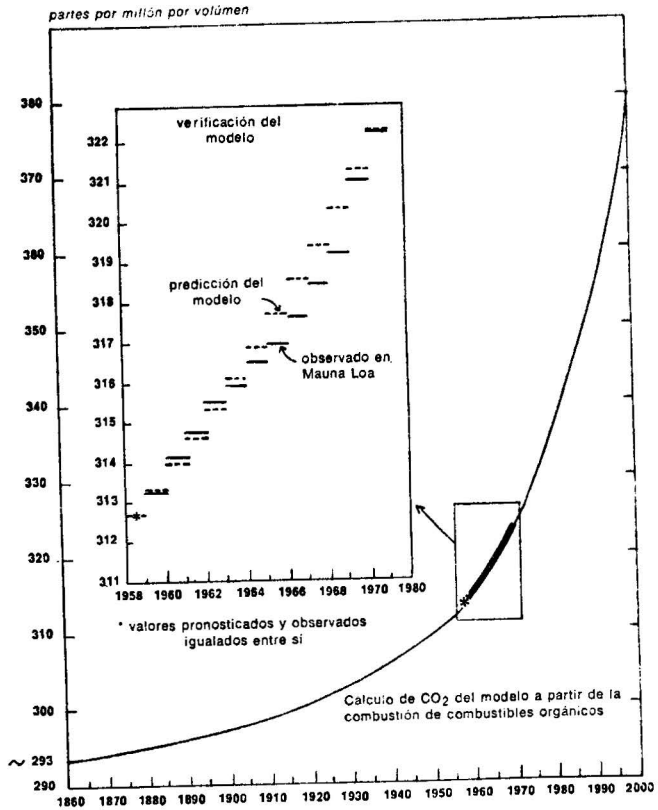
Actualmente, casi el 97 % de la producción industrial de energía proviene de combustibles orgánicos (carbón, petróleo y gas natural)[17] que cuando se queman liberan en la atmósfera, entre otras sustancias, bióxido de carbono (CO_2). Por lo general, la combustión anual de combustibles orgánicos libera cerca de

FUENTES: Los datos sobre el consumo de energía provienen de Naciones Unidas, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, *Statistical Yearbook 1969*, Nueva York, 1970 El PNB *per capita* se tomó del *World Bank Atlas*, Washington, D. C., Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento, 1970.

[16] Chauncey Starr, "Energy and Power", *Scientific American*, septiembre de 1971, p. 42.

[17] Naciones Unidas, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, *Statistical Yearbook 1969*, Nueva York, Naciones Unidas, 1970, p. 40.

GRÁFICA 15. *Concentración de bióxido de carbono en la atmósfera*



La concentración del CO_2 en la atmósfera, observada desde 1968 en Mauna Loa, Hawai, ha aumentado constantemente. En la actualidad, el aumento medio es de 1.5 partes por millón

20 000 millones de toneladas de CO_2.[18] Como lo muestra la gráfica 15, el monto calculado de CO_2 en la atmósfera aumenta exponencialmente, al parecer a una tasa del 0.2 % anual. Se estima que apenas la mitad del CO_2 que libera la utilización de los combustibles orgánicos ha aparecido realmente en la atmósfera —la otra mitad parece haber sido absorbida, principalmente por el agua de la superficie del mar.[19]

Si algún día la energía nuclear sustituyera a los combustibles orgánicos en la satisfacción de las necesidades humanas de energía, el aumento del CO_2 atmosférico llegará a detenerse; esperemos que esto suceda antes de que ejerza efectos ecológicos o climatológicos apreciables.

Sin embargo, el uso de energía tiene otro efecto paralelo, independiente de la fuente del combustible. En virtud de las leyes de la termodinámica, esencialmente toda la energía utilizada por el hombre debe disiparse

(ppm) anualmente. Cálculos que incluyen los intercambios de CO_2 que se registran entre la atmósfera, la biosfera y los océanos, predicen que la concentración de CO_2 alcanzará 380 ppm anuales en el año 2000 —aumento de casi el 30 % de su valor probable en 1860. La creciente utilización de combustibles orgánicos es la fuente de este aumento exponencial del CO_2 en la atmósfera.

FUENTE: Lester Machta, "The Role of the Ocean and Biosphere in the Carbon Dioxide Cycle", trabajo presentado ante el Simposium Nobel 20, "The Changing Chemistry of the Oceans", Göteborg, Suecia, agosto de 1971.

[18] Bert Bolin, "The Carbon Cycle", *Scientific American*, septiembre de 1970, p. 131.

[19] *Inadvertent Climate Modification*, Report of the Study of Man's Impact on Climate, Cambridge, Mass., MIT Press, 1971, p. 234.

en última instancia como calor. Si la fuente de energía no es exclusivamente energía solar incidente (esto es, combustibles orgánicos o energía atómica), ese calor elevará la temperatura de la atmósfera directamente, o bien indirectamente a través de la radiación proveniente del agua utilizada con propósitos de enfriamiento. Localmente el desecho de calor, o "contaminación térmica", en los arroyos provoca un rompimiento del equilibrio de la vida acuática.[20] El desecho atmosférico de calor cerca de las ciudades provoca la formación de "islotes urbanos de calor", dentro de los cuales se registran muchas anomalías meteorológicas.[21] Si la contaminación térmica llega a constituir una fracción importante de la energía solar normalmente absorbida por la tierra y proveniente del sol, puede tener efectos graves sobre el clima a escala mundial.[22] En la gráfica 16, el nivel de la contaminación térmica proyectado para una gran ciudad está representado como una fracción de la energía solar incidente.

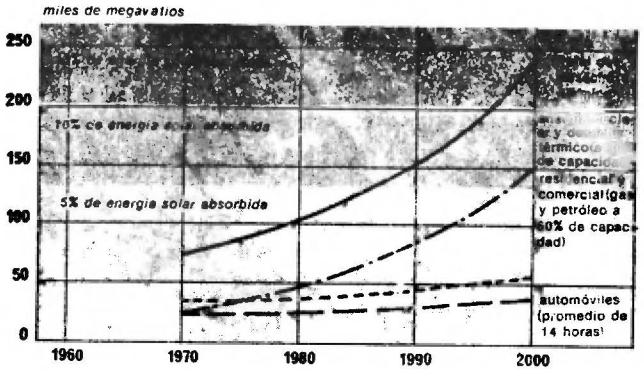
Además, la energía nuclear producirá otro tipo de agente contaminante —los desechos radiactivos. Como actualmente este tipo de energía proporciona apenas una fracción muy pequeña de la energía que utiliza el hombre, el posible efecto de los desechos vertidos por los reactores nucleares en el medio ambiente no es más que una conjetura. No obstante, podemos desprender algunas ideas a partir de las descargas exis-

[20] John R. Clark, "Thermal Pollution and Aquatic Life", *Scientific American*, marzo de 1969, p. 18.

[21] *Inadvertent Climate Modification*, pp. 151-154.

[22] John P. Holdren, "Global Thermal Pollution", en *Global Ecology*, John P. Holdren y Paul R. Ehrlich (eds.), Nueva York, Harcourt Brace Jovanovich, 1971, p. 85.

GRÁFICA 16. *Generación de desechos térmicos en la cuenca de Los Ángeles*



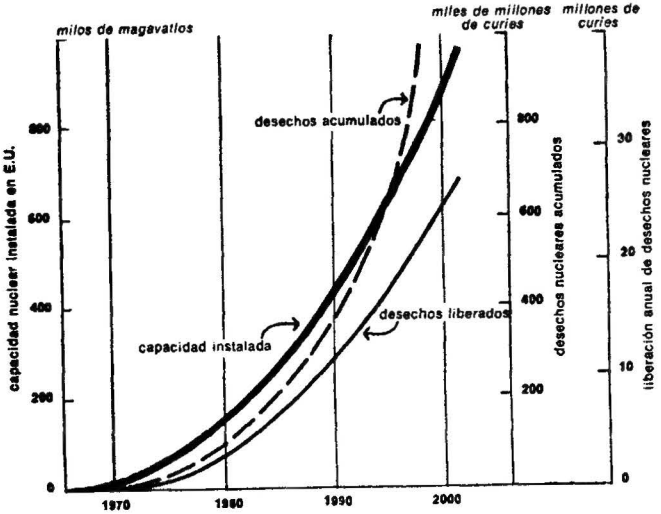
El desecho térmico liberado sobre el área de 4 000 millas cuadradas de la cuenca de Los Ángeles constituye en la actualidad casi el 5 % del total de la energía solar absorbida a nivel del suelo. A la tasa actual de incremento, la descarga térmica alcanzará el 18 % de la energía solar recibida en el año 2 000. Este calor, resultado de todos los procesos de generación y consumo de energía, está afectando ya el clima local.

FUENTE: L. Lees, en *Man's Impact on the Global Environment, Report of the Study of Critical Environmental Problems*, Cambridge, Mass., MIT Press, 1970.

tentes y las previstas de isótopos radiactivos de las plantas de energía actualmente en construcción en Estados Unidos. Una lista parcial de la descarga anual previsible que recibirá el medio ambiente de una planta de 1.6 millones de kilovatios actualmente en construcción en Estados Unidos incluye 42 800 curíes* de

* Un curíe es el equivalente radiactivo de un gramo de radio. Ésta es una cantidad tan grande que las concentraciones en el medio ambiente se expresan por lo general en microcuríes (millonésimas de curíe).

GRÁFICA 17. *Desechos nucleares*



Se espera que la capacidad de generación nuclear instalada en Estados Unidos aumente de 11 000 megavatios en 1970 a más de 900 000 el año 2 000. El monto total de los desechos nucleares acumulados, subproductos radiactivos de la generación de energía, probablemente excederá ese año de un billón de curíes. La descarga anual de desechos nucleares, gran parte en gas kryptón y tricio en el agua de enfriamiento, alcanzará 25 millones de curíes si se mantienen vigentes las actuales normas de descarga.

FUENTES: Para la capacidad instalada en 1985, U. S. Atomic Energy Commission, *Forecast of Growth of Nuclear Power*, Washington, D. C., Government Printing Office, 1971. Para la capacidad instalada en el año 2 000, Chauncey Starr, "Energy and Power", *Scientific American*, septiembre de 1971. Para los desechos nucleares acumulados, J. A. Snow, "Radioactive Waste from Reactors", *Scientist and Citizen* 9, 1967. La descarga anual de desechos nucleares fue calculada a partir de las especificaciones realizadas para la planta de 1 600 megavatios en Calvert Cliffs, Maryland.

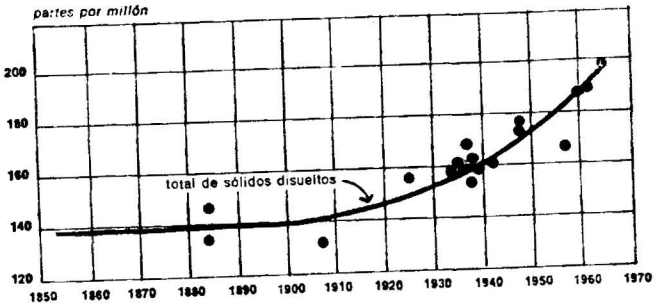
kryptón radiactivo (su media-vida va de unas cuantas horas a 9.4 años, dependiendo del isótopo) en el cúmulo de gases, y 2 910 curíes de tricio (cuya media-vida es de 12.5 años) en el desecho de agua.[23] La gráfica 17 muestra el aumento que se prevé en la capacidad de generación nuclear de Estados Unidos desde ahora hasta el año 2 000. La gráfica incluye también una estimación de los desechos radiactivos que liberan anualmente estas plantas de energía nuclear y de los desechos acumulados (de combustibles de reactores ya consumidos) que tendrán que ser almacenados.

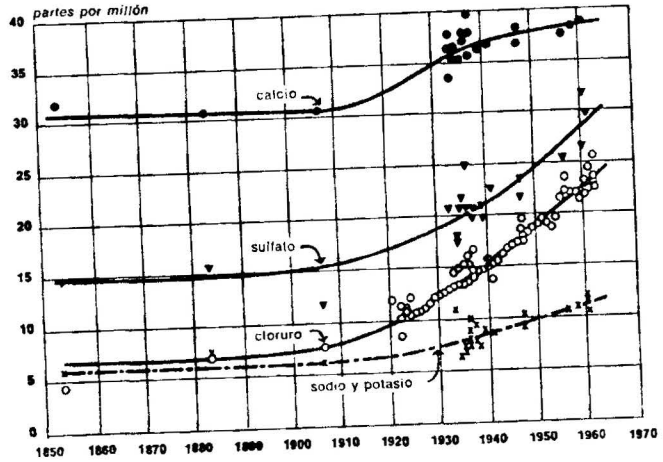
El bióxido de carbono, la energía térmica y los desechos radiactivos son sólo tres de las muchas perturbaciones que el hombre introduce en el medio ambiente a una tasa que crece exponencialmente. Las gráficas 18 a 21 presentan otros ejemplos.

La gráfica 18 muestra los cambios químicos que se registran en un gran lago de América del Norte en virtud de la acumulación de desechos solubles industriales, agrícolas y municipales. También indica la disminución de la producción comercial de pescado. La gráfica 19 ilustra por qué el aumento de los desechos orgánicos tiene efectos tan catastróficos sobre la vida acuática. También señala la cantidad de oxígeno disuelto (que el pez "respira") en el Mar Báltico como función del tiempo. A medida que mayores cantidades de desechos penetran en el agua y degeneran, el oxígeno disuelto se agota. En el caso de algunas partes del Báltico, el nivel del oxígeno es prácticamente cero.

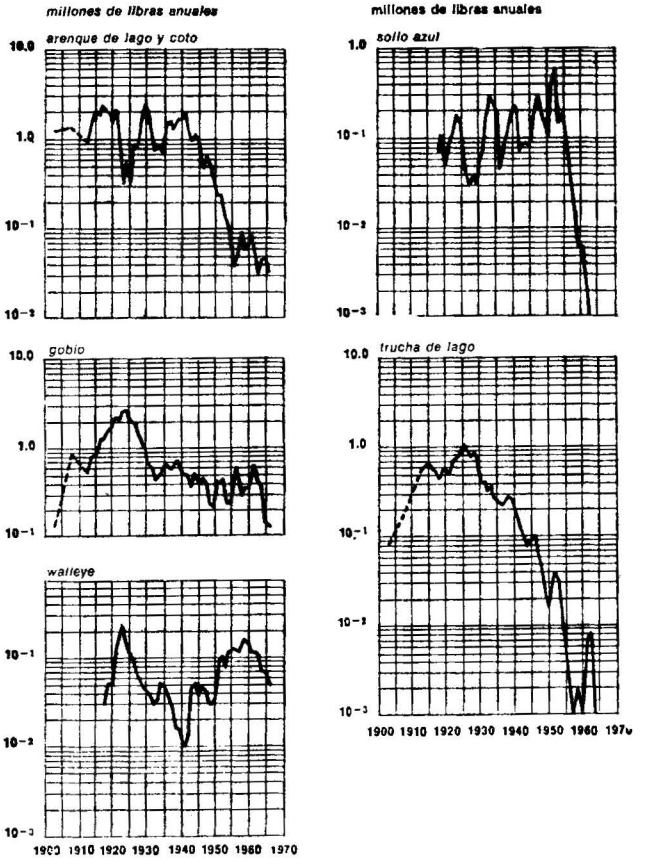
[23] Baltimore Gas and Electric Company, "Preliminary Safety Analysis Report", citado en E. P. Ranford *et al.*, "Statement of Concern", *Environment*, septiembre de 1969, p. 22.

GRÁFICA 18. *Cambios en las características químicas y producción comercial de pescado en el lago Ontario*



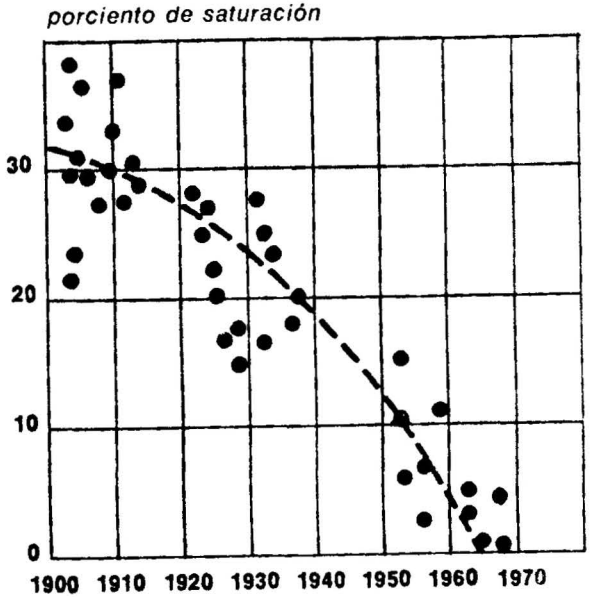


Como resultado de fuertes vertimientos de desechos municipales, industriales y agrícolas en el lago Ontario, las concentraciones de numerosas sales han estado creciendo exponencialmente. Los cambios químicos en el lago han provocado disminuciones agudas de la pesca más valiosa en términos comer-



ciales. Debe notarse que la escala de la gráfica es logarítmica, por lo que la pesca de la mayoría de las especies ha disminuido por factores de 100 a 1 000. [La fuente de esta gráfica está en la página siguiente.]

GRÁFICA 19. *Contenido de oxígeno del mar Báltico*

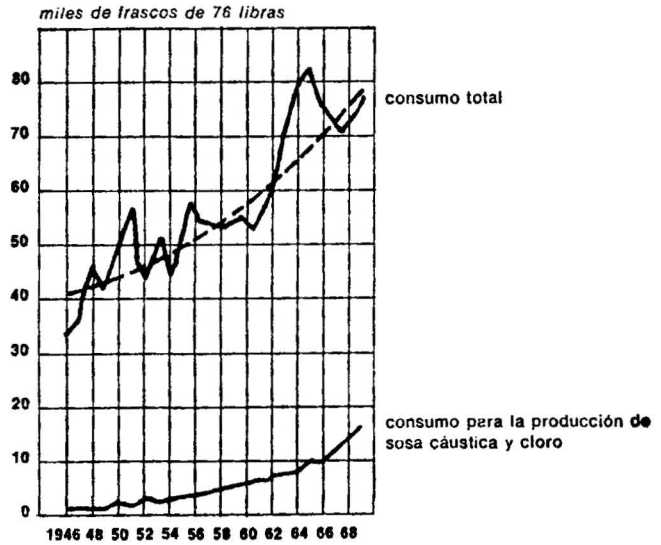


La creciente acumulación de desechos orgánicos en el Mar Báltico, donde la circulación del agua es mínima, ha resultado en una disminución constante de la concentración de oxígeno en el agua. En algunas áreas, especialmente en las aguas más profundas, la concentración de oxígeno es igual a cero, y por lo tanto, no pueden albergar casi ninguna forma de vida.

FUENTE: Stig H. Fonselius, "Stagnant Sea", *Environment*, julio/agosto de 1970.

FUENTE: A. M. Beeton, *Statement on Pollution and Eutrophication of the Great Lakes*, The University of Wisconsin Center for Great Lakes Studies, Special Report núm. 11, Milwaukee, Wisconsin, Universidad de Wisconsin, 1970.

GRÁFICA 20. *Consumo de mercurio en Estados Unidos*

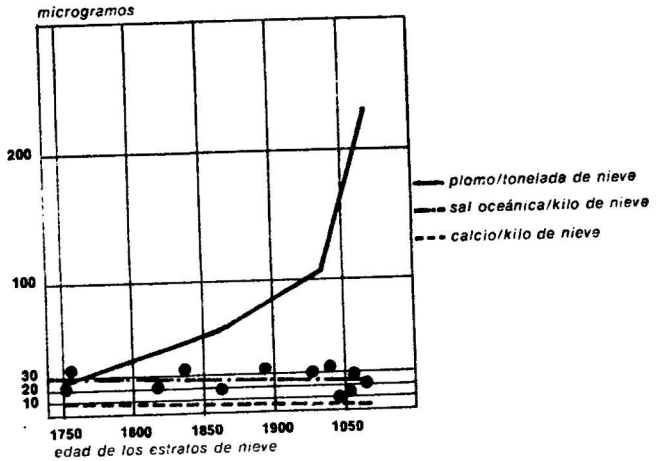


El consumo de mercurio en Estados Unidos muestra una tendencia exponencial, a la que se superponen las fluctuaciones del mercado a corto plazo. Una gran parte del mercurio se utiliza sólo para la producción de sosa cáustica y de cloro. La gráfica no incluye el monto creciente de mercurio que la combustión de combustibles orgánicos libera en la atmósfera.

FUENTE: Barry Commoner,, Michael Carr y Paul J. Stamler, "The Causes of Pollution", *Environment*, abril de 1971.

Los automóviles, los incineradores, los procesos industriales y los plaguicidas agrícolas liberan plomo y mercurio, ambos metales tóxicos, en las vías acuáticas y en la atmósfera. La gráfica 20 muestra el aumento exponencial del consumo de mercurio en Estados Uni-

GRÁFICA 21. *Plomo en la cubierta de hielo de Groenlandia.*



Muestras profundas de nieve de la superficie helada de Groenlandia presentan grandes depósitos de plomo que aumentan con el tiempo. Como punto de referencia también se midieron las concentraciones de calcio y de sal oceánica. La presencia del plomo refleja el uso creciente que el mundo hace del metal, incluida la descarga directa de los escapes de los automóviles en la atmósfera.

FUENTE: C. C. Patterson y J. D. Salvia, "Lead in the Modern Environment-How Much is Natural?" *Scientist and Citizen*, abril de 1968.

dos de 1964 a 1968. Sólo el 18% de este mercurio puede recuperarse y reciclarse.[24] La extracción de mues-

[24] R. A. Wallace, W. Fulkerson, W. D. Shults y W. S. Lyons, *Mercury in the Environment*, Oak Ridge, Tenn., Oak Ridge Laboratory, 1971.

tras sucesivamente más profundas de la cubierta de hielo de Groenlandia ha permitido detectar el aumento exponencial de los depósitos de plomo en el aire, como aparece en la gráfica 21.

LÍMITES SUPERIORES DESCONOCIDOS

Todas estas curvas exponenciales de los distintos tipos de contaminación pueden extrapolarse en el futuro, como hemos extrapolado las necesidades de tierra en la gráfica 10 y el uso de recursos en la gráfica 11. En ambos casos la curva de crecimiento exponencial llega a alcanzar un límite —el monto total de tierra cultivable o los recursos mundiales económicamente disponibles. No obstante, no se han fijado los límites superiores de las curvas de crecimiento exponencial de los contaminantes en las gráficas 15 a 21 porque no sabemos qué tanto podemos perturbar el equilibrio ecológico natural del mundo sin provocar consecuencias graves. Se desconoce cuánto CO_2 o cuánta contaminación térmica pueda liberarse sin que esto provoque cambios irreversibles en el clima del planeta o cuánta radiactividad, plomo, mercurio o plaguicidas puedan absorber las plantas, los peces o los seres humanos antes de que los procesos vitales se vean gravemente interrumpidos.

REZAGOS NATURALES EN LOS PROCESOS ECOLÓGICOS

La ignorancia que prevalece en torno a los límites de la capacidad del planeta para absorber contaminantes debería ser una razón suficiente para tomar precaucio-

nes en cuanto a la descarga de las sustancias contaminantes. El peligro que se corre de alcanzar esos límites es especialmente grande porque entre la liberación de un contaminante en el medio ambiente y la aparición de su efecto negativo en el sistema ecológico suele haber un prolongado rezago. La huella del DDT en el medio ambiente, después de haber sido utilizado como insecticida, puede ilustrar las implicaciones dinámicas de ese efecto rezagado. Los resultados que presentamos más abajo han sido tomados de un estudio detallado* de dinámica de sistemas que utiliza las constantes numéricas que corresponden al DDT. La conclusión general es aplicable (con algunos cambios en los números exactos que se incluyan) a cualquier sustancia duradera como el mercurio, el plomo, el cadmio, otros plaguicidas, el policlorobifenil (PCB) y los desechos radiactivos.

El DDT es una sustancia química orgánica elaborada por el hombre, que se aplica en el medio ambiente para que desempeñe las funciones de plaguicida, a razón de casi 100 000 toneladas anuales.[25] Después de que se rocía, parte de él se evapora y el aire lo transporta a grandes distancias antes de que termine por precipitarse en la tierra o en el mar. En el mar, parte del DDT se incorpora al plancton, parte de ese plancton sirve de alimento a los peces y, por último, con algunos de esos peces se alimenta el hombre. En cada paso de este proceso el DDT puede degenerar en sustancias inofensivas, puede volver al mar o puede concentrarse

* El estudio, realizado por Jørgen Randers y Dennis L. Meadows, figura en el apéndice.

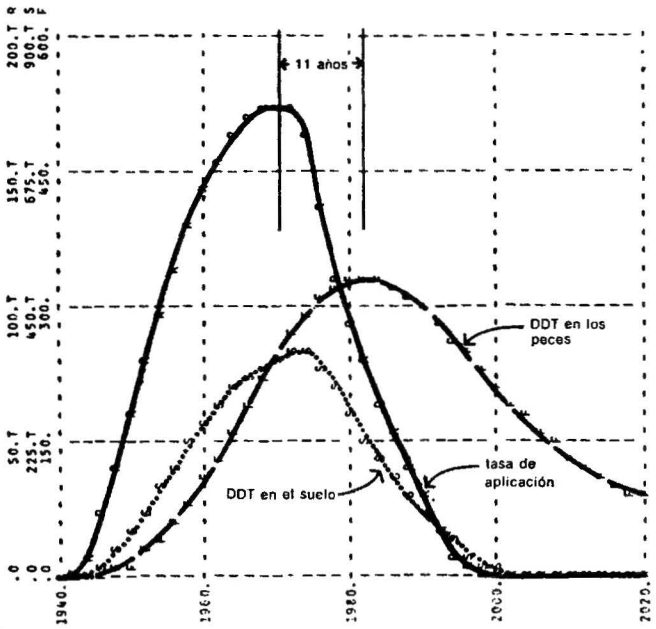
[25] *Man's Impact on the Global Environment*, p. 131.

en los tejidos de organismos vivos. Existe un rezago en cada una de estas etapas. Todas estas vías alternativas han sido analizadas por una computadora, que obtuvo los resultados que aparecen en la gráfica 22.

La tasa de aplicación del DDT que muestra la gráfica es la tasa de aplicación mundial de 1940 a 1970. La misma gráfica muestra lo que sucedería si en 1970 empezara a disminuir gradualmente la tasa de aplicación mundial del producto hasta alcanzar el nivel de cero en el año 2000. Dados los rezagos inherentes al sistema, el nivel de DDT en los peces sigue aumentando durante más de diez años a partir de la fecha en que el uso del DDT empiece a disminuir, y el nivel en los peces *no vuelve a ser el mismo de 1970 sino hasta 1995* —más de veinte años después de que se haya tomado la decisión de reducir la aplicación del DDT.

Siempre que se registre un rezago prolongado entre el momento en que se libera un contaminante y aquel en que reaparece bajo una forma dañina, sabemos que habrá un rezago igualmente prolongado entre el momento en que se *controla* ese contaminante y aquel en que por fin disminuye su efecto perjudicial. En otras palabras, cualquier intento de control de la contaminación basado en la institución de controles cuando ya se han podido detectar sus efectos perjudiciales es una prueba de que el problema probablemente empeorará antes de que mejore. Los sistemas de este tipo son sumamente difíciles de controlar, porque exigen que las acciones que se emprendan en ese momento estén basadas en resultados previsibles en un futuro lejano.

GRÁFICA 22. *Flujos de* DDT *en el medio ambiente*



El cálculo de la huella del DDT en el medio ambiente muestra el posible resultado de que la tasa de aplicación mundial empezara a disminuir en 1970. El DDT aparece en el suelo poco después de que empiece a disminuir la tasa de aplicación, pero en los peces sigue aumentando durante 11 años y no vuelve al nivel de 1970 hasta 1995. El DDT en los animales que se alimentan de pescado, como los pájaros, y en el hombre, tardaría aún más en responder a la disminución de la tasa de aplicación.

FUENTE: Jørgen Randers y Dennis L. Meadows, *System Simulation to Test Environmental Policy, I: A Sample Study of* DDT *Movement in the Environment*, Cambridge, Mass., Instituto Tecnológico de Massachusetts, 1971.

DISTRIBUCIÓN GLOBAL DE LOS CONTAMINANTES

Actualmente sólo los países desarrollados están seriamente interesados en el problema de la contaminación ambiental. Sin embargo, una de las características más desafortunadas de muchos tipos de contaminación es que con el tiempo se distribuyen ampliamente por todo el mundo. Aun cuando Groenlandia está muy alejada de cualquier fuente de contaminación atmosférica de plomo, el monto de esa sustancia depositado en el hielo de la región ha aumentado, a partir del año 1940, en 300 %.[26] El DDT se ha acumulado en la grasa del cuerpo humano en todas partes del mundo, desde los esquimales de Alaska hasta los habitantes de Nueva Delhi, como aparece en el cuadro 5.

LOS LÍMITES DE LA CONTAMINACIÓN

Dado que la generación de contaminación es función complicada de la población, la industrialización y los desarrollos tecnológicos específicos, es difícil estimar con exactitud la velocidad con que se eleva la curva exponencial de la descarga total de contaminación. Podemos calcular que si los 7 000 millones de habitantes que tendrá el mundo en el año 2 000 alcanzan a tener un producto nacional bruto *per capita* paralelo al de los norteamericanos actualmente, la carga total de contaminación en el medio ambiente será por lo menos diez veces mayor a la actual. ¿Pueden los sistemas naturales del planeta soportar una intrusión de esa mag-

[26] C. C. Patterson y J. D. Salvia, "Lead in the Modern Environment", *Scientist and Citizen*, abril de 1968, p. 66.

CUADRO 5. DDT *en la Grasa del Cuerpo Humano*

Población	*Año*	*Número de personas en la muestra*	*Concentración de* DDT *y productos tóxicos que aparcen en la grasa del cuerpo humano (partes por millón)*
Alaska (esquimales)	1960	20	3.0
Alemania	1958-59	60	2.3
Canadá	1959-60	62	4.9
Estados Unidos (Kentucky)	1942	10	.0
Estados Unidos (Georgia, Kentucky, Arizona, Washington)	1961-62	130	12.7
Estados Unidos (todo)	1964	64	7.6
Francia	1961	10	5.2
Hungría	1960	48	12.4
India (Delhi)	1964	67	26.0
Inglaterra	1961-62	131	2.2
Inglaterra	1964	100	3.9
Israel	1963-64	254	19.2

FUENTE: Wayland J. Hayes, Jr., "Monitoring Food and People for Pesticide Content", *Scientific Aspects of Pest Control*, Washington, D. C., National Academy of Sciences —National Research Council, 1966.

nitud? No sabemos. Algunos creen que el hombre ya ha degradado tanto el medio ambiente que los grandes sistemas naturales han sufrido daños irremediables. No

sabemos con precisión cuál es el límite superior de la capacidad del planeta para absorber un tipo determinado de contaminación, mucho menos la combinación de todos los tipos de contaminación que existen. No obstante, sabemos que *existe* un límite superior que en muchos medios locales ya ha sido rebasado. La manera más segura de alcanzar globalmente ese límite es aumentando exponencialmente tanto el número de habitantes como las actividades de cada persona que implican contaminación.

Las disyuntivas que plantea el sector ambiental del sistema mundial son tan difíciles de resolver como los del sector agrícola y los del sector de recursos naturales. Por lo general, los beneficios de las actividades que generan contaminación están muy alejados de los costos en tiempo y espacio. Por lo tanto, para tomar decisiones justas hay que considerar los factores tiempo y espacio. Si los desechos se depositan aguas arriba ¿quién sufrirá aguas abajo?; si sustancias fungicidas elaboradas a base de mercurio se utilizan ahora, ¿en qué medida, cuándo y dónde aparecerá el mercurio en los peces de los océanos?; si fábricas que generan contaminación se establecen en áreas remotas para "aislar" los contaminadores ¿dónde estarán esos contaminantes dentro de diez o veinte años?

Es posible que los avances tecnológicos permitan la expansión de la industria con disminución de la contaminación, pero sólo a un costo muy elevado. El Consejo Norteamericano para la Calidad Ambiental ha pedido 105 000 millones de dólares de presupuesto desde ahora hasta 1975 (42 % sería pagado por la industria) sólo para llevar a cabo en Estados Unidos una

limpia parcial del aire, el agua y de la contaminación provocada por desechos sólidos.[27] Cualquier país puede aplazar el pago de esos costos para aumentar la actual tasa de crecimiento de su planta de capital, pero únicamente a expensas de una futura degeneración ambiental que sólo puede ser reversible a un costo muy elevado.

Un mundo finito

En este capítulo hemos hablado de muchas disyuntivas difíciles en la producción de alimentos, en el consumo de recursos y en la generación y limpieza de la contaminación. Hasta aquí debe quedar bien claro que todas estas disyuntivas se derivan de un simple hecho —que la tierra es finita. Mientras más cercana esté una actividad humana al límite de la capacidad del planeta para mantener esa actividad, más aparentes e insolubles se hacen esas disyuntivas. Cuando hay suficiente tierra cultivable que no ha sido utilizada, puede haber más gente y también más alimentos por persona. Cuando toda la tierra está siendo utilizada, la alternativa entre más gente y más alimentos por persona se convierte en una elección entre absolutos.

En general, la sociedad contemporánea no ha aprendido a reconocer estas disyuntivas y a enfrentarse a ellas. El objetivo ostensible del sistema mundial es producir más gente con más (alimentos, bienes materiales, aire puro y agua) para cada persona. En este

[27] *Second Annual Report of the Council on Environmental Quality*, Washington, D. C., Government Printing Office, 1971, pp. 110-111.

capítulo hemos señalado que si los esfuerzos de la sociedad siguen orientándose en ese mismo sentido, se alcanzarán algunas de las muchas limitaciones del planeta. Como veremos en el siguiente capítulo, no es posible predecir con exactitud cuál será la limitación que se presentará primero o cuáles serán sus consecuencias, porque existen muchas respuestas humanas concebibles e impredecibles a tal situación. No obstante, es posible investigar las condiciones y los cambios en el sistema mundial que pueden llevar a la sociedad a un enfrentamiento o a un acomodo con los límites del crecimiento en un mundo finito.

III. EL CRECIMIENTO EN EL SISTEMA MUNDIAL

> En la circunferencia de un círculo el principio y el fin son lo mismo.
>
> HERÁCLITO, 500 a. c.

HEMOS tratado los alimentos, los recursos no renovables y la absorción de la contaminación como factores diferentes, necesarios para el crecimiento y sustento de la población y de la industria. Hemos observado la tasa de crecimiento de cada uno de estos factores y los posibles límites superiores de la oferta de los mismos. Haciendo extrapolaciones muy sencillas de las curvas de crecimiento de la demanda hemos intentado calcular, a grandes rasgos, el tiempo que puede sostenerse el crecimiento de cada uno de estos factores a su actual tasa de incremento. La conclusión que hemos derivado de estas extrapolaciones es la misma que han percibido muchos otros —que los reducidos tiempos de duplicación de muchas de las actividades humanas, combinados con las inmensas cantidades que se duplican, nos llevarán, con una rapidez asombrosa, a los límites del crecimiento de esas actividades.

La extrapolación de las tendencias actuales es una manera tradicional de mirar hacia el futuro, especialmente hacia el futuro más cercano, sobre todo si la cantidad considerada no está muy influida por otras

tendencias que también actúan en el sistema. Desde luego que ninguno de los cinco factores que aquí consideramos es independiente; cada uno de ellos está en constante interacción con los demás. Ya hemos mencionado algunas de estas interacciones. La población no puede crecer sin alimentos, la producción de alimentos aumenta con el crecimiento del capital, más capital exige más recursos, los recursos desechados se convierten en contaminación, la contaminación interfiere en el crecimiento de la población y de los alimentos.

Más aún, a lo largo de periodos prolongados cada uno de estos factores también retroactúa para influir sobre sí mismo. Por ejemplo, la tasa de crecimiento de la producción de alimentos en los años setentas tendrá algún efecto sobre el tamaño de la población del siguiente decenio, que a su vez determinará la tasa a la que deberá incrementarse la producción de alimentos de allí en adelante. De manera similar la tasa de consumo de los recursos influirá en el futuro sobre el tamaño de la base de capital que debe mantenerse, así como sobre el monto de los recursos restantes en el planeta. Luego el capital existente y los recursos disponibles entrarán en interacción para determinar la oferta y la demanda futuras de recursos.

A las cinco cantidades o niveles básicos —población, capital, alimentos, recursos no renovables y contaminación— se suman otras interrelaciones y circuitos de retroalimentación que todavía no hemos examinado. Obviamente, no es posible evaluar el futuro a largo plazo de ninguno de estos niveles sin que hayamos tomado en consideración los demás. Sin embargo, aun este sistema relativamente simple tiene una estructura

tan complicada que no se puede entender intuitivamente cuál será su futuro comportamiento, o cómo un cambio en una variable puede afectar en última instancia a cada una de los demás. Para lograr entender estos problemas debemos ampliar nuestras capacidades intuitivas, de manera que podamos seguir simultáneamente el complejo comportamiento de muchas variables.

En este capítulo describiremos el modelo mundial formal que hemos utilizado, como un primer paso hacia la comprensión de este complejo sistema mundial. El modelo es simplemente un intento de reunir el amplio cuerpo de conocimientos ya existente en torno a las relaciones causa-efecto que se establecen entre los cinco niveles mencionados anteriormente, y expresar esos conocimientos en términos de circuitos de retroalimentación entrelazados. Como el modelo mundial es tan importante para la comprensión de las causas y de los límites del crecimiento en el sistema mundial, explicaremos con algún detalle el proceso de construcción del modelo.

Al construir el modelo hemos seguido cuatro pasos principales:

1) Primero enumeramos las relaciones causales más importantes que existen entre los cinco niveles y luego trazamos la estructura del circuito de retroalimentación. Para ello consultamos la bibliografía y a los especialistas en muchas áreas relacionadas con los puntos de interés —por ejemplo, demografía, economía, agronomía, nutrición, geología y ecología. En este primer paso, nuestro objetivo fue encontrar la estructura básica que reflejara las principales interacciones entre

los cinco niveles. Pensamos que podríamos añadir en torno a esta estructura básica elaboraciones que reflejaran un conocimiento más detallado una vez comprendido el sistema.

2) Luego cuantificamos cada relación tan exactamente como nos fue posible, utilizando —cuando pudimos— datos globales y datos locales característicos cuando todavía no se habían hecho las mediciones globales.

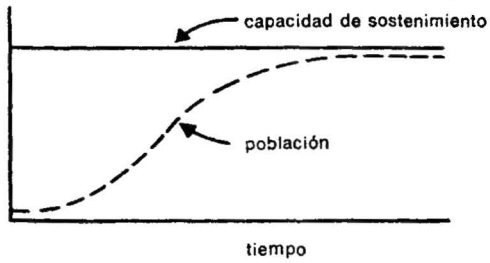
3) Con la computadora calculamos la operación simultánea de todas estas relaciones en el tiempo. Luego probamos el efecto de cambios numéricos en las hipótesis básicas para encontrar los determinantes más críticos del comportamiento del sistema.

4) Por último, probamos el efecto de las diversas políticas que en la actualidad se proponen para fortalecer o modificar el comportamiento del sistema.

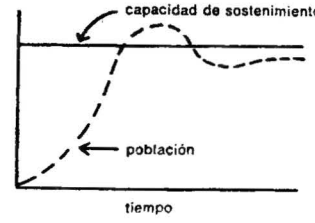
Estos pasos no los seguimos necesariamente en su orden, porque con frecuencia la nueva información que podía proporcionarnos un paso posterior podía llevarnos a alterar la estructura básica del circuito de retroalimentación. No existe un modelo mundial inflexible; en lugar de esto existe un modelo evolutivo que continuamente está siendo criticado y actualizado, a medida que avanza nuestra propia comprensión.

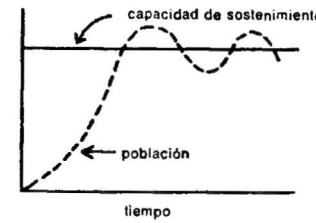
A continuación presentamos un resumen del modelo actual, sus objetivos y limitaciones, los circuitos de retroalimentación más importantes que contiene y nuestro procedimiento general para la cuantificación de las relaciones causales.

En este primer y simple modelo mundial nos interesan únicamente los modos generales de comportamiento del sistema población-capital. Por *modos de comportamiento* entendemos las tendencias de cambio de las variables del sistema (por ejemplo, población o contaminación) conforme avanza el tiempo. Una variable puede aumentar, disminuir, permanecer constante, oscilar, o combinar muchos de estos modos característicos. Por ejemplo, una población que crece en un medio limitado puede aproximarse a la capacidad última de sostenimiento de ese medio de muchas maneras. Puede ajustarse suavemente a un equilibrio por debajo del límite ambiental a través de una disminución gradual de la tasa de crecimiento, de la siguiente manera:

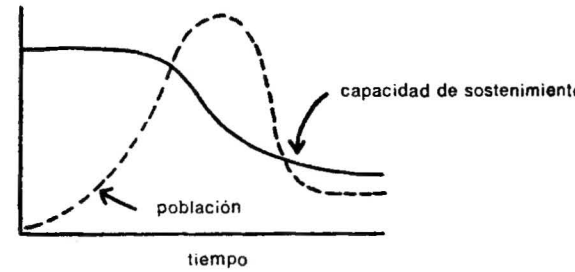


Puede rebasar el límite y luego volver a disminuir, ya sea suavemente o de manera oscilatoria, como sigue:





O puede rebasar el límite y en el proceso reducir la capacidad última de sostenimiento, consumiendo algún recurso necesario no renovable, como aparece en el siguiente diagrama. Este comportamiento ha sido ya observado en muchos sistemas naturales. Por ejemplo, los ciervos y las cabras, cuando no se enfrentan a ningún enemigo natural, apacientan con frecuencia en demasía en sus llanuras y provocan la erosión o la destrucción de la vegetación.[28]



Uno de los objetivos principales de la construcción del modelo mundial ha sido la determinación del

[28] Edward J. Kormandy, *Concepts of Ecology*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice Hall, 1969, pp. 95-97.

modo de comportamiento más característico del sistema mundial, a medida que alcanza los límites del crecimiento. Este proceso de determinación de los modos de comportamiento no es "predicción" sino en el sentido más estrecho del término. Las gráficas de resultados que reproducimos más adelante muestran cifras para la población mundial, el capital y otras variables en una escala de tiempo que se inicia en el año 1900 y termina en el año 2100. Estas gráficas *no* son predicciones exactas del valor de las variables en ningún año futuro en particular. Son únicamente indicadores de las tendencias de comportamiento del sistema.

Las diferencias entre los diversos grados de "predicción" pueden ser ilustradas con un ejemplo muy sencillo: si lanzamos una pelota hacia arriba, podemos predecir con alguna seguridad cuál será su comportamiento general; se elevará con una velocidad decreciente, para luego cambiar de dirección y caer al suelo con creciente velocidad. Sabemos que no seguirá elevándose siempre y que tampoco entrará en la órbita de la tierra, ni dará tres vueltas antes de llegar al suelo. El modelo mundial actual nos ofrece este tipo de comprensión elemental de los modos de comportamiento. Si quisiéramos predecir con exactitud la altura a que se elevaría la pelota que lanzamos, o dónde y cuándo caerá al suelo, sería necesario hacer un detallado cálculo con base en información precisa acerca de la pelota, la altura, el viento y la fuerza del lanzamiento inicial.

De manera similar, si quisiéramos predecir con bastante precisión el tamaño de la población mundial en 1993, necesitaríamos un modelo mucho más complicado que el aquí descrito. También precisaríamos de información más exacta y completa acerca del sistema mundial que la actual disponible.

Dado que en este momento lo que nos interesa son únicamente los modos generales de comportamiento, este primer modelo no lo presentaremos con mucho detalle. Así pues, sólo consideraremos una población general, una población que refleja estadísticamente las características medias de la población global. Incluimos sólo un tipo de contaminantes —la familia de contaminantes duraderos que se ha distribuido globalmente, como el plomo, el mercurio, el asbesto, los plaguicidas estables y los radioisótopos— cuyo comportamiento dinámico en el ecosistema apenas empezamos a entender. Tomamos un recurso generalizado que representa las reservas combinadas de todos los recursos no renovables, aunque sabemos que cada recurso en particular seguirá el patrón dinámico general a su propio nivel y tasa específica.

En este punto se hace necesario este alto nivel de agregación para que el modelo sea comprensible. Al mismo tiempo limita la información que esperamos obtener de él. Las cuestiones de detalle no pueden ser resueltas porque el modelo sencillamente no contiene mucho detalle. No se tienen en cuenta las fronteras nacionales. La desigual distribución de alimentos, recursos y capital está incluida implícitamente en los datos, pero no está explícitamente calculada ni representada en el resultado. Las balanzas del comercio mundial, los patrones migratorios, los determinantes climáticos y los procesos políticos no son tratados específicamente. Pueden construirse otros modelos, y es-

peramos que así se haga, para esclarecer el comportamiento de estos subsistemas tan importantes.*

¿Qué puede enseñarnos un modelo tan agregado? ¿Podemos considerar que su producto tiene algún significado? En términos de predicciones exactas, el resultado no tiene ningún significado. No podemos prever con exactitud cuál será la población de Estados Unidos, ni el producto nacional bruto de Brasil, ni siquiera el total de la producción de alimentos en el año 2015. Aun cuando nos propusiéramos hacerlo, seguramente los datos con los que trabajamos no son suficientes para la elaboración de esos pronósticos. Por otra parte, es muy importante llegar a entender las causas del crecimiento de la sociedad humana, los límites del crecimiento y el comportamiento de nuestros sistemas socioeconómicos cuando hayamos alcanzado esos límites. El conocimiento del hombre acerca de los diferentes modos de comportamiento de estos sistemas es muy incompleto; por ejemplo, por lo general no sabemos si la población mundial seguirá creciendo, si gradualmente se equilibrará, oscilara en torno a algún límite o se vendrá abajo. El modelo utiliza las relaciones básicas entre habitantes, alimentos, inversión, depreciación, recursos, producción —relaciones que son las mismas en todo el mundo, en cualquier parte de la sociedad humana o en la sociedad como un todo. De hecho, como indicamos al principio del libro, ofrece algunas ventajas el considerar esos problemas en un

* Nosotros mismos hemos construido muchos submodelos a lo largo de este estudio para investigar la dinámica detallada que sustenta cada sector del modelo mundial. El Apéndice incluye una lista de esos estudios.

horizonte tiempo-espacio muy amplio. Cuestiones de detalle, de países en particular y presiones de corto plazo pueden plantearse con mayor sensatez una vez que se hayan entendido los límites y los modos de comportamiento.

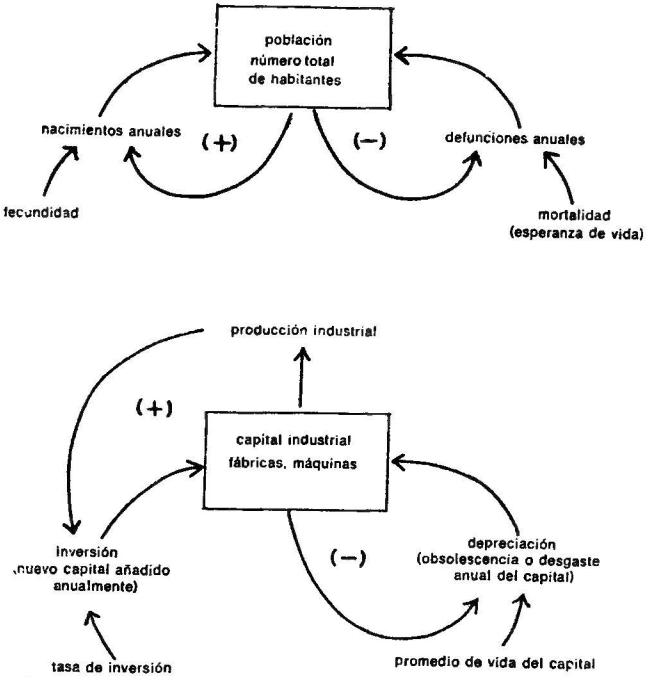
La estructura del circuito de retroalimentación

En el primer capítulo trazamos una representación esquemática de los circuitos de retroalimentación que generan el crecimiento de la población y el del capital. La gráfica 23 reúne ambas representaciones.

Puede ser útil examinar las relaciones representadas en la gráfica 23. El número total de nacimientos incrementa cada año la población, mientras que el número total de defunciones anuales las disminuye. El número absoluto de nacimientos por año es función de la fecundidad media de la población y del tamaño de ésta. El número de defunciones se relaciona con el promedio de mortalidad y el total de la población. La población crece mientras los nacimientos excedan a las defunciones. De manera similar, un monto dado de capital industrial, que opere con eficiencia constante, podrá producir un cierto monto de producto anualmente. Parte de ese producto pasará a ser más fábricas, máquinas, etc., que son a su vez inversiones para aumentar el acervo de bienes de capital. Al mismo tiempo cada año se depreciará o se desechará parte del equipo de capital. Para que se mantenga el crecimiento del capital industrial la tasa de inversión debe ser superior a la tasa de depreciación.

En todos nuestros diagramas de flujos, como el de

GRÁFICA 23. *Circuitos de retroalimentación del crecimiento de la población y del crecimiento del capital*



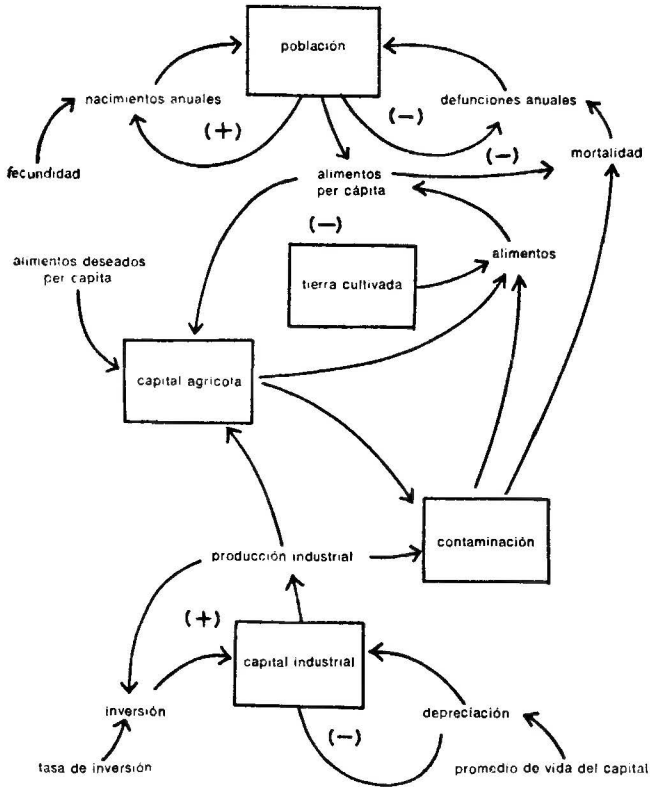
Los circuitos centrales de retroalimentación en el modelo mundial regulan el crecimiento de la población y el del capital industrial. Los dos circuitos positivos de retroalimentación referidos a nacimientos e inversión generan el comportamiento de crecimiento exponencial de la población y el capital. Los dos circuitos negativos de retroalimentación que se refieren a las defunciones y a la depreciación tienden a regular este crecimiento exponencial. La fuerza relativa de los diversos circuitos depende de muchos otros factores que también actúan en el sistema mundial.

la gráfica 23, las flechas indican simplemente que una variable tiene alguna influencia sobre otra. Pero no especifican ni la *naturaleza* ni el *grado* de influencia, aunque desde luego deban cuantificarse en las ecuaciones del modelo. Para mayor simplicidad con frecuencia omitimos anotar en los diagramas de flujos que muchas de las interconexiones se presentan después de transcurrido un lapso; en cambio, los cálculos del modelo incluyen explícitamente los rezagos.

La población y el capital se influyen mutuamente de diversas maneras, algunas de ellas representadas en la gráfica 24. Parte del producto del capital industrial es capital agrícola —por ejemplo, tractores, canales de riego y fertilizantes. El monto del capital agrícola y la superficie de tierra actualmente en cultivo influyen profundamente sobre la cantidad de alimentos producidos. Los alimentos *per capita* (alimentos producidos entre población) influyen en la mortalidad. Tanto la actividad industrial como la actividad agrícola pueden provocar contaminación. (En el caso de la agricultura, gran parte de la contaminación consiste en los residuos de plaguicidas, fertilizantes que provocan eutroficación en la vegetación y depósitos salinos derivados de errores en el regadío.) La contaminación puede afectar directamente la mortalidad, así como hacerlo indirectamente a través de la disminución de la producción agrícola.

La gráfica 24 presenta varios circuitos de retroalimentación importantes. Si todo lo demás permaneciera constante en el sistema, un *aumento* de la población reduciría la disponibilidad de alimentos *per capita* y de esa manera aumentaría la mortalidad, se elevaría el

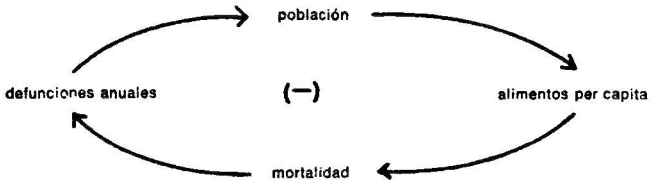
GRÁFICA 24. *Circuitos de retroalimentación de la población, el capital, la agricultura y la contaminación*



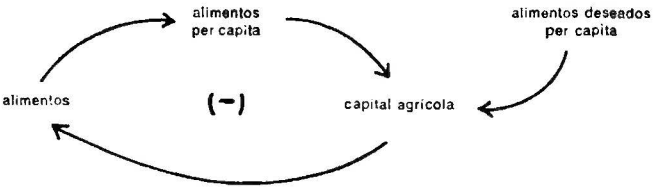
Algunas de las interconexiones que existen entre la población y el capital industrial operan a través del capital agrícola, la tierra cultivada y la contaminación. Cada flecha indica una relación causal que puede ser inmediata o rezagada, grande o pequeña, positiva o negativa, dependiendo de las hipótesis incluidas en la secuencia de cada modelo.

número de defunciones y se acabaría por provocar un descenso de la población.

En seguida presentamos este circuito negativo de retroalimentación:



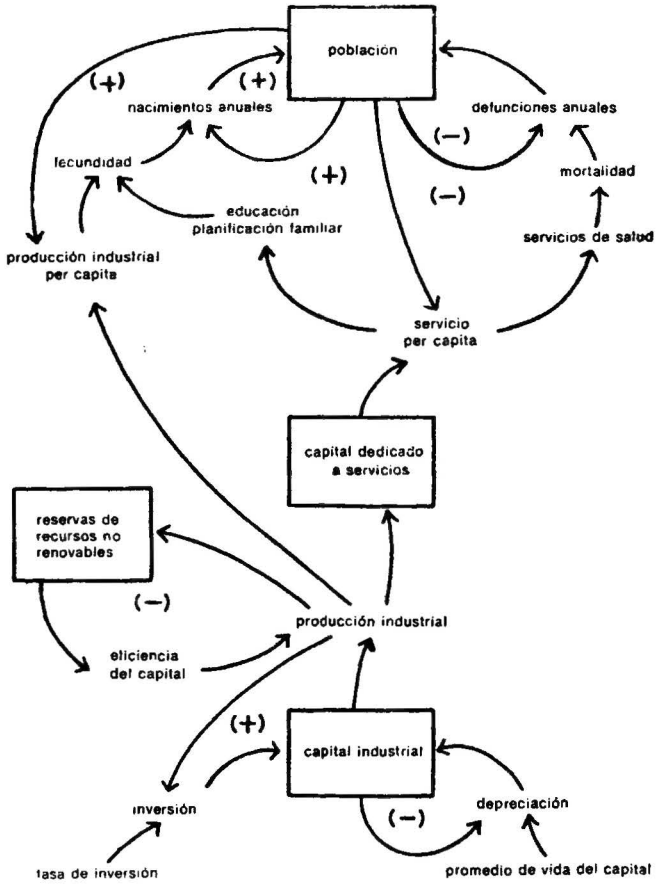
Otro circuito negativo de retroalimentación (que aparece más abajo) tiende a contrabalancear el anterior. Si los alimentos *per capita disminuyen* a un valor inferior al deseado por la población, habrá una tendencia a aumentar el capital agrícola, de manera que la futura producción de alimentos y la disponibilidad de alimentos *per capita* puedan aumentar:



La gráfica 25 ilustra otras relaciones importantes del modelo mundial que se refieren a la población, el capital industrial, el capital dedicado a servicios y los recursos.

La producción industrial comprende bienes asigna-

GRÁFICA 25. *Circuitos de retroalimentación de la población, el capital, los servicios y los recursos*



Los niveles del capital dedicado a servicios (por ejemplo, servicios educativos y de salud) y de las reservas de recursos no renovables influyen en la población y el capital industrial.

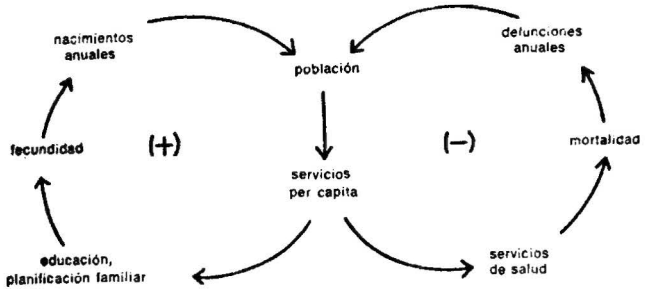
dos a capital dedicado al sector servicios —vivienda, escuelas, hospitales, bancos y sus respectivos equipos. La producción obtenida de este capital dividida entre la población nos da el valor medio de los servicios *per capita*. Éstos a su vez influyen en el nivel de los servicios de salud, y por lo mismo sobre la mortalidad. Los servicios incluyen también educación e investigación acerca de los métodos de planificación familiar, así como la distribución de información y de instrumentos para la misma. De esta suerte se relacionan los servicios *per capita* con la fecundidad.

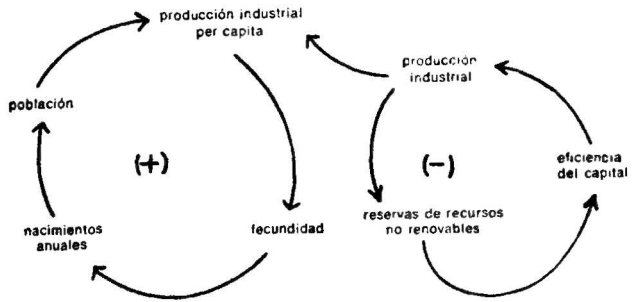
Una producción industrial *per capita* cambiante tiene también un efecto observable (aunque siempre después de un prolongado rezago) sobre muchos factores sociales que a su vez influyen en la fecundidad.

Cada unidad de producción industrial consume parte de las reservas de recursos no renovables. A medida que estas últimas disminuyen gradualmente, la extracción de la misma cantidad de recursos exige más capital, y así disminuye la eficiencia del capital (esto es, para producir una cierta cantidad de bienes terminados es necesario más capital).

En la página siguiente aparecen los circuitos de retroalimentación más importantes de la gráfica 25.

Las relaciones representadas en las gráficas 24 y 25 son típicas de los muchos circuitos de retroalimentación que se entrelazan en el modelo mundial. Otros circuitos incluyen factores como la superficie de tierra cultivada y su tasa de desarrollo o de erosión, la tasa de generación de la contaminación y la tasa a que el medio ambiente la hace inofensiva, y el equilibrio entre la fuerza de trabajo y el número de empleos dispo-

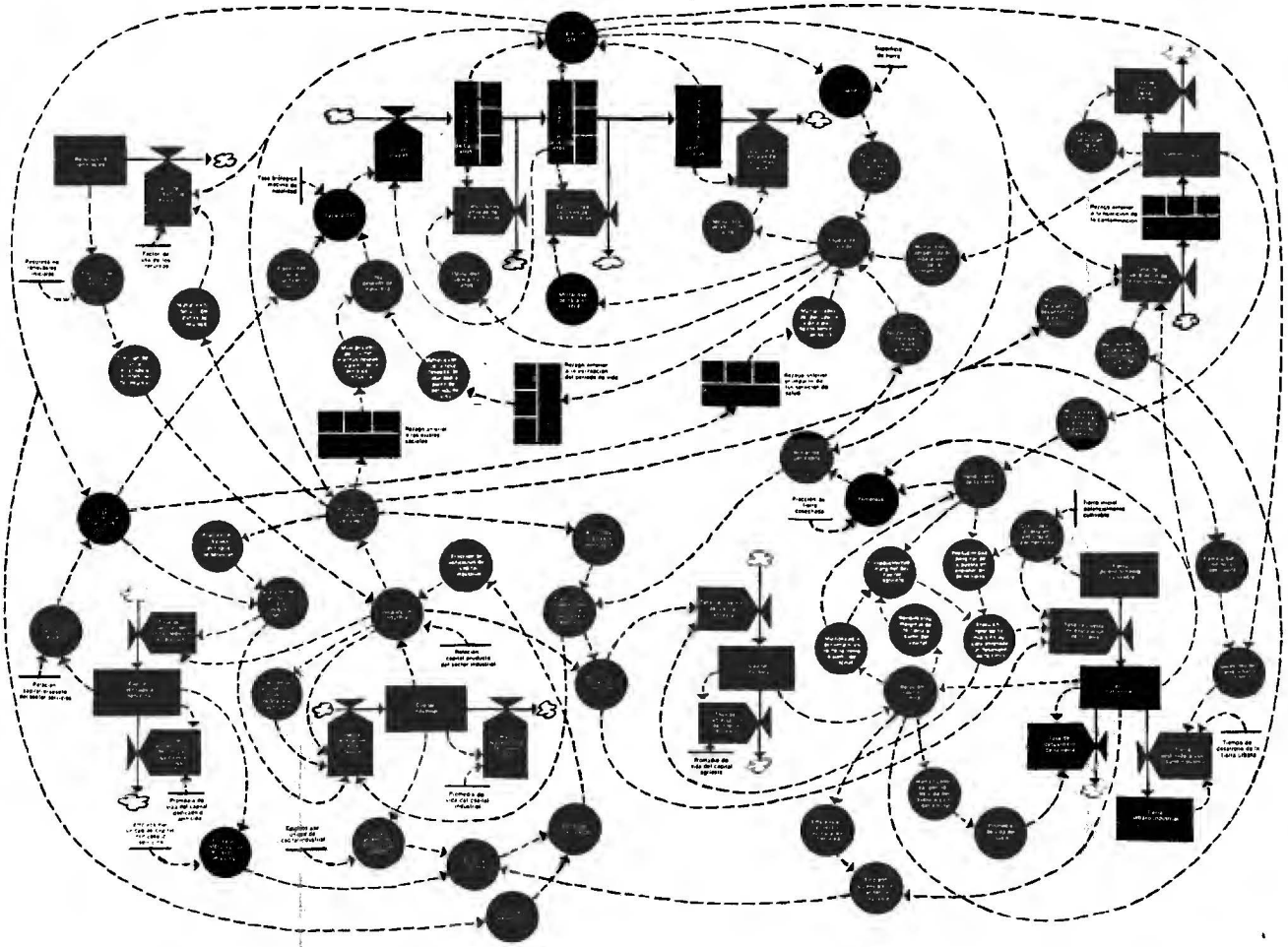




nibles. El diagrama completo de flujos del modelo mundial que incorpore todos estos y otros factores aparece en la gráfica 26.

Hipótesis cuantitativas

Cada flecha que aparece en la gráfica 26 representa una relación general que sabemos que es importante o potencialmente importante dentro del sistema población-capital. De hecho, la estructura es tan general



Todo modelo mundial está representado por un diagrama de flujos según el método de anotación formal de la dinámica de sistemas. Los niveles o cantidades físicas que pueden ser medidos directamente están representados por rectángulos ; las tasas que influyen sobre los niveles por válvulas y las variables auxiliares que influyen sobre las ecuaciones que nos proporcionan las diferentes tasas por círculos . Los rezagos están representados por secciones dentro de los rectángulos . Los flujos reales de personas, bienes, dinero, etc., aparecen como flechas continuas y las relaciones causales como flechas interrumpidas Las nubes representan las fuentes o depósitos que no afectan el comportamiento del modelo.

que también puede representar un solo país, y hasta una ciudad (con la adición de los flujos de migración y de comercio a través de las fronteras). Para aplicar la estructura del modelo de la gráfica 26 a un país tendríamos que cuantificar cada relación de la estructura con los números correspondientes a ese país. Para representar el mundo los datos tendrían que reflejar las características promedio de todo el mundo.

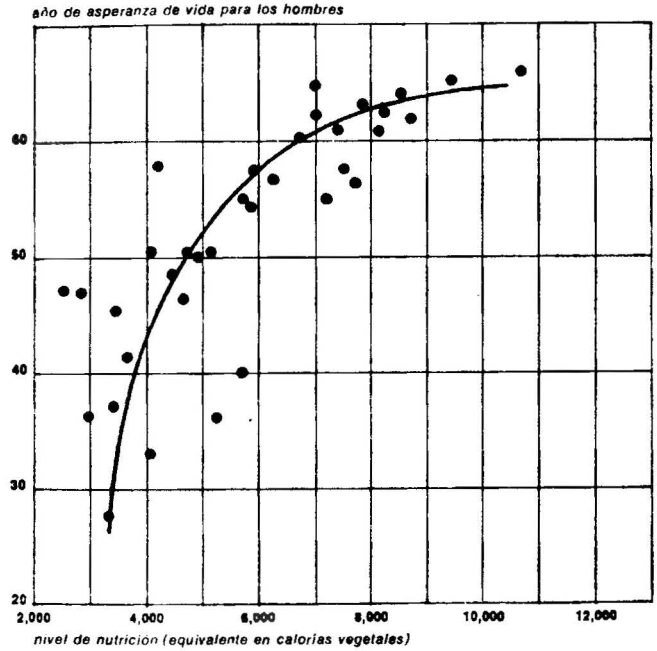
En el mundo real la mayoría de las influencias causales no son lineales. Esto es, un cambio en una variable causal (por ejemplo, un incremento del 10 % en los alimentos *per capita*) puede afectar otra variable, dependiendo del punto en el que se efectúe el cambio dentro de las posibilidades de la segunda variable. Por ejemplo, si un incremento del 10 % en la disponibilidad de alimentos *per capita* ha tenido el efecto de prolongar 10 años la esperanza de vida, no se deduce por fuerza que un aumento del 20 % en los alimentos *per capita* eleve 20 años la esperanza de

vida. La gráfica 27 muestra que la relación entre alimentos *per capita* y esperanza de vida no es lineal. Si se dispone de pocos alimentos, un incremento pequeño puede provocar un elevado aumento de la esperanza de vida de una población. Si los alimentos son ya suficientes, su aumento tendrá muy poco o ningún efecto. Las relaciones no lineales de este tipo han sido incorporadas directamente al modelo mundial.*

El estado actual de nuestro conocimiento acerca de las relaciones causales que se establecen en el mundo va desde la ignorancia más completa hasta la más extrema precisión. En el modelo mundial las relaciones generalmente caen dentro del nivel medio de certeza. Sabemos algo acerca de la dirección y magnitud de los efectos causales, pero pocas veces tenemos información muy precisa al respecto. Para ilustrar cómo operamos a este nivel medio de conocimiento presentamos aquí tres ejemplos de relaciones cuantitativas derivadas del modelo mundial. El primero es una relación entre variables económicas que ha sido relativamente bien entendida; el segundo implica variables sociológicas que han sido bien estudiadas, pero que todavía resulta muy difícil cuantificar; y el tercero relaciona variables biológicas que son, hasta ahora, casi totalmente desconocidas. Aunque estos tres ejemplos no constituyen de ninguna manera la descripción completa del modelo mundial, ilustran el razonamiento que hemos utilizado para construirlo y cuantificarlo.

* Los datos de la gráfica 27 no han sido modificados para tener en cuenta otros factores, como atención médica. En el informe técnico incluimos mayor información acerca del tratamiento específico de esa relación y de su incorporación a las ecuaciones del modelo.

GRÁFICA 27. *Nutrición y esperanza de vida*



La esperanza de vida de una población es función no lineal del grado de nutrición de la población. En esta gráfica el nivel de nutrición está dado en calorías vegetales. Las calorías que trasmiten fuentes animales, como la carne y la leche, se multiplican por un factor de conversión (aproximadamente 7, porque unas 7 son las calorías de alimento vegetal que exige producir una caloría de origen animal). Como los alimentos de fuentes animales tienen un valor mayor en el mantenimiento de la vida humana, esta medida considera tanto la cantidad como la calidad del alimento. Cada punto de la gráfica representa la esperanza media de vida y el nivel de nutrición de un país en 1953.

FUENTE: M. Cépède, F. Houtart y L. Grond, *Population and Food*, Nueva York, Sheed and Ward, 1964.

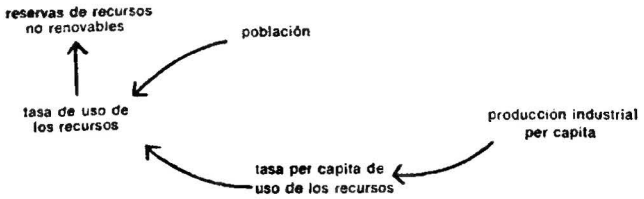
Uso de recursos per capita

¿Qué le sucederá a la demanda de recursos no renovables a medida que la población mundial y la planta de capital crezcan? Obtenemos el monto de recursos consumidos anualmente multiplicando la población por la tasa *per capita* de uso de los recursos; esta tasa desde luego que no es constante. A medida que se eleva la riqueza material de una población, ésta tiende a consumir más recursos anuales por persona. A continuación aparece un diagrama de flujos que expresa la relación entre la población, la tasa *per capita* de uso de los recursos y la riqueza (medida como producción industrial *per capita*), por una parte, y la tasa de uso de los recursos, por otra.

La relación entre riqueza (producción industrial *per capita*) y demanda de recursos (tasa *per capita* de uso de los recursos) se expresa mediante una curva no lineal como la de la gráfica 28. En ella el uso de recursos se define en términos del consumo mundial medio de recursos *per capita* en 1970, que se fija como igual a 1. Como la producción industrial mundial media *per capita* en 1970 fue de 230 dólares,[30] sabemos que la curva atraviesa el punto marcado con una ×. En 1970, el producto industrial medio *per capita* de Estados Unidos fue de 1 600 dólares, y el ciudadano medio consumía aproximadamente siete veces la media

[29] *Second Annual Report of the Council on Environmental Quality*, p. 105.

[30] Calculado a partir del producto nacional bruto medio *per capita* a través de las relaciones que aparecen en H. B. Chenery y L. Taylor, "Development Patterns: Among Countries and Over Time", *Review of Economics and Statistics* 50, 1969, 391.



mundial de uso *per capita* de recursos.[31] El punto de la curva que representaría el nivel de consumo de Estados Unidos está marcado con una +. Suponemos que, a medida que el resto del mundo se desarrolla económicamente, seguirá en esencia el patrón norteamericano de consumo —una curva que registra un ascenso pronunciado a medida que crece el producto *per capita*, hasta que se aplana. Podemos hallar la justificación de esa hipótesis en el actual patrón de consumo mundial del acero (véase la gráfica 29). Aunque la curva del consumo de acero registra una variación con respecto a la curva general de la gráfica 28, el patrón total es congruente, a pesar de las diferentes estructuras económicas y políticas representadas por los diferentes países.

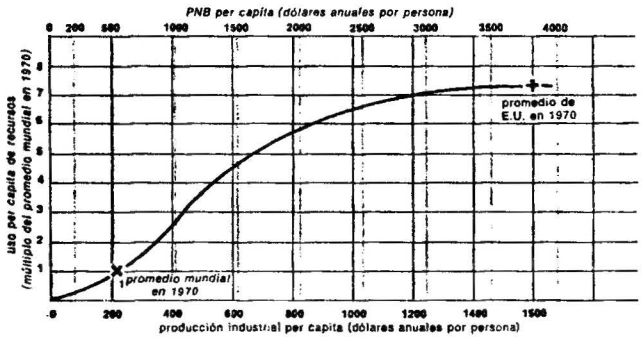
La historia del consumo norteamericano de acero y de cobre, representada en la gráfica 30, proporciona datos adicionales acerca de la forma general de la curva de consumo de recursos. Como el ingreso individual medio ha crecido, en ambos casos se ha elevado el uso de recursos, primero rápidamente y después con menor

[31] Calculado a partir de los datos de consumo de metales y energía que aparecen en Naciones Unidas, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, *Statistical Yearbook 1969*.

rapidez. El punto de estabilización final representa un nivel medio de saturación de posesiones materiales. Los incrementos del ingreso se gastan primordialmente en servicios, que consumen menos recursos.

La curva en forma de S relativa al uso de recursos representada en la gráfica 24 se incluye en el modelo mundial como una representación de políticas *actuales*

GRÁFICA 28. *Producción industrial* per capita *y uso de recursos*



La relación modelo postulada entre los recursos consumidos por persona y la producción industrial por persona tiene forma de *S*. En las sociedades no industrializadas el consumo de recursos es muy bajo, puesto que la mayoría de la producción es agrícola. A medida que la industrialización avanza, el consumo de recursos no renovables aumenta rápidamente y luego se equilibra a una tasa de consumo muy elevada. El punto × indica la tasa media mundial de consumo de recursos en 1970; el punto + indica la tasa media de consumo en Estados Unidos en el mismo año. Las dos escalas horizontales presentan la relación recursos-consumo en términos de producción industrial *per capita* y de PNB *per capita.*

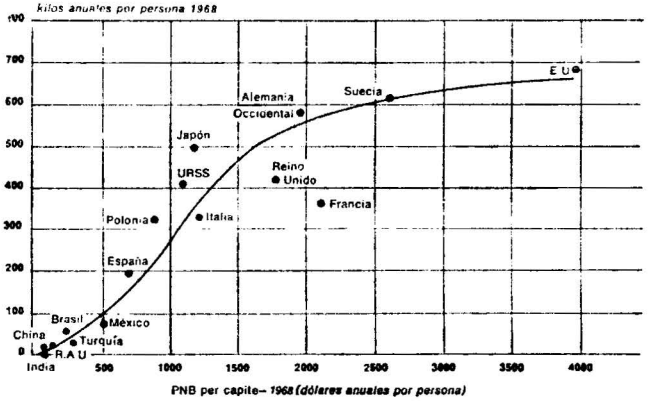
aparentes. La curva puede alterarse en cualquier momento en la simulación del modelo para probar los efectos de cambio en el sistema (como el reciclaje de recursos), que pueden aumentar o disminuir el monto de los recursos no renovables que cada persona consume. Los efectos de esas políticas se ilustran posteriormente en este libro con corridas reales del modelo.

La tasa deseada de natalidad

El número de nacimientos anuales en cualquier población es igual al número de mujeres en edad reproductiva multiplicado por la fecundidad media (el promedio de nacimientos anuales por mujer). Numerosos factores pueden influir sobre la fecundidad de una población. De hecho, el estudio de los determinantes de la fecundidad es una de las principales preocupaciones de los demógrafos. En el modelo mundial hemos identificado tres componentes principales de la fecundidad —la tasa biológica máxima de natalidad, la efectividad de la planificación familiar y la tasa deseada de natalidad. La relación entre estos componentes y la fecundidad se expresa en el siguiente digrama:

La *tasa biológica máxima de natalidad* es aquella a la cual las mujeres tendrían hijos si no practicaran

GRÁFICA 29. *Consumo mundial de acero y producto nacional bruto* per capita



En 1968 el consumo de acero por persona en varios países sigue el patrón general en forma de *S* que aparece en la gráfica 28.

FUENTES: Para el consumo de acero: Naciones Unidas, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, *Statistical Yearbook 1969*, Nueva York, 1970. Para el PNB *per capita*: *World Bank Atlas*, Washington, D. C., Banco Internacional de Reconstrucción y Fomento, 1970.

ningún método de regulación de la natalidad a lo largo de todo su periodo reproductivo. Esta tasa está biológicamente determinada, y depende principalmente del estado general de salud de la población. La *tasa deseada de natalidad* es aquella que resultaría si la población practicara una regulación "perfecta" de la natalidad y tuviera exclusivamente los hijos que hubiera deseado y planeado. La *efectividad* de la planificación familiar mide el grado en que la población

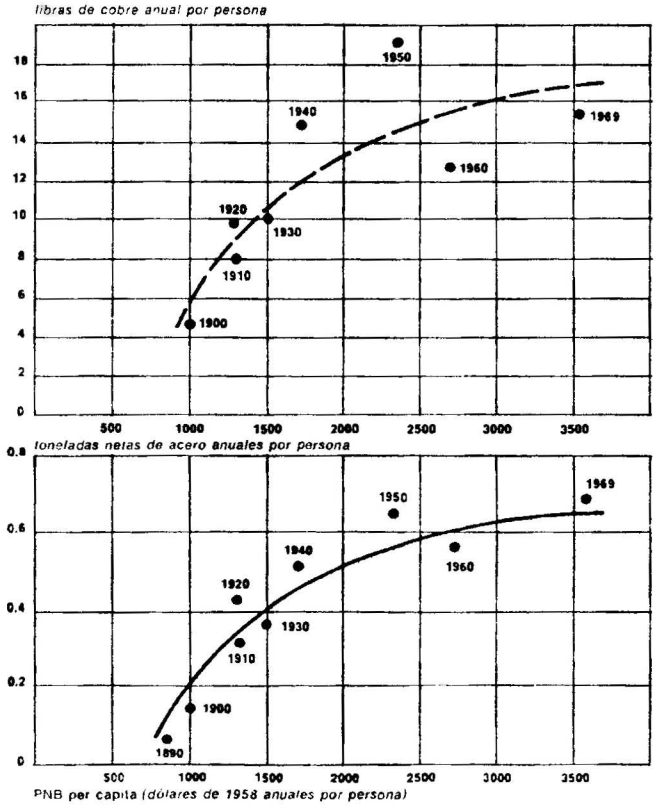
logra la tasa deseada de natalidad, en lugar de la tasa biológica máxima. Así pues, la planificación familiar se define de manera muy amplia para que incluya cualquier método de regulación efectivamente practicado por la población, incluidos los anticonceptivos, el aborto y la abstinencia sexual. Debe subrayarse el hecho de que la perfecta efectividad de la regulación de la natalidad *no* implica una tasa de fecundidad baja. Si la tasa deseada de natalidad es alta, también lo será la fecundidad.

Estos tres factores que influyen sobre la fecundidad reciben a su vez la influencia de otros factores que actúan en el sistema mundial. La gráfica 31 sugiere que la industrialización puede ser uno de los más importantes.

La relación entre las tasas brutas de natalidad y el producto nacional bruto *per capita* de todos los países del mundo sigue un patrón asombrosamente regular. En general, a medida que se eleva el PNB la tasa de natalidad disminuye. Esto parece ser cierto a pesar de los diferentes factores religiosos, culturales o políticos. Claro que no podemos concluir a partir de esta gráfica que un PNB *per capita* en aumento es la causa directa de una tasa de natalidad inferior. No obstante, al parecer, algunos cambios sociales y educativos, que en última instancia reducen la tasa de natalidad, están asociados a una creciente industrialización. Estos cambios sociales casi siempre ocurren sólo después de un lapso más bien prolongado.

En la estructura del circuito de retroalimentación ¿dónde opera esta relación inversa entre la tasa de natalidad y el PNB *per capita*? Las pruebas parecen indi-

GRÁFICA 30. *Consumo de cobre y acero y producto nacional bruto* per capita *en Estados Unidos*



El consumo *per capita* de acero y cobre en Estados Unidos experimentó un periodo de rápido aumento a medida que se elevó la productividad total; luego siguió un periodo de aumento lento, una vez que el consumo hubo alcanzado una tasa relativamente elevada.

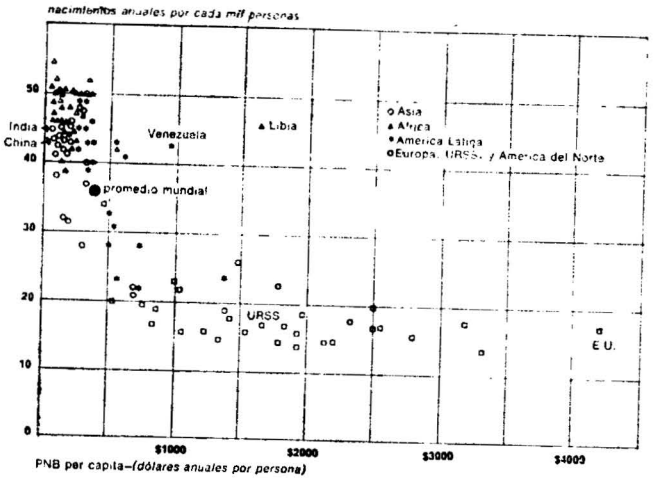
FUENTE: Los datos sobre el consumo de cobre y acero fueron tomados de *Metal Statistics*, Somerset, N J., American Metal Market Company, 1970. En cuanto a la población y el PNB, del U. S. Department of Commerce, *U. S. Economic Growth*, Washington, D. C., Government Printing Office, 1969.

car que no opera a través de la tasa biológica máxima de natalidad. Si acaso, la creciente industrialización implica mejores condiciones de salud, de manera que el número de nacimientos posiblemente aumente a medida que se eleve el PNB. Por otra parte, la efectividad de la planificación familiar también aumenta y seguramente este efecto contribuye a la disminución de la tasa de nacimientos que aparece en la gráfica 31. No obstante, nosotros sugerimos que el principal efecto de un PNB creciente se produce en la tasa deseada de natalidad. La prueba que nos lleva a formular esta sugerencia aparece en la gráfica 32. La curva indica el porciento de las personas que, enumeradas en una encuesta sobre planificación familiar, desean más de cuatro hijos, en relación con el nivel del PNB *per capita*. La forma general de la curva es similar a la de la gráfica 31, salvo el ligero aumento del tamaño deseado de la familia cuando se obtienen ingresos elevados.

El economista J. J. Spengler ha explicado la respuesta general de la tasa deseada de natalidad al ingreso en términos de los cambios económicos y sociales que se registran a lo largo del proceso de industrialización.[32] Piensa este autor que cada familia, consciente o inconscientemente, sopesa el "valor" y el costo de un

[32] J. J. Spengler, "Values and Fertility Analysis", *Demography* 3, 1966, 109.

GRÁFICA 31. *Tasas de natalidad y producto nacional bruto* per capita

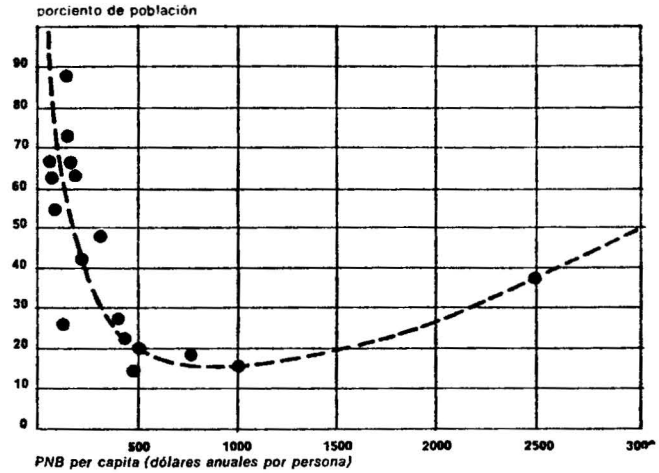


Las tasas de natalidad de diferentes países del mundo acusan una tendencia regular de descenso a medida que aumenta el PNB *per capita*. Más de la mitad de los habitantes del planeta están representados en la esquina superior izquierda de la gráfica, en donde el PNB *per capita* es inferior a 500 dólares anuales por persona, y las tasas de natalidad van de 40 a 50 nacimientos anuales por cada mil habitantes. Las dos principales excepciones a esa tendencia, Venezuela y Libia, son países que exportan petróleo, en donde la elevación del ingreso es muy reciente y la distribución del mismo altamente inequitativa.

FUENTE: Estados Unidos, Agencia Internacional para el Desarrollo, *Population Program Assistance*, Washington, D. C., Government Printing Office, 1970.

hijo adicional con los recursos de que dispone para dedicar al niño. Este proceso provoca, como lo muestra la gráfica 33, una actitud general hacia el tamaño de la

GRÁFICA 32. *Familias que desean cuatro o más hijos y producto nacional bruto* per capita



Personas enumeradas en diecisiete países en encuestas relativas a la planificación familiar indicaron cuántos hijos desearían tener. El porciento de encuestados que deseaban familias grandes (4 o más hijos) muestra una relación con el PNB promedio *per capita* comparable a la tendencia que aparece en la gráfica 31.

FUENTE: Bernard Berelson *et al.*, *Family Planning and Population Programs*, Chicago, University of Chicago Press, 1965.

familia que varía a medida que aumenta el ingreso.

El "valor" de un niño incluye consideraciones monetarias como la contribución del trabajo del niño a la granja familiar o al negocio, y la dependencia que al cabo del tiempo tendrán los padres con relación al hijo una vez que hayan llegado a una edad avanzada.

A medida que un país se industrializa, las leyes que rigen el trabajo infantil, la educación obligatoria y las medidas de seguridad social reducen el valor monetario potencial de un niño. El "valor" incluye también los beneficios más intangibles de un niño como objeto de amor, portador del apellido familiar, heredero de las propiedades familiares y como prueba de masculinidad. Estos beneficios tienden a ser importantes en cualquier sociedad, de suerte que la función de recompensa siempre tiene valor positivo; en las sociedades pobres donde casi no existen modos alternativos de satisfacción personal es particularmente importante.

El "costo" de un niño incluye los desembolsos financieros necesarios para satisfacer sus necesidades, los costos de oportunidad del tiempo que la madre dedica al cuidado del niño y el aumento de responsabilidad y la disminución de libertad para la familia como un todo. En una sociedad tradicional el costo de los hijos es muy bajo. No se añade espacio para albergar al nuevo niño, la educación y la atención médica son escasas y las necesidades de alimentación y vestido mínimas. Por lo general, la madre no ha recibido ninguna educación y no le atribuye valor a su tiempo. La familia no tiene, de antemano, libertad para hacer algo que el niño pudiera impedir, y la amplia estructura familiar atendería al niño en caso de que fuera necesario, por ejemplo, que uno de los padres tuviera que salir a buscar trabajo.

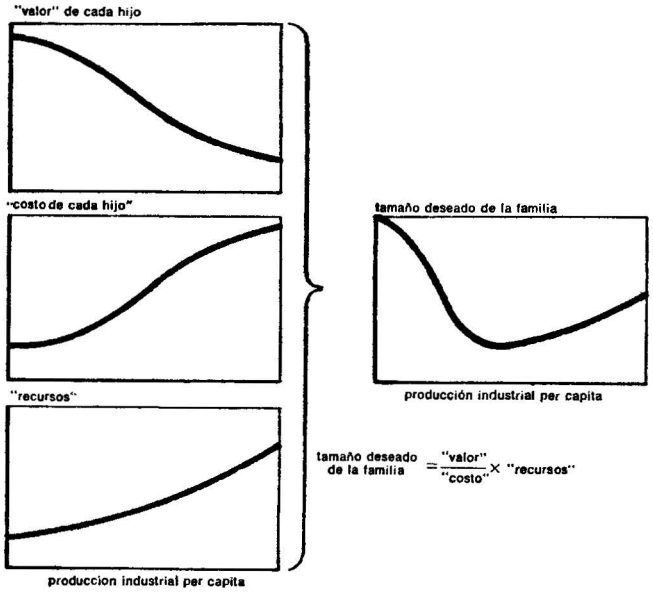
No obstante, a medida que aumenta el ingreso familiar los niños se benefician más allá de lo que exigen las necesidades básicas de alimento y vestido. Tienen mejor albergue y atención médica, y la educación

se vuelve necesaria y costosa. Los viajes, las diversiones y la alternativa de un empleo para la madre son posibilidades incompatibles con una familia numerosa. La amplia estructura familiar tiende a desaparecer con la industrialización y una remplazante que toma a su cargo el cuidado del niño resulta demasiado cara.

Generalmente, los "recursos" que una familia tiene que dedicar a un niño aumentan con el ingreso. Cuando el ingreso es muy elevado, las curvas de valor y de costo permanecen casi iguales con cada nuevo aumento del ingreso, y la curva de recursos se convierte en el factor dominante en la tasa compuesta deseada de natalidad; así, en países ricos como Estados Unidos, el tamaño deseado de la familia se convierte en función directa del ingreso. Debe subrayarse el hecho de que "recursos" es un concepto parcialmente psicológico en el sentido de que el ingreso efectivo actual debe ser modificado por una expectativa de ingreso futuro al planear el tamaño de la familia.

Hemos resumido todos estos factores sociales en un circuito de retroalimentación que entrelaza la producción industrial *per capita* y la tasa deseada de natalidad. El lado derecho de la gráfica 33 muestra la forma general de la relación. Con este eslabón no queremos sugerir que el ingreso creciente es el único determinante del tamaño deseado de la familia, ni siquiera que es un determinante directo. De hecho, incluimos un rezago entre la producción industrial *per capita* y el tamaño deseado de la familia para indicar que esta relación exige un ajuste social que puede completarse en una o dos generaciones. Una vez más, esta relación puede verse alterada por políticas futuras

GRÁFICA 33. *Tamaño deseado de la familia*



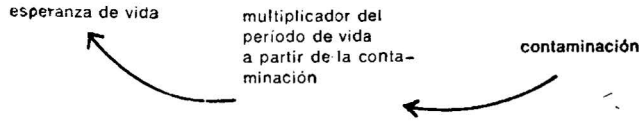
La representación esquemática de los determinantes económicos del tamaño de la familia sigue un análisis que se aproxima al costo-beneficio. La curva resultante resume el equilibrio entre valor y costo de los hijos y los recursos disponibles para su educación. Esta curva compuesta es similar a las curvas de las gráficas 31 y 32.

o por cambios sociales. Tal y como se presenta, refleja simplemente el comportamiento histórico de la sociedad humana. Donde quiera que se haya realizado el desarrollo económico, la tasa de natalidad ha disminuido. Donde todavía no se ha llevado a cabo la

industrialización, las tasas de natalidad se mantienen elevadas.

Efectos de la contaminación sobre el periodo de vida

En el modelo mundial hemos incluido también la posibilidad de que la contaminación influya las expectativas de vida de la población mundial. Esta relación la expresamos con un "multiplicador del periodo de vida a partir de la contaminación" —función que multiplica la expectativa de vida que de otra manera se obtendría (a partir de los valores de los alimentos y de los servicios médicos) por la contribución prevista de la contaminación. Si la contaminación fuera lo bastante grave como para reducir la expectativa de vida al 90 % del valor que alcanzaría en ausencia de contaminación, el multiplicador sería igual a 0.9. La relación de la contaminación con la expectativa aparece a continuación:



Los datos globales acerca del efecto de la contaminación sobre las expectativas de vida son insuficientes. Poco a poco aparece la información acerca de la toxicidad de algunos contaminadores para los seres humanos, por ejemplo, el plomo y el mercurio. Los intentos de relacionar estadísticamente la concentración

dada de un contaminador y la mortalidad de una población sólo se han hecho en lo que se refiere a la contaminación del aire.[33]

Aunque no disponemos de pruebas cuantitativas, es indudable que existe una relación entre la contaminación y el estado de salud de los seres humanos. Según un informe reciente del Consejo sobre la Calidad Ambiental:

> Episodios graves de contaminación del aire han demostrado cómo ese fenómeno puede deteriorar la salud. Investigaciones posteriores han producido un cuerpo cada vez mayor de evidencias que indican que aun los efectos a largo plazo de la exposición a bajas concentraciones de contaminantes pueden afectar la salud y causar enfermedades crónicas, y aun la muerte prematura, especialmente en los más vulnerables —los ancianos y quienes sufren enfermedades del aparato respiratorio. Las principales enfermedades relacionadas con la contaminación del aire incluyen el enfisema, la bronquitis, el asma y el cáncer pulmonar.[34]

¿Cuál será el efecto del aumento del nivel de la contaminación global sobre el periodo de vida? No podemos responder con precisión a esta pregunta, pero sabemos que la contaminación tendrá algún efecto. Luego en el modelo mundial sería peor omitir su influencia sobre las expectativas de vida que incluirla con la mejor conjetura que podamos hacer acerca de su magnitud. Posteriormente explicamos nuestro enfoque en

[33] Lester B. Lave y Eugene P. Seskin, "Air Pollution and Human Health", *Science* 169, 1970, 723.

[34] *Second Annual Report of the Council on Environmental Quality*, pp. 105-106.

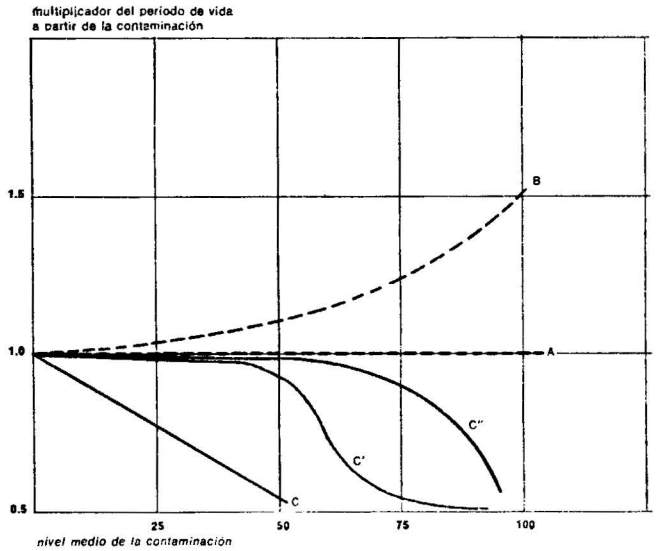
cuanto a la "mejor conjetura" y lo ilustramos en la gráfica 34.

Si un incremento de la contaminación de cien veces sobre su nivel global actual careciera en absoluto de efecto sobre el periodo de duración de la vida, la línea recta A de la gráfica 34 sería la representación correcta de la relación que buscamos. La expectativa de vida no tendría relación con la contaminación. Desde luego que la curva A es muy poco probable, puesto que sabemos que muchas formas de contaminación están dañando el cuerpo humano. La curva B o cualquier otra similar que se eleve por encima de la línea A es todavía menos probable porque indicaría que con más contaminación se aumentaría el promedio de vida. Podemos suponer que la relación entre la contaminación y el periodo de vida será negativa, aunque no sepamos cuál será la forma o la inclinación de la curva que la represente. Cualquiera de las curvas C o cualquier otra curva negativa puede representar la función correcta.

En un caso como éste, nuestro procedimiento consiste en hacer diferentes estimaciones del efecto probable de una variable sobre otra, y luego probar en el modelo cada estimación. Si el comportamiento del modelo es muy sensible a pequeños cambios en una curva, sabemos que debemos obtener más información antes de incluirlo. Si (como en este caso) el modo de comportamiento de todo el modelo no se altera sustancialmente por cambios en la curva, hacemos un cálculo conservador de su forma e incluimos los valores correspondientes en nuestro cálculo. En la gráfica 34 la curva C″ es la que consideramos que describe

con mayor precisión la relación entre expectativas de vida y contaminación. Esta curva supone que un au-

GRÁFICA 34. *El efecto de la contaminación sobre el periodo de vida*



La relación entre el nivel de contaminación y el promedio de vida humana puede seguir muchas curvas diferentes. La línea *A* indica que la contaminación no tiene ningún efecto sobre el periodo de vida (las expectativas normales de vida se multiplican por 1.0). La curva *B* representa un aumento del periodo de vida a medida que aumenta la contaminación (la expectativa normal de vida se multiplica por un número mayor a 1.0). Las curvas *C*, *C'* y *C''* reflejan hipótesis distintas acerca de los efectos perniciosos de la contaminación sobre el periodo de vida. La relación que se utiliza en el modelo mundial tiene la misma forma que la curva *C''*.

[illegible]nto de 10 veces en la contaminación global casi no tendría ningún efecto sobre el periodo de vida, mientras que un incremento de 100 veces tendría un efecto muy grande.

LA UTILIDAD DEL MODELO MUNDIAL

Las relaciones que hemos examinado anteriormente comprenden sólo tres de los cientos de eslabones causales que constituyen el modelo mundial. Aquí los hemos escogido para presentarlos como ejemplo del tipo de insumos de información que hemos utilizado y la manera como los hemos utilizado. En muchos casos la información disponible es incompleta; sin embargo, creemos que por diversas razones el modelo basado en esta información resulta útil incluso a este nivel preliminar.

Primero, esperamos que al plantear cada relación como hipótesis y al subrayar su importancia en el sistema mundial, podamos despertar discusiones e investigaciones que llegarán a mejorar los datos con los que hemos trabajado. Este interés es especialmente importante en las áreas en las que interactúan diferentes sectores del modelo (la contaminación y la duración del periodo de la vida humana), donde será necesaria investigación interdisciplinaria.

Segundo, aun en ausencia de mejores datos, la información de que ahora disponemos es suficiente para generar modos básicos de comportamiento válidos para el sistema mundial. Esto es así dado que la estructura del circuito de retroalimentación del modelo es una determinante mucho más importante del comporta-

miento del modelo que los números exactos utilizados para cuantificar circuitos de retroalimentación. Aun cambios más bien grandes en los insumos de información no alteran por lo general el *modo* de comportamiento, como lo veremos en las páginas siguientes. Los cambios numéricos pueden afectar el *periodo* de una oscilación, la *tasa* de crecimiento o el *tiempo* de un colapso, pero no afectarán el hecho de que el modo básico de comportamiento sea oscilación, crecimiento o colapso.* Como pretendemos utilizar el modelo mundial únicamente para responder a las preguntas que plantean los modos de comportamiento, y no para formular predicciones exactas, nos interesa ante todo la exactitud de la estructura del circuito y sólo de manera secundaria la precisión de los datos. Desde luego que cuando empecemos a buscar datos detallados de corto plazo, los números exactos serán más importantes.

Tercero, si quienes toman las decisiones a cualquier nivel tuvieran acceso a predicciones precisas y a análisis científicamente acertados de políticas alternativas, seguramente que no nos molestaríamos en construir o publicar un modelo de simulación basado en conocimientos parciales. Por desgracia no existe un modelo perfecto para la evaluación de las cuestiones de políticas a seguir más importantes que se plantean en la actualidad. Por el momento nuestras únicas alternativas a un modelo como éste, basado en conocimientos

* La importancia de la estructura frente a los números es un concepto muy difícil de presentar sin ejemplos más amplios a partir de la observación y modelación de la dinámica de sistemas. Para una discusión más amplia sobre este punto ver el Capítulo 6 de J. W. Forrester, *Urban Dynamics*, Cambridge, Mass., MIT Press, 1969.

parciales, son modelos mentales basados en una mezcla de información incompleta y de intuición, que generalmente sirve de base a la mayoría de las decisiones políticas. Un modelo dinámico maneja la misma información incompleta, pero permite la organización de la información, que se ha obtenido de fuentes muy diversas, en una estructura de circuitos de retroalimentación que puede ser analizada con exactitud. Una vez reunidas y escritas todas las hipótesis, pueden ser expuestas a la crítica y puede probarse la respuesta del sistema a las políticas alternativas.

Comportamiento del modelo mundial

Nos encontramos por fin en situación de considerar seriamente las preguntas que nos planteamos al iniciar este capítulo. A medida que el sistema mundial crezca hacia sus límites últimos ¿cuál será su modo de comportamiento más probable? A medida que se nivelan las curvas de crecimiento exponencial ¿habrá algún cambio en las relaciones existentes actuales? ¿Cómo será el mundo cuando el crecimiento llegue a su fin?

Desde luego que existen muchas respuestas posibles a estas preguntas. Examinaremos diversas alternativas, cada una de ellas dependiente de un cuerpo diferente de hipótesis acerca de cómo responderá la sociedad humana a los problemas que surjan de los diversos límites al crecimiento.

Empecemos por suponer que en el futuro no habrá grandes cambios ni en los valores humanos ni en el funcionamiento del sistema global población-capital, tal y como ha operado en los últimos cien años. En

la gráfica 35 aparecen los resultados de esta hipótesis. Nos referiremos a este resultado de la computadora como a la "corrida estándar" y lo utilizaremos para compararlo con las corridas basadas en hipótesis posteriores. En esa misma gráfica la escala horizontal representa el tiempo en años de 1900 a 2100. Con la computadora hemos graficado el progreso en el tiempo de ocho cantidades:

———	población (número total de personas)
— — —	producción industrial *per capita* (equivalente anual en dólares por persona)
———	alimentos *per capita* (equivalente anual en granos-kilogramo por persona)
●●●●●●●	contaminación (múltiplo del nivel de 1970)
—●—●—	recursos no renovables (fracción de las reservas de 1900 aún restantes)
B	tasa bruta de natalidad (nacimientos anuales por cada 1 000 personas)
D	tasa bruta de mortalidad (defunciones anuales por cada 1 000 personas)
S	servicios *per capita* (equivalente anual en dólares por persona)

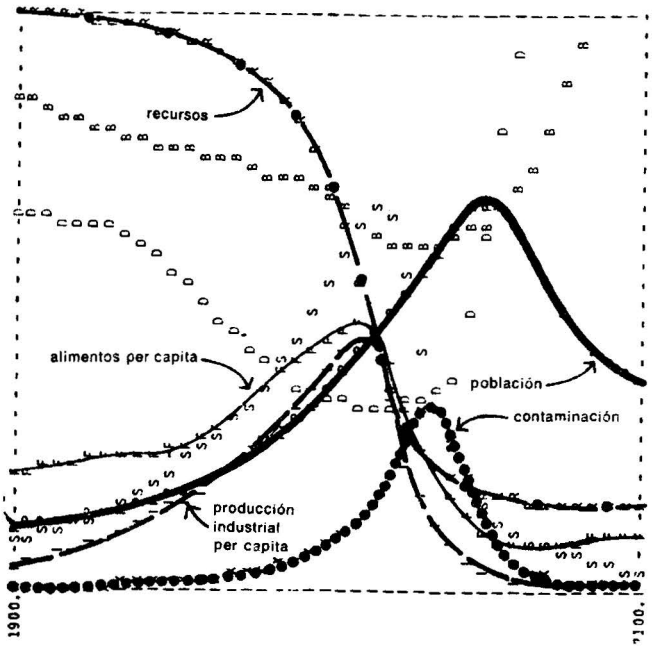
Cada una de estas variables está graficada en una escala vertical diferente. Hemos omitido deliberadamente las escalas verticales y hemos trazado la escala horizontal de tiempo de manera un poco vaga porque queremos subrayar los modos generales del comportamiento de estos resultados de la computadora, y no los valores numéricos que son meramente aproximativos.

No obstante, las escalas son exactamente iguales en todas las corridas de la computadora que aquí presentamos, de manera que podemos comparar con alguna facilidad los resultados de los diferentes programas.

En el modelo todos los niveles (población, capital, contaminación) se inician con los valores de 1900. De ese año hasta 1970 las variables que aparecen en la gráfica 35 (y otras muchas incluidas en el modelo, pero que no aparecen en la gráfica) generalmente concuerdan con sus valores observados en la medida en que los conocemos. La población se eleva de 1 600 millones en 1900 a 3 500 millones en 1970. Aunque la tasa de natalidad disminuye gradualmente, la tasa de mortalidad desciende con mayor rapidez, sobre todo después de 1940, y la tasa de incremento de la población se eleva. La producción industrial, los alimentos y los servicios *per capita* aumentan exponencialmente. En 1970, la base de recursos es todavía igual al 95 % de su valor en 1900, pero luego disminuye en forma espectacular, a medida que la población y la producción industrial siguen creciendo.

El modo de comportamiento del sistema que muestra la gráfica 35 es claramente una extralimitación y un colapso. En esta corrida el colapso se presenta debido al agotamiento de los recursos naturales no renovables. El acervo industrial crece hasta un nivel que exige un gran insumo de recursos. En el proceso mismo de ese crecimiento se agota una gran fracción de las reservas de los recursos disponibles. A medida que se elevan los precios de los recursos y se agotan las minas, deberá utilizarse cada vez más capital para obtener los recursos, y el capital que pudiera invertirse para el cre-

GRÁFICA 35. *Secuencia tipo del modelo mundial*



La secuencia "tipo" del modelo mundial supone que ningún cambio importante ocurrirá en las relaciones físicas, económicas o sociales que han gobernado históricamente el desarrollo del sistema mundial. Todas las variables que aparecen en la gráfica siguen los valores históricos desde 1900 hasta 1970. Los alimentos, la producción industrial y la población crecen exponencialmente hasta que la base de recursos, que disminuye con gran rapidez, lleva forzosamente a una pérdida de velocidad del crecimiento industrial. Dados los rezagos naturales en el sistema, tanto la población como la contaminación siguen aumentando durante algún tiempo después de que se haya al-

cimiento futuro será menor. Por último, la inversión no puede mantenerse a la par con la depreciación, y la base industrial se viene abajo llevándose consigo los sistemas agrícolas y de servicios que dependen de insumos industriales (fertilizantes, plaguicidas, laboratorios médicos, computadoras y, especialmente, energía para la mecanización). Durante un corto tiempo la situación es particularmente grave porque la población sigue aumentando en virtud de los rezagos inherentes a la pirámide de edades y proceso de ajuste social. En fin, la población disminuye cuando la falta de alimentos y de servicios de salud hacen subir la tasa de mortalidad.

Los momentos exactos en que se llevarán a cabo estos acontecimientos carecen de importancia, dada la gran agregación y las muchas imprecisiones del modelo. No obstante, es importante señalar que el crecimiento se detiene mucho antes del año 2100. En cada uno de los casos inciertos hemos tratado de hacer las previsiones más optimistas en cuanto a las cantidades desconocidas, y también hemos hecho caso omiso de eventualidades tales como guerras y epidemias que puedan poner fin al crecimiento mucho antes de lo que indica nuestro modelo. En otras palabras, el modelo está sesgado para permitir que el crecimiento continúe durante mucho más tiempo del que probablemente continuará en el mundo real. *Así pues, podemos afirmar con alguna certeza que, con base en la hipó-*

canzado el punto máximo de la industrialización. Por fin se detiene el crecimiento de la población en virtud de la elevación de la tasa de mortalidad, debida a la disminución de la disponibilidad de alimentos y de servicios médicos.

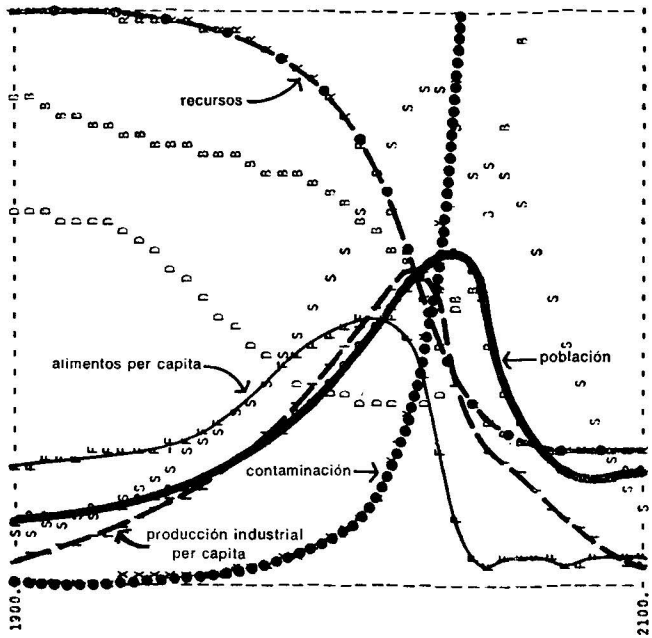
tesis de que el sistema actual no sufrirá ningún cambio de importancia, el crecimiento industrial y el demográfico seguramente se detendrán a más tardar en el transcurso del próximo siglo.

El sistema de la gráfica 35 se viene abajo a causa de una crisis de recursos. ¿Y qué sucedería si nuestra estimación del acervo global de recursos estuviera equivocada? En la gráfica 35 suponíamos que en 1970 había una reserva de recursos para 250 años, conforme a las tasas de uso de 1970. Si se observa la columna del índice estático de reservas del cuadro de recursos del capítulo II, se comprobará que esta hipótesis es realmente optimista. Pero seamos aún más optimistas y supongamos que nuevos descubrimientos o avances tecnológicos puedan *duplicar* el monto de los recursos económicamente disponibles. La gráfica 36 muestra la corrida de la computadora de acuerdo con esta hipótesis.

El modo general de comportamiento de la gráfica 36 —crecimiento y colapso— es muy similar al de la corrida tipo. En este caso la fuerza principal que frena el crecimiento es un aumento repentino del nivel de contaminación, provocado por una sobrecarga de la capacidad natural de absorción del medio ambiente. La tasa de mortalidad se eleva abruptamente a partir de la contaminación y de la falta de alimentos. Al mismo tiempo los recursos se agotan agudamente, a pesar de que el monto disponible de los mismos se ha duplicado, simplemente porque unos pocos años más de crecimiento exponencial de la industria bastan para consumir estos recursos adicionales.

¿Es que forzosamente el futuro del sistema mundial

GRÁFICA 36. *El modelo mundial con las reservas de recursos naturales duplicadas*



Para probar la hipótesis del modelo acerca de los recursos disponibles, hemos duplicado las reservas de recursos existentes en 1970, manteniendo idénticas a las de la secuencia tipo las demás hipótesis. Ahora la industrialización puede alcanzar un nivel superior puesto que los recursos no se agotan con tanta rapidez. La planta industrial más grande libera, sin embargo, contaminación a una tasa tal que satura los mecanismos ambientales de absorción de la contaminación. Esta última se eleva con gran rapidez y provoca un aumento inmediato de la tasa de mortalidad y la disminución de la producción de alimentos. Al final de la secuencia, los recursos se han agotado a pesar de la cantidad inicialmente disponible.

ha de ser el crecimiento y luego el colapso en una aciaga existencia vacía? Sólo si hacemos realidad la hipótesis inicial de que no se modificará la manera actual en que hacemos las cosas. Tenemos amplia evidencia del ingenio y de la flexibilidad social de la Humanidad. Desde luego que existen cambios posibles en el sistema, algunos de los cuales ya están ocurriendo. La Revolución Verde empieza a producir sus beneficios agrícolas en países no industrializados. El conocimiento acerca de los métodos de regulación de la natalidad se extiende apresuradamente. Usemos pues el modelo mundial como instrumento para probar las posibles consecuencias de las nuevas tecnologías que prometen ampliar los límites del crecimiento.

IV. LA TECNOLOGÍA Y LOS LÍMITES DEL CRECIMIENTO

> ¿Hacia dónde conduce el progreso industrial a la sociedad? Cuando cese el progreso ¿en qué condiciones podemos esperar que deje a la Humanidad?
>
> JOHN STUART MILL, 1857

AUNQUE en la historia del esfuerzo humano se encuentran numerosos casos en que no se ha logrado vivir dentro de los límites físicos, la tradición cultural de muchos pueblos que dominan actualmente el mundo está formada por sus éxitos en la superación de esos límites. En los últimos trescientos años la Humanidad ha reunido una cantidad impresionante de logros en su lucha contra los límites aparentes de la población y del crecimiento económico, a través de una serie de avances tecnológicos espectaculares. Como la historia reciente de una gran parte de la sociedad ha sido una sucesión de éxitos, es natural que mucha gente espere que los grandes adelantos creados por la tecnología sigan elevando indefinidamente los límites físicos. Estas personas hablan del futuro con un optimismo tecnológico total.

Las materias primas o la energía no acusan límites sustanciales visibles que no se puedan resolver por alteraciones de la estructura de los precios, por la susti-

tución de productos, por avances tecnológicos previsibles o por el control de la contaminación.[35]

Dada la capacidad actual del planeta para la producción de alimentos, y el potencial de producción adicional de alimentos si la tecnología moderna fuera plenamente empleada, es evidente que la raza humana tiene en sus manos el poder borrar el hambre del planeta —en uno o dos decenios.[36]

El dominio de la Humanidad sobre las inmensas, inanimadas e inextinguibles fuentes de energía y el acelerado avance de la tecnología que ha permitido hacer más con menos, con base en tecnología del mar, el aire y el espacio, han probado que Malthus estaba equivocado. La Humanidad puede, en apenas veinticinco años, lograr un éxito físico y económico completos.[37]

¿Podemos conciliar afirmaciones como las anteriores con la evidencia de los límites del crecimiento que hemos examinado aquí? ¿Pueden las nuevas tecnologías alterar la tendencia del sistema mundial al crecimiento y al colapso? Antes de aceptar o rechazar estas opiniones tan optimistas en cuanto a un futuro basado en la resolución de los problemas de la Humanidad a través de la tecnología, nos gustaría saber más acerca del efecto global de las nuevas tecnologías, a corto y a largo plazo, sobre los cinco sectores entrelazados del sistema población-capital.

[35] Frank W. Notestein, "Zero Population Growth: What Is It?", *Family Planning Perspectives* 2, junio de 1970, 20.

[36] Donald J. Bogue, *Principles of Demography*, Nueva York, John Wiley and Sons, 1969, p. 828.

[37] R. Buckminster Fuller, *Comprehensive Design Strategy*, World Resources Inventory, Phase II, Carbondale, Ill., University of Illinois, 1967, p. 48.

En el modelo mundial no aparece ninguna variable bajo el rubro "tecnología". Nos ha sido imposible sumar y generalizar las implicaciones dinámicas del desarrollo tecnológico, porque de sectores muy diferentes del modelo surgen tecnologías también diferentes que influyen sobre ellos. Los anticonceptivos, las semillas de alto rendimiento, la televisión y los pozos de petróleo en alta mar pueden considerarse desarrollos tecnológicos, pero cada uno de ellos desempeña un papel diferente en la alteración del comportamiento del sistema mundial. Por lo mismo, en el modelo debemos representar por separado cada tecnología propuesta, considerando cuidadosamente la manera como cada una de ellas pueda afectar a cada una de las hipótesis que hemos formulado acerca de los elementos del modelo. En esta parte del libro presentaremos algunos ejemplos de esta manera de enfocar la "evaluación de la tecnología", globalmente y a largo plazo.

Energía y recursos

La tecnología de la fisión nuclear controlada ya ha eliminado el inminente límite de los recursos de combustibles orgánicos. También es posible que el advenimiento de reactores rápidos de cría y aun los reactores nucleares de fusión amplíen de manera considerable la duración de los combustibles escindibles como el uranio. ¿Significa esto que el hombre ha dominado "inmensas, inanimadas e inextinguibles fuentes de energía" que liberarán cantidades ilimitadas de materias primas para sus plantas industriales? ¿Cuál será el efec-

to de un uso creciente de la energía nuclear sobre la disponibilidad de recursos en el sistema mundial?

Algunos expertos piensan que los abundantes recursos energéticos permitirán a la Humanidad descubrir y utilizar materiales que de otra manera serían inaccesibles (por ejemplo, los del fondo del mar); beneficiar minerales más pobres, incluso hasta la roca común; y reciclar los desechos sólidos y los metales que éstos contienen. Aun así, aunque ésta es una creencia muy generalizada, no es de ninguna manera universal, como lo indica la siguiente cita del geólogo Thomas Lovering:

> De hecho, una energía más barata reduciría muy poco los costos totales (principalmente el capital y el trabajo) que exigen la explotación y el procesamiento de la roca. Es más fácil deshacerse en el papel que en la práctica, de las enormes cantidades de granito ordinario inutilizable producidas por cada unidad de metal (en una proporción de por lo menos 2 000 a 1). Para recuperar los minerales buscados hay que dinamitar la roca y excavar pozos de depósito y de recuperación, e inundarlos con soluciones que contengan sustancias químicas extractivas especiales. Luego deben aplicarse medidas para evitar la pérdida de las soluciones y la subsecuente contaminación del agua subterránea y superficial. Estas operaciones son necesarias aun a pesar de la energía nuclear.[38]

No obstante, supongamos que los optimistas tecnológicos tengan razón y que la nergía nuclear resolverá

[38] Thomas S. Lovering, "Mineral Resources from the Land", en Committee on Resources and Man, *Resources and Man*, San Francisco, Calif., W. H. Freeman and Company, 1969, pp. 122-123.

el problema que los recursos plantean para el mundo. La gráfica 37 muestra el resultado de la inclusión de esa hipótesis en el modelo mundial. Para expresar la posibilidad de utilizar un grado menor de pureza o de explotar el fondo del mar, hemos duplicado el monto total de los recursos disponibles, como lo hicimos en la gráfica 36. También suponemos que a partir de 1975 los programas de reprocesamiento y de reciclaje reducirán el insumo de recursos vírgenes que exige cada unidad de producto industrial a un cuarto del monto que actualmente se utiliza. Admitamos que ambas hipótesis son más optimistas que realistas.

En la gráfica 37 no aparece la escasez de recursos. La creciente contaminación es la que frena el crecimiento, como en la gráfica 36. La ausencia de obstáculos en cuanto a los recursos permite que la producción industrial, los alimentos y los servicios se eleven ligeramente por encima de los niveles de la gráfica 36, antes de que caigan. La población alcanza más o menos el nivel máximo, como en la gráfica 36, pero cae más súbitamente y a un nivel final más bajo.

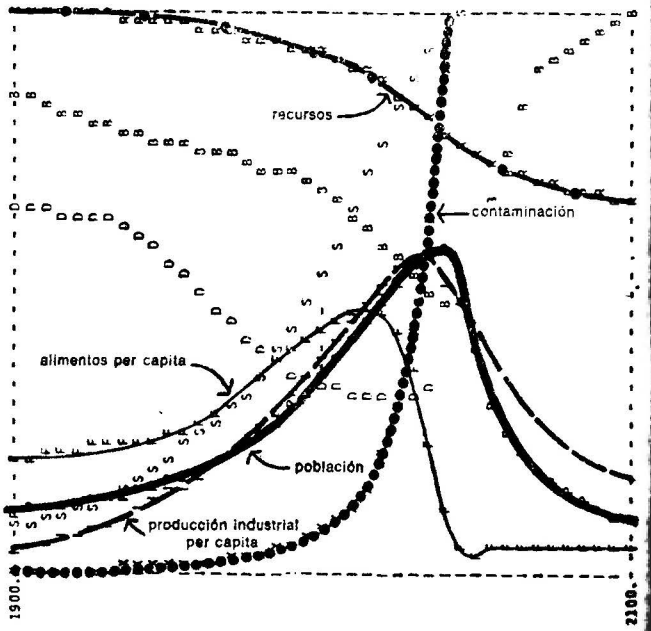
Así, parecería que los recursos "ilimitados" no son la clave del crecimiento sostenido en el sistema mundial. Por lo visto, si queremos evitar el colapso del sistema, el ímpetu económico que permite la disponibilidad de recursos debe ir aparejado con frenos a la contaminación.

Control de la contaminación

En la gráfica 37 partimos de la hipótesis de que el advenimiento de la energía nuclear no aumentaría, pero

tampoco disminuiría, el monto promedio de la contaminación generada por cada unidad de producción industrial. Todavía no está muy claro el efecto ecológico de la energía nuclear. Si bien algunos de los productos derivados del consumo de combustibles orgánicos, como el CO_2 y el bióxido de azufre, disminuirán, los derivados radiactivos, por su parte, aumentarán. Seguramente el reciclaje de los recursos reducirá la contaminación generada por los desechos sólidos y por algunos metales tóxicos. No obstante, la adopción de la energía nuclear probablemente tendrá un efecto muy pequeño sobre la mayoría de los demás tipos de contaminación, incluidos los productos derivados de muchos procesos de manufactura, la contaminación termal y la generada por las prácticas agrícolas.

GRÁFICA 37. *El modelo mundial con recursos "ilimitados"*

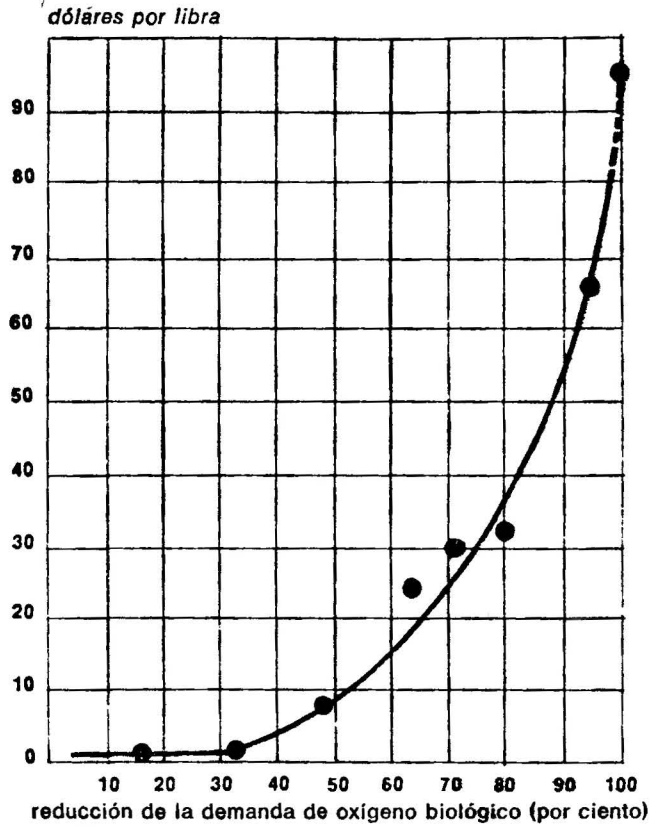


Dos hipótesis eliminan el problema del agotamiento de recursos en el sistema mundial: primero, que la energía nuclear "ilimitada" duplicará las reservas de recursos explotables, y segundo, que la energía nuclear posibilitará la elaboración y la realización de programas de sustitución y reciclaje. Si éstos son los únicos cambios introducidos en el sistema, la creciente contaminación frenará el crecimiento, como en la gráfica 36.

Sin embargo, es probable que una sociedad mundial con energía nuclear muy accesible pueda controlar a través de medios tecnológicos la generación de contaminación industrial. Las áreas industrializadas ya están instalando y desarrollando instrumentos de control de la contaminación en gran escala. ¿Cómo cambiaría el comportamiento del modelo si se instituyera una política de estricto control de la contaminación, digamos, en 1975?

El control estricto de la contaminación no significa necesariamente el control *total* de la misma. Obstáculos tanto tecnológicos como económicos impiden que la contaminación sea eliminada por completo. Desde el punto de vista económico, el costo del control de la contaminación se eleva a medida que se elevan las normas de emisión. La gráfica 38 muestra el costo de la reducción de la contaminación del agua vertida por una fábrica de azúcar de remolacha como función de los desechos orgánicos removidos. Si no se permitiera que *ningún* desecho orgánico saliera de la fábrica, el

GRÁFICA 38. *Costo de la reducción de la contaminación*



El costo adicional que supone la reducción de los desechos orgánicos de una planta con capacidad de 2 700 toneladas diarias de azúcar de remolacha, registra un pronunciado ascenso a medida que las normas de emisión se acercan a la pureza absoluta. La

costo sería cien veces mayor que si únicamente se eliminara del eflujo el 30 % de los desechos. El cuadro 6 muestra una tendencia similar en los costos previstos para la reducción de la contaminación atmosférica en una ciudad de Estados Unidos.[39]

CUADRO 6. *Costo de la reducción de la contaminación atmosférica en una ciudad de Estados Unidos*

Porciento de la reducción de SO_2	*Porciento de la reducción de partículas*	*Costo previsto*
5	22	$ 50 000
42	66	7,500 000
48	69	26,000 000

En la gráfica 39 se presenta el resultado del modelo mundial suponiendo *tanto* la reducción del agotamiento de los recursos que aparecen en la gráfica 37, *como* una reducción a la cuarta parte de la generación de contaminación proveniente de todas las fuentes, a partir

reducción hasta del 30 % de la demanda de oxígeno biológico (una medida del oxígeno que exige la descomposición de los desechos) cuesta menos de un dólar por libra. La reducción de más del 65 % exige más de 20 dólares por cada libra adicional removida, y si la reducción es del 95 % cada libra eliminada costará 60 dólares.

FUENTE: *Second Annual Report of the Council on Environmental Quality*, Washington, D. C., Government Printing Office, 1971.

[39] *Second Annual Report of the Council on Environmental Quality*, p. 118.

de 1975. La reducción hasta menos de un cuarto de la actual tasa de generación de contaminación quizá sea poco realista por el costo y por la dificultad que representa la eliminación de ciertos tipos de la misma, como la contaminación térmica y los radioisótopos derivados de la generación de energía nuclear, los restos de los fertilizantes y las partículas de asbesto que dejan las balatas empleadas en los frenos. Suponemos que esa reducción tan marcada de la generación podría darse global y rápidamente a fin de experimentar con el modelo, mas no porque creamos que sea políticamente posible dadas las instituciones prevalecientes.

Como aparece en la gráfica 39, la política de control de la contaminación tiene en efecto éxito en la prevención de la crisis de contaminación que registra la secuencia anterior. Tanto la población como la producción industrial por persona se elevan muy por encima de los valores máximos que alcanzan en la gráfica 37, y aun así el agotamiento de los recursos y la contaminación nunca se convierten en verdaderos problemas. Sin embargo, todavía opera el modo de comportamiento caracterizado por extralimitación, y esta vez el colapso aparece en virtud de la escasez de alimentos.

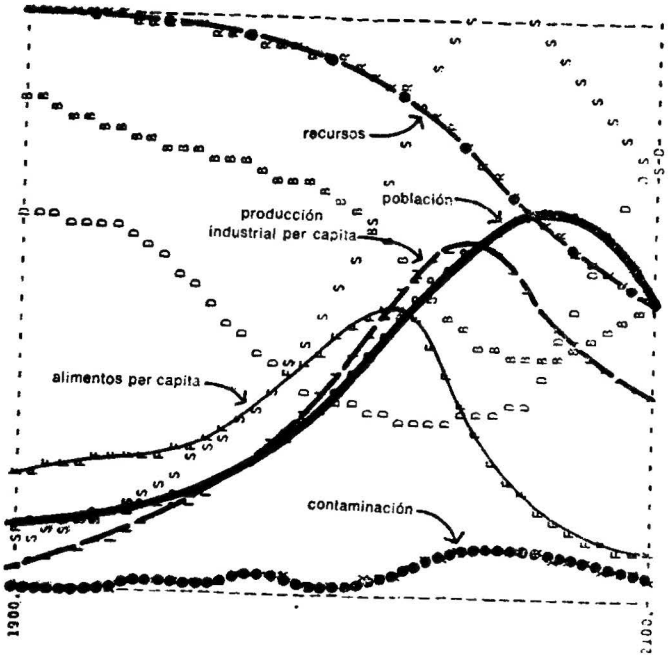
Mientras la producción industrial se eleve en la gráfica 39, el rendimiento de cada hectárea de tierra sigue elevándose (hasta un máximo de siete veces el rendimiento promedio de 1900) y se explotan nuevas tierras. No obstante, al mismo tiempo, parte de la tierra cultivable se utiliza con fines urbano-industriales, y parte se erosiona, sobre todo por las actividades

agrícolas altamente capitalizadas. Al fin se alcanza el límite de la tierra cultivable. Después de ese punto, a medida que sigue aumentando la población los alimentos *per capita* disminuyen. A medida que la escasez de alimentos se hace más obvia, la producción industrial se desvía hacia la formación de capital agrícola para aumentar los rendimientos de la tierra. Queda menos capital disponible para inversión y, por último, la producción industrial *per capita* empieza a descender. Cuando la disponibilidad de alimentos *per capita* se reduce hasta el nivel de subsistencia, la tasa de mortalidad empieza a aumentar y pone fin al crecimiento de la población.

Incremento de los rendimientos de la producción de alimentos y planificación familiar

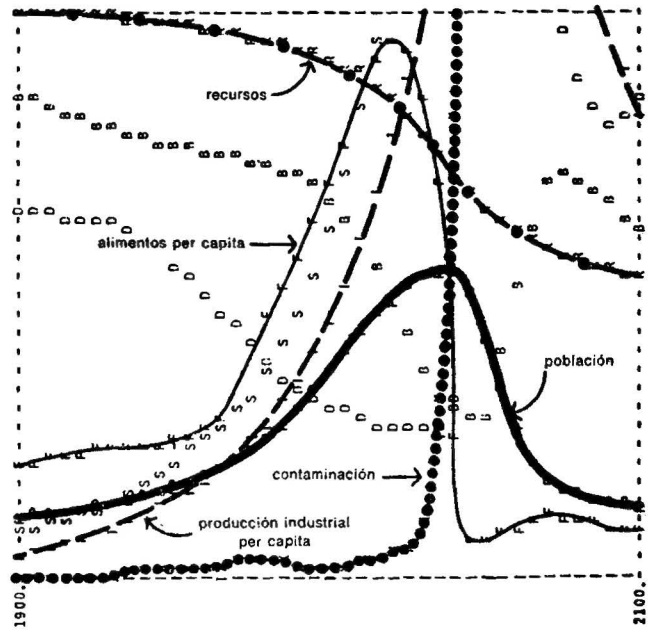
En la gráfica 39 el problema puede ser considerado como de muy pocos alimentos o de demasiada población. La respuesta tecnológica a la primera situación sería producir más alimentos, tal vez a través de una mayor difusión de los principios de la Revolución Verde. (El desarrollo de nuevas variedades de cereales de alto rendimiento que constituye la Revolución Verde ha sido incluido en las ecuaciones originales del modelo.) La solución tecnológica al segundo problema consistiría en proporcionar mejores métodos de regulación de la natalidad. Los resultados de estos dos cambios, instituidos en 1975, junto con los cambios en el uso de los recursos y en la generación de contaminación que ya hemos examinado, aparecen separada y simultáneamente en las gráficas 40, 41 y 42.

GRÁFICA 39. *El modelo mundial con recursos "limitados" y control de la contaminación*



Para evitar el agotamiento de los recursos y los problemas de contaminación que aparecen en secuencias anteriores del modelo, en 1975 se añade un mayor progreso tecnológico. Aquí suponemos que la generación de contaminación por unidad de producción industrial y agrícola puede reducirse a un cuarto del valor que tenía en 1970. Las políticas relativas a los recursos son las mismas de la gráfica 37. Estos cambios permiten que la población y la industria crezcan hasta alcanzar el límite ulterior de la tierra cultivable. La disponibilidad de alimentos *per capita* desciende y a medida que el capital se desvía hacia la agricultura el ritmo del crecimiento industrial disminuye.

GRÁFICA 40. *El modelo mundial con recursos "ilimitados", control de la contaminación e incremento de la productividad agrícola*



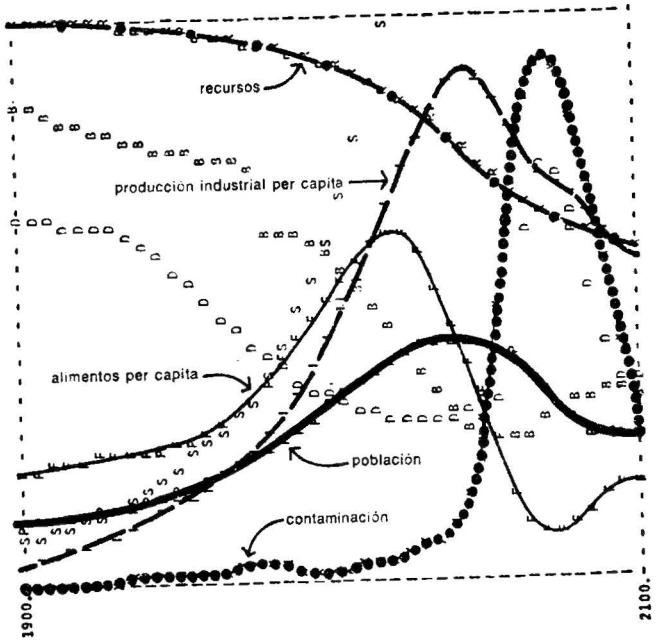
Para evitar la crisis de alimentos de la secuencia anterior, en 1975, además de las políticas de contaminación y de recursos de las gráficas anteriores, se duplica el rendimiento medio de la tierra. La combinación de estas tres políticas elimina tantos obstáculos al crecimiento que la población y la industria alcanzan niveles muy altos. Aunque cada unidad de producto industrial genera mucha menos contaminación, la producción total aumenta lo bastante como para crear una crisis de contaminación que pone fin al crecimiento.

En la gráfica 40 suponemos que el rendimiento normal por hectárea de toda la tierra del planeta puede aumentarse por un factor de 2. El resultado es un gran aumento en los alimentos, la producción industrial y los servicios *per capita*. La producción industrial media por persona para todo el mundo casi iguala el nivel de Estados Unidos en 1970, pero sólo por un breve periodo. A pesar de la política de estricto control de la contaminación, que reduce la contaminación por unidad de producto en un factor de cuatro, la industria crece tan rápidamente que en poco tiempo produce el cuádruple. Así, el nivel de la contaminación se eleva a pesar de la política de control, y la crisis de contaminación frena el crecimiento como en la gráfica 37.

La gráfica 41 muestra la política tecnológica alternativa —regulación perfecta de la natalidad, practicada voluntariamente a partir de 1975. El resultado no será detener por completo el crecimiento demográfico, porque una política como ésta sólo impide el nacimiento de los niños *no deseados*. Sin embargo, la tasa de natalidad decrece de manera muy marcada, y la población crece con mayor lentitud que en las gráficas 39 y 40. En esta secuencia una crisis de alimentos, que se presenta 20 años después de lo que aparece en la gráfica 39, frena el crecimiento.

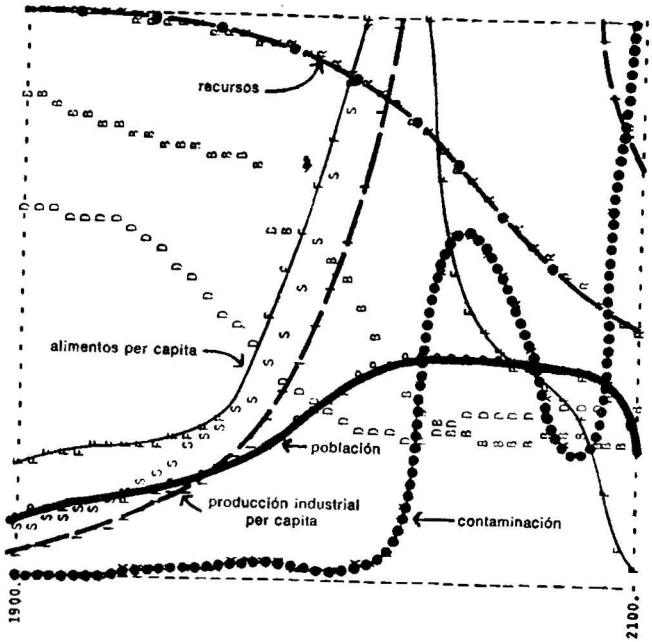
En la gráfica 42 aplicamos simultáneamente los rendimientos crecientes de la tierra y una regulación perfecta de la natalidad. Aquí utilizamos una política tecnológica en todos los sectores del modelo mundial, para esquivar de alguna manera los diversos límites al crecimiento. El sistema del modelo produce energía nuclear, recicla los recursos y explota las reservas mi-

GRÁFICA 41. *El modelo mundial con recursos "ilimitados", control de la contaminación y regulación "perfecta" de la natalidad*



En lugar de un aumento en la producción de alimentos se pone a prueba una política de aumento de la efectividad de la regulación de la natalidad, para evitar el problema de los alimentos. Dado que la planificación familiar es voluntaria y no implica ningún cambio en el sistema de valores, la población sigue creciendo pero con más lentitud que en la gráfica 39. Sin embargo, la crisis de alimentos se aplaza sólo uno o dos decenios.

GRÁFICA 42. *El modelo mundial con recursos "ilimitados", control de la contaminación, incremento de la productividad agrícola y regulación "perfecta" de la natalidad*



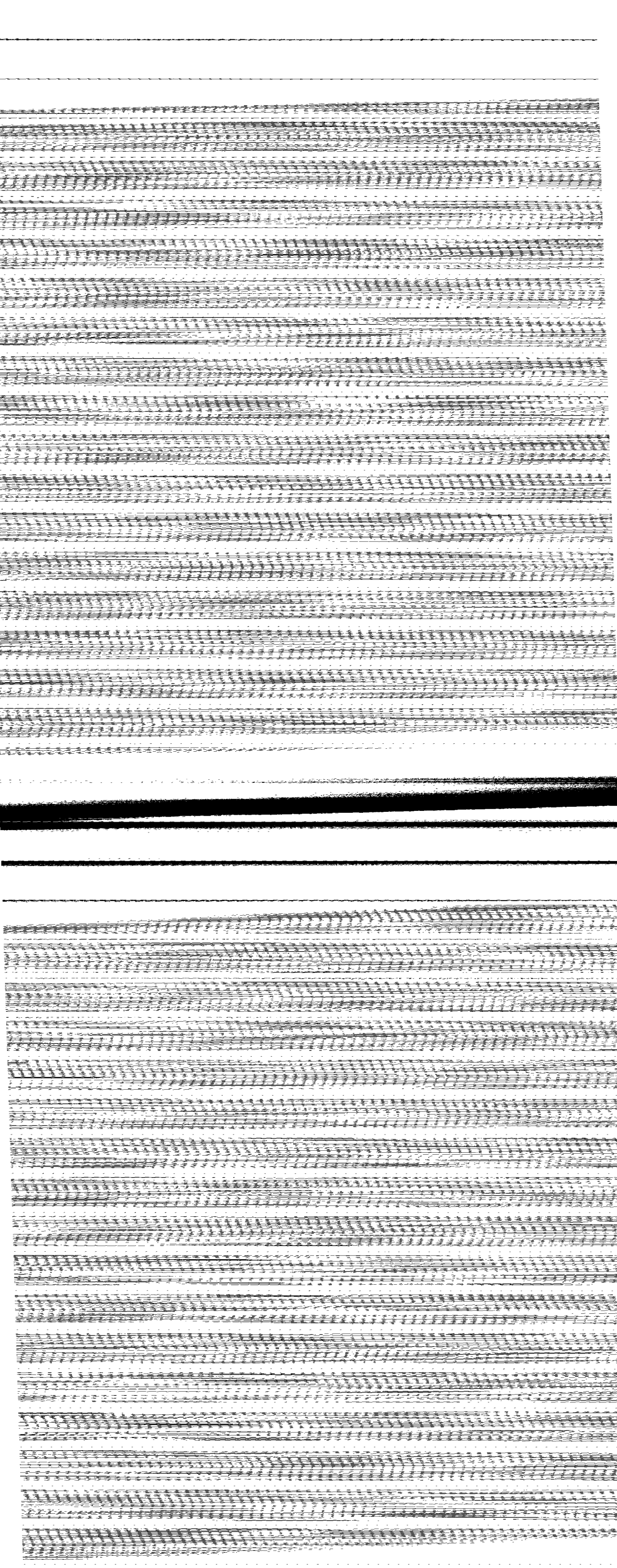
Introducimos en el modelo mundial cuatro políticas tecnológicas simultáneas en un intento de exitar el comportamiento crecimiento-colapso de secuencias anteriores. Los recursos son explotados plenamente y el 75 % de los que se utilizan son reciclados. La generación de contaminación se reduce a un cuarto de su valor en 1970. Los rendimientos de la tierra se duplican y se ponen a disposición de la población métodos efectivos de regulación de la natalidad. El resultado logra temporalmente una población constante con un ingreso mundial me-

neras más remotas; controla tantos contaminantes como sea posible; obtiene rendimientos insospechados de la tierra, y produce únicamente niños deseados por sus padres. Aun así el resultado vuelve a ser el fin del crecimiento antes del año 2100. En este caso tres crisis simultáneas frenan el crecimiento. El uso exagerado de la tierra provoca la erosión y la disminución de la producción de alimentos; una población próspera (pero no tan próspera como la actual población de Estados Unidos) provoca un grave agotamiento de los recursos. La contaminación se eleva, cae y luego sube otra vez dramáticamente, y provoca una disminución mayor de la producción de alimentos y una súbita elevación de la tasa de mortalidad. La sola aplicación de soluciones tecnológicas ha prolongado el periodo de crecimiento demográfico e industrial, pero no ha desplazado los límites ulteriores de ese crecimiento.

El modo de comportamiento del sistema que rebasa los límites

Dadas las mucha saproximaciones y limitaciones del modelo mundial, no hay que sentirse abrumados por la serie de catástrofes que tiende a generar. Volvemos a insistir sólo una vez más en que ninguno de estos resultados de la computadora es un pronóstico. Pero tampoco debemos esperar que el mundo real se comporte de la misma manera que en cualquiera de las

dio *per capita* que alcanza casi el nivel actual de Estados Unidos. No obstante, el crecimiento industrial es frenado y la tasa de mortalidad se eleva conforme se agotan los recursos, la contaminación se acumula y la producción de alimentos disminuye.



traso inevitable en la capacidad de esa población para responder, a través de la tasa de natalidad, a las cambiantes condiciones que afronta. Existe otro rezago entre el momento en que se vierte una contaminante en el medio ambiente y aquel en que podemos medir sus efectos sobre la salud del ser humano. Este rezago incluye el paso de un contaminante a través del aire, los ríos o el suelo, hasta que se inserta en la cadena alimenticia, y también el rezago que se extiende desde el momento en que un ser humano ingiere o absorbe el contaminante, hasta el momento en que aparecen los primeros síntomas clínicos. En el caso de algunos cancerógenos el segundo rezago puede ser de casi 20 años. Otros rezagos se presentan porque el capital no puede desplazarse instantáneamente de un sector a otro para responder a las cambiantes demandas, porque el capital y la tierra nuevos sólo pueden ser producidos o desarrollados de manera gradual, y porque la contaminación no puede ser dispersada o metabolizada para adquirir formas inofensivas sino muy lentamente.

Los efectos de los rezagos en el sistema dinámico sólo son graves cuando el sistema mismo está sufriendo cambios acelerados. Tal vez podamos aclarar esta afirmación con un ejemplo muy sencillo. Cuando manejamos un automóvil existe un rezago muy pequeño, pero inevitable, entre nuestra percepción del camino y nuestra reacción a él. El rezago que existe entre nuestra acción sobre el acelerador o sobre el freno y la respuesta del auto a esa acción es más prolongado. Hemos aprendido a adaptarnos a esos rezagos. Sabemos que, a causa de ellos, resulta peligroso manejar a

demasiada velocidad. Si lo hacemos así, seguramente experimentaremos, tarde o temprano, el modo de comportamiento que se caracteriza por extralimitación y colapso. Si tuviéramos que manejar con los ojos vendados siguiendo las instrucciones de otro pasajero, el rezago entre la percepción y la acción se prolongaría de manera considerable. La única manera segura de salir al paso de ese rezago sería disminuyendo la velocidad. El resultado sería desastroso si tratáramos de manejar a la velocidad normal o de acelerar en forma continua (como en el crecimiento exponencial).

Exactamente lo mismo sucede con los rezagos que aparecen en los circuitos de retroalimentación del sistema mundial, que no representarían problema alguno si el sistema creciera con lentitud o no creciera en lo absoluto. En estas condiciones podemos instituir de manera gradual cualquier nueva política o acción, y los cambios podrían operar a través de los rezagos para retroalimentar cualquier parte del sistema, antes de que se introdujera cualquier acción o política. No obstante, bajo condiciones de rápido crecimiento aplicamos al sistema nuevas políticas y acciones mucho antes de que hayamos podido evaluar de manera adecuada los resultados de cambios anteriores. La situación es todavía peor cuando el crecimiento es exponencial y el sistema está cambiando con creciente rapidez.

Así, la población y el capital, regidos por el crecimiento exponencial, no solamente alcanzan sus límites, sino que transitoriamente se precipitan más allá de ellos antes de que el resto del sistema, con sus inherentes rezagos, reaccione para frenar el crecimiento. La contaminación generada en cantidades que se incre-

mentan exponencialmente puede rebasar el punto de peligro, porque este último se percibe por primera vez varios años después de que la contaminación dañina ha sido introducida al ambiente. Un sistema industrial que crezca con rapidez puede construir una base de capital dependiente de un recurso dado y luego descubrir que las reservas del recurso, que se contraen exponencialmente, no pueden sostenerla. Dados los rezagos en la estructura de edades una población seguirá creciendo durante 70 años, aun después de que la fecundidad media haya caído por debajo del nivel de reemplazo (un promedio de dos niños por pareja).

La tecnología en el mundo real

Las esperanzas de los optimistas tecnológicos se centran en la capacidad de la tecnología para desplazar o extender los límites del crecimiento de la población y el capital. Hemos demostrado que en el modelo mundial la aplicación de la tecnología a problemas aparentes de agotamiento de los recursos, contaminación o escasez de alimentos, no tiene efecto alguno sobre el problema *esencial* constituido por el crecimiento exponencial en un sistema finito y complejo. Nuestros intentos por utilizar en el modelo aun las estimaciones más optimistas no impidieron la caída ulterior de la población y de la industria, y de hecho, en ninguno de los casos aplazaron el colapso más allá del año 2100. Antes de que ejemplifiquemos en el próximo capítulo otras políticas que no sean tecnológicas, vamos a ampliar el examen de las soluciones tecnológicas a algunos aspectos de la tecnología que no pudimos incluir en el modelo mundial.

Efectos secundarios de la tecnología

El doctor Garret Hardin ha definido los efectos secundarios o paralelos como "efectos que no he previsto o en los que no he querido pensar".[40] Y ha sugerido que, como de hecho esos efectos son inseparables del efecto principal, no deberían recibir el nombre de efectos *secundarios*. Lógicamente, cualquier nueva tecnología tiene efectos secundarios y uno de los principales objetivos de la construcción de modelos consiste en anticiparse a esos efectos. En este capítulo las corridas del modelo en la computadora han mostrado algunos de efectos *secundarios*. Lógicamente, cualquier nueva tecnología tiene efectos secundarios y uno de los principales objetivos de la construcción de modelos consiste en anticiparse a esos efectos. En este capítulo las corridas del modelo en la computadora han mostrado algunos de los efectos secundarios de diversas tecnologías sobre los sistemas físico y económico. Por desgracia, el modelo no indica en este punto los efectos *sociales* secundarios de las nuevas tecnologías. Con frecuencia estos efectos son los más importantes en términos de la influencia de una tecnología sobre la vida de las personas.

Un ejemplo reciente de los efectos sociales secundarios de una nueva y acertada tecnología nos lo da la introducción de la Revolución Verde en las sociedades agrarias. La Revolución Verde —que consiste en el

[40] Garrett Hardin, "The Cybernetics of Competition: A Biologist's View of Society", *Perspectives in Biology and Medicine* 7, otoño 1963, 58, reimpreso en Paul Shepard y Daniel McKinley (eds.), *The Subversive Science*, Boston, Houghton Mifflin, 1969, p. 275.

uso de nuevas variedades de semillas, junto con fertilizantes y plaguicidas— se ideó como solución tecnológica a los problemas mundiales en materia de alimentos. Los planificadores de esta nueva tecnología agrícola previeron algunos de estos problemas sociales que podrían provocar en las sociedades tradicionales. La Revolución Verde tenía por objeto no sólo producir más alimentos, sino ser una tecnología que utilizara la mano de obra con relativa intensidad —que proporcionara empleos sin exigir grandes cantidades de capital. En algunas áreas del mundo, por ejemplo en el Punjab de la India, la Revolución Verde realmente ha incrementado el número de empleos en el sector agrícola a una tasa más acelerada que la tasa de crecimiento de la población total. Entre 1963 y 1968 [41] el Punjab oriental registró un aumento de los salarios reales del 16 por ciento.

El efecto principal, o intencional, de la Revolución Verde —aumento de la producción de alimentos— parece haberse logrado. Pero los efectos sociales secundarios no han sido del todo benéficos en la mayoría de las regiones que recibieron nuevas variedades de semilla. Antes de que se introdujera la Revolución Verde en el Punjab de la India, prevalecía un sistema extraordinariamente equitativo de distribución de la tierra. No obstante, el patrón más común en el mundo no industrializado es una amplia gama de formas de propiedad de la tierra, en las que la mayoría

[41] S. R. Sen, *Modernizing Indian Agriculture*, Vol. I, Expert Committee on Assessment and Evaluation, Nueva Delhi, Ministerio de Alimentos, Agricultura, Desarrollo de la Comunidad y Cooperativas, 1959.

trabaja pequeñas propiedades y gran parte de la tierra está en manos de unos cuantos.

En los lugares donde prevalecen estas condiciones de desigualdad económica, la Revolución Verde tiende a agudizarlas. Los grandes propietarios son por lo general los que primero adoptan los nuevos métodos. Tienen el capital para hacerlo y pueden correr el riesgo que implica su aplicación. Aunque las nuevas variedades de semillas no exigen la mecanización, proporcionan muchos incentivos económicos para instaurarla, especialmente donde la cosecha múltiple exige que la recolección y la nueva siembra se hagan con rapidez. En las grandes propiedades consideraciones económicas muy sencillas inducen casi inevitablemente el uso de maquinaria que desplaza a la mano de obra, y llevan a la compra de más tierras.[42] Los efectos últimos de este circuito positivo de retroalimentación socioeconómico son: el desempleo en el sector agrícola, el aumento de la emigración a las ciudades, y tal vez el de la desnutrición, puesto que los pobres y los desempleados no tienen medios para comprar los nuevos alimentos que se producen.

La siguiente descripción nos ofrece un ejemplo específico de los efectos sociales secundarios o paralelos de la Revolución Verde en un área donde la distribución de la tierra es muy inequitativa:

> Actualmente, el ingreso de un campesino sin tierra en Pakistán occidental es casi el mismo desde hace

[42] Robert d'A. Shaw, *Jobs and Agricultural Development*, Washington, D. C., Overseas Development Council, 1970, contiene un excelente resumen de este problema.

cinco años, es decir, menos de 100 dólares anuales. Frente a esto, un propietario de tierra productora de trigo de 600 hectáreas me dijo este invierno que estuve en Pakistán, que su última cosecha le había proporcionado una ganancia neta de más de 100 000 dólares.[43]

Las estadísticas sobre México, donde la Revolución Verde se inició en los años cuarentas, nos ofrecen otro ejemplo. De 1940 a 1960 la tasa media de crecimiento de la producción agrícola fue del 5 % anual. No obstante, de 1950 a 1960 el promedio de días laborables de un campesino sin tierra cayó de 194 a 100, y su ingreso real disminuyó del equivalente de 68 dólares a 56. El 80 % del aumento de la producción provino de apenas el 3 % de las explotaciones agrícolas.[44]

Estos efectos sociales secundarios no implican que la tecnología de la Revolución Verde sea necesariamente un fracaso. Más bien implican que los efectos sociales secundarios deben ser previstos y contrarrestados antes de introducir la nueva tecnología en gran escala:

> A medida que la agricultura abandona su estado tradicional de subsistencia para pasar a la explotación agrícola moderna . . .es cada vez más importante asegurar que el hombre que trabaja la tierra reciba directamente una compensación adecuada. Desde luego que es difícil encontrar la manera de modernizar la producción de alimentos en América Latina y en África al sur del Sahara, a menos que la tierra sea registrada, escriturada y distribuida equitativamente.[45]

[43] Richard Gritchfield, "It's a Revolution All Right", documento de la Alicia Patterson Fund, Nueva York, Alicia Patterson Fund, 1971.

[44] Robert d'A. Shaw, *Jobs and Agricultural Development*, p. 44.

Esta preparación para el cambio tecnológico exige, por lo menos, un periodo muy prolongado. Cada cambio que se introduce en la manera normal de hacer las cosas exige un ajuste de tiempo, mientras la población, consciente o inconscientemente, restructura su sistema social para acomodarse al cambio. Si bien la tecnología puede cambiar con gran rapidez, por el contrario las instituciones políticas y sociales lo hacen con mucha lentitud. Más aún, casi nunca cambian con *anticipación* a una necesidad social, sino más bien en respuesta a ella.

Ya hemos mencionado el efecto dinámico de los rezagos físicos que se presentan en el modelo mundial. También debemos recordar la presencia de los rezagos sociales —es decir, los rezagos necesarios para que la sociedad pueda absorber un cambio o prepararse para responder a él. La mayoría de los rezagos, físicos o sociales, reducen la estabilidad del sistema mundial y aumentan las probabilidades de que se presente el modo de comportamiento caracterizado por la extralimitación. Los rezagos sociales, como los físicos, son cada vez más críticos en virtud de que los procesos de crecimiento exponencial crean presiones adicionales a una tasa cada vez más acelerada. La población mundial creció de 1 000 a 2 000 millones en un periodo de más de cien años. Los siguientes 1 000 millones se añadieron en treinta años y la población mundial ha

[45] Lester R. Brown, *Seeds of Change*, p. 112.

tenido menos de veinte años para prepararse a alcanzar un total de 4 000 millones. Los cinco, los seis, y tal vez los siete mil millones llegarán antes del año 2 000, esto es, dentro de menos de treinta años. Aunque hasta ahora la tasa de cambio tecnológico ha podido mantener este paso acelerado, la Humanidad no ha hecho casi ningún descubrimiento para aumentar la tasa de cambio social (político, ético y cultural).

Problemas sin solución técnica

Cuando las ciudades de Estados Unidos eran nuevas crecían con gran rapidez. La tierra era abundante y barata, se construían nuevos edificios continuamente y la población y el producto económico de las regiones urbanas crecían. Sin embargo, con el tiempo se agotó la tierra en el centro de las ciudades. Se había alcanzado un límite físico que amenazaba frenar el crecimiento económico y demográfico en esa parte de las ciudades. La respuesta tecnológica fue el desarrollo de los rascacielos y de los elevadores, que desplazaron sustancialmente el obstáculo representado por la superficie de tierra como factor de supresión del crecimiento. La ciudad central añadió más personas y más negocios. Luego apareció un nuevo obstáculo. Los bienes y los trabajadores no podían moverse con suficiente rapidez en el denso centro de la ciudad. De nuevo surgió la solución tecnológica. Se construyó una red de autopistas así como sistemas de transporte al por mayor y helipuertos en lo alto de los edificios más elevados. El límite del transporte fue superado, los edificios crecieron más y la población aumentó.

Ahora la mayoría de las grandes ciudades norteamericanas ha dejado de crecer. (De las diez más grandes, en cinco de ellas —Nueva York, Chicago, Filadelfia, Detroit y Baltimore— la población disminuyó de 1960 a 1970. Washington D. C., no registró ningún cambio. Los Ángeles, Houston, Dallas e Indianápolis siguieron creciendo, al menos en parte al anexar tierra adicional.)[46] Los habitantes más ricos, que tienen una alternativa económica, se trasladan a los suburbios que se extienden en forma creciente alrededor de las ciudades. Las áreas centrales se caracterizan por el ruido, la contaminación, el crimen, la drogadicción, la pobreza, las huelgas obreras y el trastorno de los servicios sociales. La calidad de la vida en el corazón de la ciudad ha disminuido. Los problemas sin solución técnica han frenado, en parte, el crecimiento.

Una solución técnica puede ser definida como "una solución que exige un cambio sólo en las técnicas de las ciencias naturales, y muy poco o ninguno en los valores humanos o en las ideas sobre moralidad".[47] Hoy día son muchos los problemas que carecen de solución técnica. Ejemplos de ellos los hallamos en la carrera armamentista, las tensiones raciales y el desempleo. Aun cuando el progreso tecnológico de la sociedad satisfaga todas las expectativas, muy bien puede suceder que un problema sin solución técnica, o la interacción

[46] US Bureau of Census, *1970 Census of Population and Housing, General Demographic Trends of Metropolitan Areas, 1960-1970*, Washington, D. C. Government Printing Office, 1971.

[47] Garrett Hardin, "The Tragedy of the Commons", *Science* 162, 1968, 1243.

de muchos problemas de este tipo, sean los que pongan fin al crecimiento de la población y del capital.

Una elección entre límites alternativos

Aplicar la tecnología a las presiones naturales que el medio ambiente ejerce sobre el proceso de crecimiento ha tenido tanto éxito en el pasado que se ha desarrollado toda una cultura en torno al principio de la lucha en contra de los límites, más que al de aprender a vivir con ellos. Esta cultura ha sido reforzada por la aparente inmensidad del planeta y de sus recursos y por la relativa pequeñez del hombre y de sus actividades.

Pero la relación entre los límites del planeta y las actividades del hombre está cambiando. Las curvas de crecimiento exponencial añaden anualmente millones de personas y miles de millones de toneladas de contaminación al ecosistema. El mismo océano, que algunas veces pareció ser prácticamente inagotable, pierde una tras otra especie de sus animales más útiles en términos comerciales. Estadísticas recientes de la FAO indican que en 1969 el total de la pesca mundial disminuyó por primera vez desde 1950 a pesar de las prácticas de explotación mecanizada e intensiva. (Entre las especies comerciales que escasean están el arenque escandinavo, el sábalo y el bacalao del Atlántico.)[48]

Sin embargo, al irrumpir en los límites obvios del planeta, el hombre no parece aprender. La historia de la industria ballenera (que aparece en la gráfica

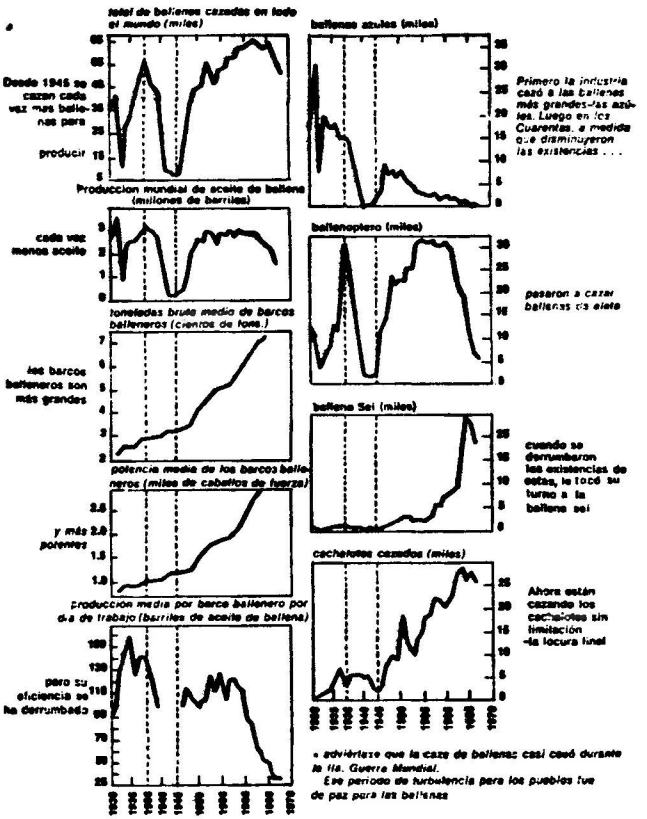
[48] Naciones Unidas, FAO, *The State of Food and Agriculture*, Roma, FAO, 1970, p. 6. (Hay edición en español.)

43) demuestra, en un sistema pequeño, el resultado final del intento de crecer ilimitadamente en un medio ambiente limitado. En forma sistemática los balleneros han llegado a un límite tras otro y han intentado rebasar cada uno de ellos a través de incrementos en la aplicación de energía y de tecnología. Como consecuencia de ello, han eliminado una especie tras otra. El resultado de esta singular política de crecimiento ilimitado sólo puede ser la extinción tanto de las ballenas como de los balleneros. La política alternativa es la imposición de un *límite determinado por el hombre* al número de ballenas cazadas anualmente, fijado de manera que la población de ballenas se mantenga a un nivel estable. El límite autoimpuesto sobre la caza de ballenas sería una presión desagradable que impediría el crecimiento de esa industria. Pero tal vez sería preferible a la gradual desaparición tanto de las ballenas como de la industria ballenera.

La elección básica a que se enfrenta la industria ballenera es la misma que afronta cualquier sociedad que trata de superar un límite natural con una nueva tecnología. *¿Es mejor tratar de vivir dentro de ese límite aceptando la imposición a sí mismo de una restricción al crecimiento? o ¿es preferible seguir creciendo hasta que surja algún otro límite con la esperanza de que en ese momento otro salto tecnológico permita que el crecimiento continúe?* En los últimos cientos de años la sociedad ha seguido la segunda alternativa tan congruentemente y con tanto éxito que ha olvidado por completo la primera opción.

Muchos pueden rechazar la afirmación de que el crecimiento de la población y el capital deben dete-

GRÁFICA 43. *Caza moderna de ballenas*



En virtud de que las manadas de ballenas han sido destruidas, cada vez ha sido más difícil hallar sobrevivientes, y por lo tanto la caza de ballenas exige un esfuerzo mayor. A medida que se matan ballenas más grandes se explotan las especies más

nerse *pronto*. Pero nadie puede afirmar que el crecimiento material del planeta pueda continuar indefinidamente. En esta etapa de la historia del mundo, la alternativa arriba planteada es posible en casi cualquier esfera de la actividad humana. El hombre todavía puede elegir sus límites y detenerse cuando lo desee, con tal de debilitar algunas de las presiones más fuertes que provocan el crecimiento del capital y de la población, o de instituir contrapresiones, o hacer ambas cosas. Estas contrapresiones probablemente no son del todo agradables. Sin duda implicarán cambios profundos en las estructuras sociales y económicas, profundamente impresas en la cultura mundial durante siglos de crecimiento. La alternativa consiste en esperar hasta que el precio de la tecnología esté fuera del alcance de la sociedad, hasta que los efectos secundarios de la tecnología supriman por sí mismos el crecimiento, o hasta que surjan problemas a los que no podamos aplicar soluciones técnicas. En cualquiera de estos puntos la elección entre los límites habrá desaparecido. Las presiones ajenas a la voluntad del hombre frenarán el crecimiento y, tal y como lo sugiere el modelo mundial, ésas pueden ser peores que las que la sociedad elija por sí misma.

Hemos creído necesario ocuparnos tanto del análisis de la tecnología porque hemos visto que el optimismo tecnológico es la reacción más común y peligro-

pequeñas para mantener la industria. No obstante, como nunca ha habido límites a las especies, las ballenas grandes siempre se cazan donde y cuando se encuentran. Así las ballenas pequeñas se utilizan para subsidiar la exterminación de las grandes.

FUENTE: Roger Payne, "Among Wild Whales", en *The New York Zoological Society Newsletter*, noviembre de 1958.

sa a los resultados del modelo mundial. La tecnología puede aliviar los síntomas de un problema sin afectar sus causas fundamentales. La fe en la tecnología, como solución última a todos los problemas, puede distraer nuestra atención del problema de base —el problema del crecimiento en un sistema finito— e impedir que emprendamos una acción efectiva para resolverlo.

Por otra parte, nuestro propósito no es, por supuesto, el de tildar la tecnología de mala, inútil o innecesaria. Nosotros mismos somos tecnólogos y trabajamos en una institución tecnológica. Creemos firmemente, como lo señalaremos en el siguiente capítulo, que muchos de los desarrollos tecnológicos que aquí hemos mencionado —reciclaje, instrumentos de control de la contaminación, anticonceptivos— serán absolutamente vitales para el futuro de la sociedad humana *si se combinan con controles deliberados del crecimiento*. Deploraríamos un rechazo irracional de los beneficios de la tecnología tanto como una aceptación igualmente irracional de los mismos. Tal vez el mejor resumen de nuestra posición sea el lema del Club Sierra: "No una oposición ciega al progreso, sino oposición al progreso ciego."

Esperaríamos que la sociedad reciba cada nuevo avance tecnológico dando respuesta a las tres preguntas siguientes *antes* de que la tecnología sea ampliamente aceptada:

1. ¿Cuáles serían los efectos secundarios o paralelos, físicos y sociales, si esta técnica se introdujera en gran escala?

2. ¿Qué cambios sociales sería necesario introducir

antes de que la técnica pueda ser aplicada de manera adecuada, y cuánto tiempo será necesario para lograrlos?

3. Si la técnica tiene un éxito completo y desplaza algunos de los límites naturales del crecimiento ¿cuál será el próximo límite a que se enfrentará el crecimiento del sistema? ¿Preferirá la sociedad sus propias presiones, o las que se supone que la técnica habrá de desplazar?

Pero pasemos ahora a examinar los enfoques no técnicos que se proponen para hacer frente al crecimiento en un mundo finito.

V. EL ESTADO DE EQUILIBRIO GLOBAL

> Casi todos piensan que para que un Estado sea feliz tiene que ser grande, pero aun cuando tuvieran razón, no tienen idea concreta de lo que es un Estado grande o un Estado pequeño... El tamaño de los Estados tiene un límite, como cualquier otra cosa, las plantas, los animales, los implementos; porque ninguna de ellas retiene su poder natural cuando es demasiado grande o pequeña, sino que o bien pierden totalmente su naturaleza o son seriamente dañadas.
>
> ARISTÓTELES, 322 a. c.

HEMOS visto que los circuitos positivos de retroalimentación que operan sin freno alguno generan el crecimiento exponencial. En el sistema mundial dominan actualmente dos circuitos positivos de retroalimentación; generan el crecimiento exponencial de la población y del capital industrial.

En cualquier sistema finito debe haber frenos que actúen para detener el crecimiento exponencial. Estos frenos son los circuitos negativos de retroalimentación. Estos últimos se fortalecen a medida que el crecimiento se acerca a los límites últimos, o capacidad última de sostenimiento, del medio ambiente del sistema. Por último, los circuitos negativos equilibran o dominan a los positivos, poniendo fin al crecimiento. En el sistema mundial los circuitos negativos de retroalimentación implican procesos como la contaminación ambiental, el agotamiento de los recursos no renovables y el hambre.

Los rezagos inherentes a la acción de estos circuitos negativos tienden a permitir que la población y el capital se precipiten más allá de los niveles sostenibles. El periodo de extralimitación constituye un desperdicio de recursos. Generalmente reduce además la capacidad de sostenimiento del medio ambiente e intensifica el eventual abatimiento de la población y del capital.

Muchos sectores de la sociedad empiezan ya a sentir las presiones de los circuitos negativos de retroalimentación que frenan el crecimiento. Las principales respuestas societarias a estas presiones se han orientado hacia los mismos circuitos negativos de retroalimentación. Las soluciones tecnológicas, como las que hemos examinado en el capítulo IV han sido diseñadas para debilitar los circuitos o para disfrazar las presiones que generan, de manera que el crecimiento pueda seguir adelante. Esos medios pueden aliviar a corto plazo las presiones provocadas por el crecimiento, pero a la larga no hacen nada para prevenir la extralimitación y el subsecuente colapso del sistema.

Podría también responderse a los problemas del crecimiento debilitando los circuitos *positivos* de retroalimentación que lo generan. Tal solución casi nunca ha sido considerada legítima por ninguna sociedad moderna, y nunca ha sido llevada a la práctica de manera efectiva. ¿Qué tipo de políticas implicaría una solución como ésta? y ¿qué tipo de sociedad tendríamos como resultado? Casi no existe ningún precedente histórico de ese enfoque, de manera que la única alter-

nativa es examinarlo en términos de modelos —mentales o formales y escritos. ¿Cuál será el comportamiento del modelo mundial si incluimos deliberadamente en él una política de control del crecimiento? ¿Generará ese cambio un modo de comportamiento "mejor"?

Siempre que utilizamos la palabra "mejor" y empezamos a elegir entre resultados alternativos de modelos, nosotros, los experimentadores, insertamos nuestros propios valores y preferencias en el proceso de elaboración del modelo. Los valores introducidos en cada relación causal del modelo son los valores operacionales reales del mundo, en la medida en que podamos determinarlos. Los valores que nos llevan a calificar los resultados de la computadora como "mejores" o "peores" son los valores personales de quien aplica el modelo o de su público. Ya hemos establecido nuestro propio sistema de valores, al rechazar como inconveniente el modo de comportamiento caracterizado por la extralimitación y el colapso. Ahora que estamos buscando un resultado "mejor" debemos definir el objetivo del sistema tan claramente como nos sea posible. Deseamos obtener un resultado que represente un sistema mundial que sea:

1. Sostenible sin un súbito e incontrolable colapso, y
2. Capaz de satisfacer las necesidades materiales básicas de todos sus habitantes.

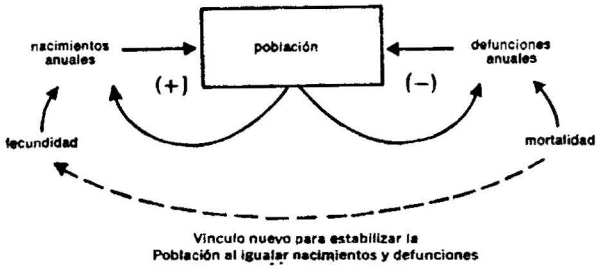
Veamos ahora qué políticas darán lugar a ese comportamiento del modelo mundial.

Se recordará que el circuito positivo de retroalimentación que genera el crecimiento de la población implica la tasa de natalidad y todos los factores socioeconómicos que influyen en ella; y que a su vez es contrarrestado por el circuito negativo representado por la tasa de mortalidad.

El crecimiento abrumador de la población mundial provocado por el circuito positivo de la tasa de natalidad es un fenómeno reciente, resultado del éxito que ha tenido la Humanidad al reducir la mortalidad en todo el mundo. El control que representa el circuito negativo de retroalimentación se ha debilitado y ha permitido que el circuito positivo opere casi desenfrenadamente. Existen dos maneras de restaurar el desequilibrio resultante: disminuir la tasa de natalidad hasta que iguale la nueva tasa de mortalidad más baja o dejar subir otra vez esta última. Todos los frenos "naturales" al crecimiento de la población operan de la segunda manera —elevan la tasa de mortalidad. Toda sociedad que desee evitar ese resultado debe emprender una acción deliberada para controlar el circuito positivo de retroalimentación, es decir, reducir la tasa de natalidad.

En un modelo dinámico es muy fácil contrarrestar los desenfrenados circuitos positivos de retroalimentación. Por el momento suspendamos el requisito de factibilidad política y utilicemos el modelo para probar las implicaciones físicas, ya que no las sociales, de la limitación del crecimiento de la población. Unicamente necesitamos añadir al modelo un circuito causal más, que conecta la tasa de natalidad con la tasa de morta-

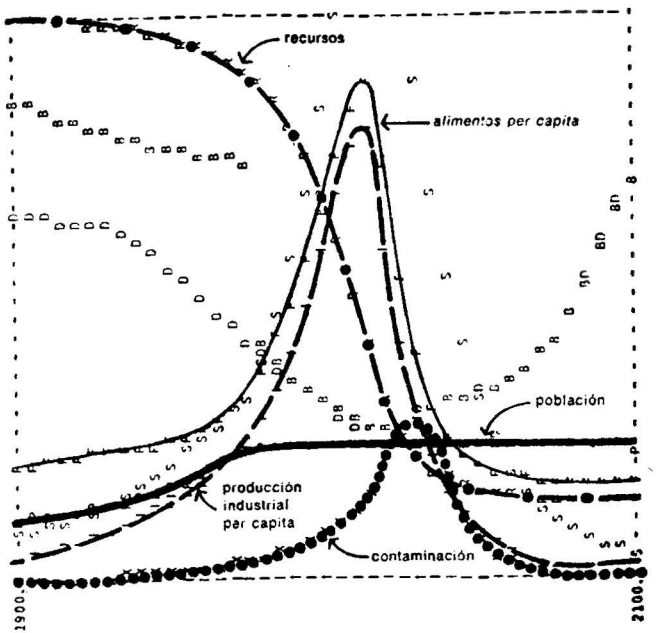
lidad. En otras palabras, necesitamos que el número de niños que nazcan cada año sea igual al número de defunciones que se espera que registre la población en ese mismo año. Así, los circuitos positivo y negativo de retroalimentación se equilibran exactamente. A medida que disminuye la tasa de mortalidad, en virtud de mejores alimentos y de la atención médica, simultáneamente disminuirá la tasa de natalidad. Ese requisito, que matemáticamente es tan simple como socialmente complicado, es para nuestros propósitos un instrumento experimental y no necesariamente una recomendación política.* En la gráfica 44 aparece el resultado de la inserción de esta política en el modelo en 1975.



En la gráfica 44 el circuito positivo de retroalimentación del crecimiento de la población ha sido efectivamente compensado y la población permanece constante. Al principio las tasas de natalidad y de morta-

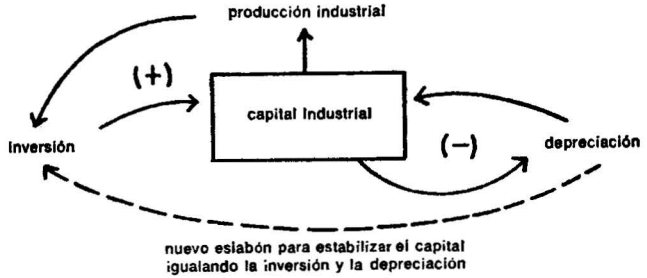
* Esta sugerencia de estabilizar la población fue propuesta originalmente por Kenneth E. Boulding en *The Meaning of the 20th Century*, Nueva York, Harper and Row, 1964.

GRÁFICA 44. *El modelo mundial con población estabilizada*



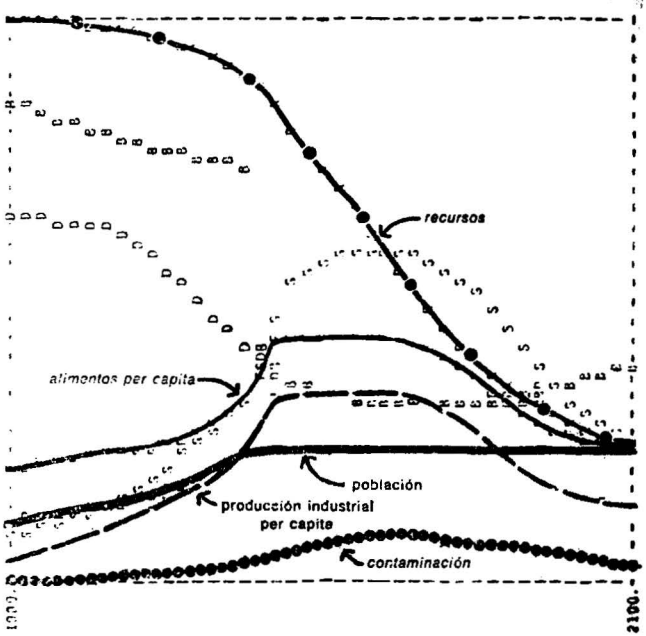
En esta secuencia de la computadora las condiciones del sistema del modelo son idénticas a las de la secuencia tipo (gráfica 35), salvo que en esta ocasión al igualar la tasa de natalidad y la de mortalidad a partir de 1975, la población se mantiene constante. El otro circuito positivo de retroalimentación, que permanece sin control en el sistema y que representa el capital industrial, sigue generando el crecimiento exponencial del producto industrial, de los alimentos y de los servicios *per capita*. El agotamiento de los recursos no renovables acaba por originar un colapso súbito del sistema industrial.

lidad son bajas, pero todavía hay un circuito positivo de retroalimentación que opera sin control en el modelo —el que regula el crecimiento del capital industrial. El avance a lo largo de ese circuito aumenta cuando la población se estabiliza y origina un crecimiento muy rápido del ingreso, los alimentos y los servicios *per capita*. No obstante, el agotamiento de los recursos no renovables detiene muy pronto ese crecimiento. Entonces se eleva la tasa de mortalidad, pero la población total no disminuye a causa del requisito que hemos impuesto de que la tasa de natalidad iguale a la tasa de mortalidad (hipótesis que aquí resulta poco realista).



Por lo visto, si queremos un sistema estable no conviene permitir que siquiera uno de los dos circuitos positivos críticos de retroalimentación genere un crecimiento irrestricto. La sola estabilización de la población no es suficiente para prevenir la extralimitación y el colapso; una secuencia similar con capital constante y población creciente muestra que la sola estabilización del capital tampoco basta. ¿Qué sucede si controlamos simultáneamente *ambos* circuitos positivos

GRÁFICA 45. *El modelo mundial con población y capital estabilizados*



A la política de estabilización de la población de la gráfica 44 se añade la restricción al crecimiento del capital, al igualar la inversión de capital y la depreciación. Ahora el crecimiento de la población se detiene y se estabiliza temporalmente. Sin embargo, en este estado estable los niveles de población y de capital son tan elevados que agotan aceleradamente los recursos, puesto que no se han adoptado tecnologías orientadas hacia la conservación de los mismos. La producción industrial decrece a medida que disminuye la base de recursos. Aunque la base de capital se mantiene al mismo nivel, la eficiencia del capital disminuye puesto que será necesario dedicar más capital a obtener recursos que a generar producción utilizable.

de retroalimentación? En el modelo podemos estabilizar el acervo de capital igualando la tasa de inversión a la tasa de depreciación, con un eslabón adicional en el modelo análogo al de la estabilización de la población.

En la gráfica 45 aparece el resultado de la suspensión del crecimiento demográfico en 1975 y del crecimiento del capital industrial en 1985, sin introducir ningún otro cambio. (Permitimos que el capital creciera hasta 1985 para elevar ligeramente el nivel medio de vida material.) En esta secuencia se impiden la aguda extralimitación y el colapso que muestra la gráfica 44. La población y el capital alcanzan valores constantes a un nivel relativamente alto de disponibilidad de alimentos, producción industrial y servicios por persona. No obstante, la escasez de recursos acaba por reducir la producción industrial, y el estado transitoriamente estable degenera.

¿Cuáles son las hipótesis del modelo que nos darán una combinación de un nivel de vida decente y una estabilidad mayor que la que se alcanza en la gráfica 45? Podemos mejorar mucho el comportamiento del modelo combinando los cambios tecnológicos con los cambios en los valores que reducen las tendencias de crecimiento del sistema. Diferentes combinaciones de esas políticas nos dan una serie de resultados en la computadora que representan un sistema con valores razonablemente elevados de la producción industrial *per capita*, con estabilidad a largo plazo. En la gráfica 46 aparece un ejemplo de ese resultado.

Las políticas que producirían el comportamiento que representa la gráfica 46 son las siguientes:

1. Estabilización de la población a través de la igualación de la tasa de natalidad y la de mortalidad en 1975. En cambio, se permite que el capital industrial aumente naturalmente hasta 1990, para estabilizarlo a partir de ese año igualando la tasa de inversión y la de depreciación.

2. Para evitar la escasez de los recursos no renovables, como la que aparece en la gráfica 45, se reduce el consumo de recursos por unidad de producto industrial a un cuarto de su valor en 1970. (Esta política y las cinco siguientes se introducen en 1975.)

3. Para reducir todavía más el agotamiento de los recursos y la contaminación, la sociedad orienta sus preferencias económicas hacia servicios como la educación y el mejoramiento de las condiciones de salud, y menos hacia los bienes materiales producidos en las fábricas. (Esta reorientación de preferencia se hace a través de la relación en la que los servicios *per capita* "indicados" o "deseados" son función del aumento del ingreso.)

4. La generación de contaminación por unidad de producto industrial y agrícola se reduce a un cuarto de su valor en 1970.

5. Como las políticas anteriores sólo traerían como resultado un valor más bien bajo de los alimentos *per capita*, alguna parte de la población seguiría estando mal alimentada de persistir las desigualdades tradicionales de la distribución. Para evitarlo se asigna muy especial importancia a la producción de alimentos suficientes para *toda* la población. Por lo mismo, el capital se desviaría hacia la producción de alimentos, aun cuando esa inversión fuera considerada "antieconómi-

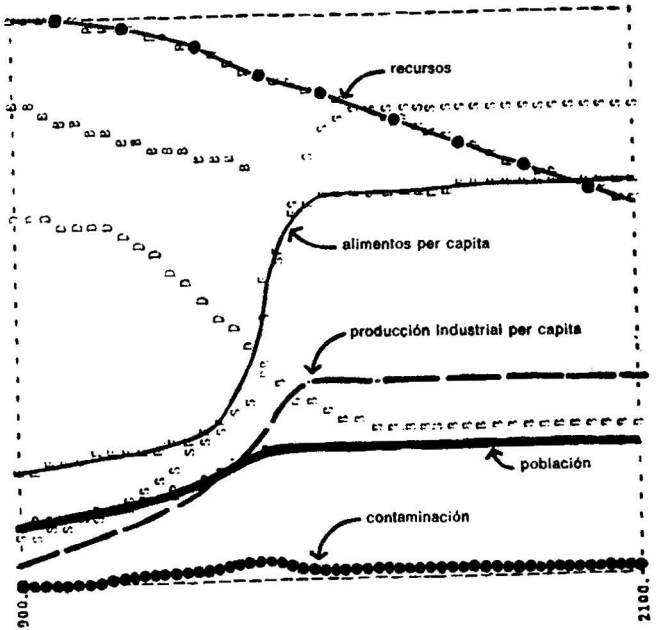
ca". (Este cambio se realiza a través de la relación "indicada" de alimentos *per capita*.)

6. El interés en una agricultura altamente capitalizada, si bien necesario para producir suficientes alimentos, llevaría a la rápida erosión del suelo y al agotamiento de la fertilidad de la tierra, destruyendo así la estabilidad a largo plazo del sector agrícola. En consecuencia, se ha modificado el uso del capital agrícola para dar alta prioridad al enriquecimiento y la conservación del suelo. Esta política implica, por ejemplo, el uso de capital para aprovechar los desechos orgánicos urbanos como abono y devolverlos a la tierra (práctica que también reduce la contaminación).

7. La distribución del capital industrial hacia el mejoramiento de los servicios y hacia la producción de alimentos, el reciclaje de recursos y el control de la contaminación, bajo las seis condiciones arriba enumeradas, llevarían a que el nivel final del acervo de capital industrial fuera muy bajo. Para contrarrestar este efecto se aumenta el periodo de vida media del capital industrial, aumento que implica un mejor diseño para lograr durabilidad y reparabilidad, y menor descarte de capital por obsolescencia. Esta política tiende también a reducir el agotamiento de los recursos y la contaminación.

En la gráfica 46 la población mundial estable es apenas superior a la población actual. Los alimentos por persona se duplican respecto al valor medio de 1970, y el periodo de vida media es de casi 70 años. El producto industrial medio *per capita* es muy superior al nivel actual y los servicios se triplican. El ingreso total medio *per capita* (producto industrial, alimentos

GRÁFICA 46. *Modelo mundial estabilizado I*



A las políticas de regulación del crecimiento que aparecen en las secuencias anteriores se añaden políticas tecnológicas para producir un estado de equilibrio sostenible en un futuro lejano. Las políticas tecnológicas incluyen reciclaje de los recursos, instrumentos de control de la contaminación, aumento del periodo de vida de todas las formas del capital y métodos para restaurar el suelo erosionado y estéril. Los cambios en los valores incluyen un mayor interés en los alimentos y en los servicios más que en la producción industrial. Como en la gráfica 45, aquí también los nacimientos igualan a las defunciones y la inversión del capital industrial iguala a la depreciación de capital. El valor de la producción industrial *per capita* en estado de equilibrio es el triple del promedio mundial de 1970.

y servicios combinados) es de cerca de 1 800 dólares, alrededor de la mitad del actual ingreso medio en Estados Unidos, igual al actual promedio europeo y tres veces el ingreso medio mundial de hoy en día. Los recursos se agotan todavía gradualmente, como bajo cualquier hipótesis realista, pero la tasa de agotamiento de los recursos es lenta y hay tiempo para que la industria y la tecnología se ajusten a los cambios en la disponibilidad de los recursos.

Las constantes numéricas que caracterizan esta corrida del modelo no son las únicas que pueden producir un sistema estable. Otras personas o sociedades pueden resolver de manera diferente las diversas disyuntivas, poniendo mayor o menor interés en los servicios, los alimentos, la contaminación y el ingreso material. Este ejemplo se incluye sólo como ilustración de los niveles de población y de capital que el mundo puede *sostener físicamente* conforme a las hipótesis más optimistas. El modelo no puede decirnos cómo alcanzar estos niveles, sino que apenas nos indica un cuerpo de objetivos congruentes entre sí, que, además, sean asequibles.

Ahora retrocedamos al menos en la dirección general del mundo real y rechacemos nuestras hipótesis más irreales —las de que podemos estabilizar súbita y absolutamente el capital y la población. Supongamos que mantenemos los últimos seis de los siete cambios de política que dieron lugar a la gráfica 46, y que a partir de 1975 remplazamos la primera política con lo siguiente:

1. La población tiene acceso a una regulación de la natalidad ciento por ciento efectiva.

2. El promedio deseado del tamaño de la familia es de dos hijos.

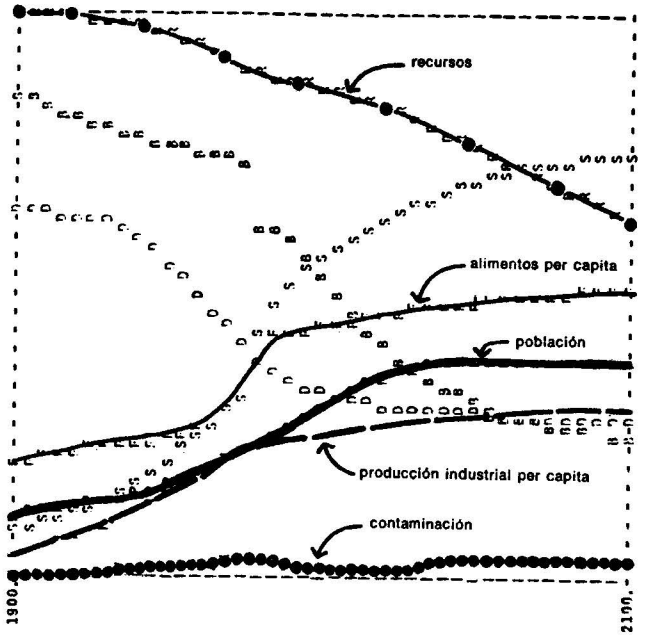
3. El sistema económico se empeña en mantener la producción industrial media *per capita* casi al mismo nivel de 1975. El exceso de capacidad industrial se emplea para la producción de bienes de consumo y no para aumentar la tasa de inversión del capital industrial por encima de la tasa de depreciación.

La gráfica 47 representa el comportamiento del modelo originado por este cambio. Ahora los rezagos en el sistema permiten que la población crezca mucho más que en la gráfica 46. En consecuencia, los bienes materiales, los alimentos y los servicios *per capita* permanecen inferiores a los de las secuencias anteriores (pero a un nivel superior al del promedio mundial actual).

No suponemos que ninguna de estas políticas necesarias para lograr la estabilidad del sistema en el modelo pueda o deba ser introducida súbitamente en 1975. Una sociedad que elija la estabilidad como su principal objetivo debe acercarse a él gradualmente. No obstante, es importante percatarse de que mientras durante más tiempo se permita que continúe el crecimiento exponencial, menos posibilidades habrá de lograr la estabilización final. La gráfica 48 muestra el resultado de esperar hasta el año 2000 para introducir las mismas políticas que introducen la gráfica 47 en el año 1975.

En la gráfica 48 tanto la población como la producción industrial *per capita* alcanzan valores muy superiores a los de la gráfica 47; como consecuencia de ello, la contaminación adquiere un nivel muy superior y los recursos se agotan pronunciadamente, a pesar de la po-

GRÁFICA 47. *Modelo mundial estabilizado II*



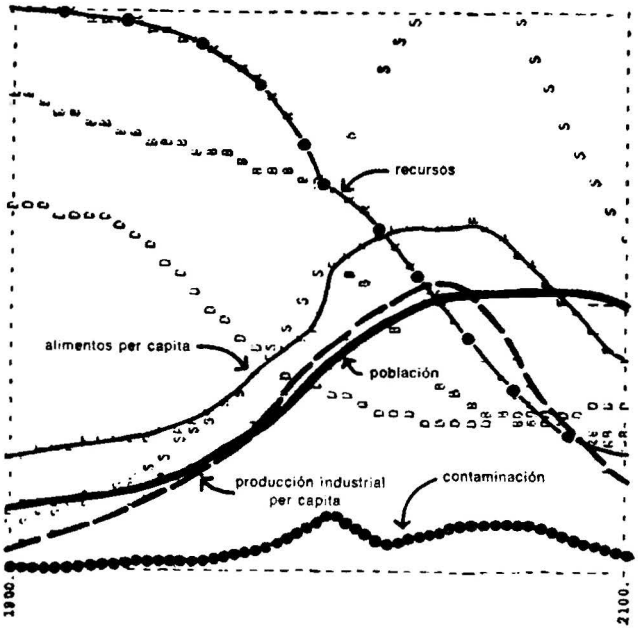
Si eliminamos las estrictas restricciones sobre el crecimiento de la secuencia anterior, y la población y el capital se regulan dentro de los rezagos naturales del sistema, el nivel de equilibrio de la población es superior al de la gráfica 46 y el nivel de la producción industrial *per capita* es inferior al que registra la misma gráfica. Aquí se supone que en 1975 se logra una regulación de la natalidad perfectamente efectiva y un promedio del tamaño deseado de la familia de dos hijos. La tasa de natalidad se acerca lentamente a la tasa de mortalidad, en virtud de los rezagos inherentes a la estructura de edades de la población.

lítica de ahorro de recursos que se introduce al fin. De hecho, durante los 25 años (de 1975 al año 2000) que se demora la introducción de políticas de estabilización, el consumo de recursos es casi igual al consumo total de 125 años, de 1975 a 2100, que muestra la gráfica 47.

Muchos pensarán que los cambios que hemos introducido en el modelo para evitar el modo de comportamiento caracterizado por crecimiento y colapso no son sólo imposibles, sino desagradables, peligrosos y aun desastrosos en sí mismos. Políticas tales como la de reducir la tasa de natalidad y desviar capital de la producción de bienes materiales a otros fines, cualquiera que sea el medio que se utilice para aplicarlas, parecen antinaturales e inimaginables, porque en la mayoría de los casos nunca han sido experimentadas, ni siquiera sugeridas seriamente. Por supuesto que si pensáramos que el actual patrón de crecimiento irrestricto fuera sostenible en el futuro, no valdría la pena siquiera discutir cambios tan fundamentales en el funcionamiento de la sociedad moderna. Sin embargo, las pruebas de que disponemos sugieren que de las tres posibilidades —crecimiento irrestricto, limitación autoimpuesta al crecimiento y limitación impuesta por la misma naturaleza— sólo las últimas dos son realmente posibles.

La aceptación de los límites del crecimiento impuestos por la naturaleza misma no exige mayor esfuerzo que permitir que las cosas sigan su curso y esperar a ver qué sucede. El resultado más probable de esa decisión, como hemos tratado de demostrarlo, será una incontrolable disminución de la población y del capital. El verdadero significado de ese colapso es difícil de imaginar porque podría adquirir muchas formas dis-

GRÁFICA 48. *El modelo mundial con la introducción de políticas de estabilización el año 2000*



Si todas las políticas introducidas en 1975 en la gráfica anterior se aplazan hasta el año 2000, el estado de equilibrio se hace insostenible. La población y el capital industrial alcanzan niveles tan elevados que generan escasez de alimentos y de recursos aun antes del año 2100.

tintas. Podría suceder en momentos distintos en diferentes partes del mundo, o podría darse en todo el mundo. Podría ser súbito o gradual. Si el límite que primero se alcanzara fuera el de la producción de ali-

mentos, los países no industrializados sufrirían la mayor disminución de la población. Si el primer límite fuera impuesto por la extinción de los recursos no renovables, los países industrializados serían los más afectados. Podría suceder que el colapso dejara intacta la capacidad del planeta para sostener la vida animal y vegetal, o que esa capacidad se viera reducida o destruida. Ciertamente que cualquier fracción de la población que sobreviviera al fin del proceso contaría con muy poco para construir una nueva sociedad bajo cualquier forma imaginable.

Alcanzar una limitación autoimpuesta del crecimiento exigiría un gran esfuerzo. Entrañaría aprender a hacer muchas cosas de nuevas y distintas maneras. Sería una prueba al ingenio, la flexibilidad y la autodisciplina de la raza humana. Poner fin deliberadamente al crecimiento es un tremendo desafío difícil de encarar. ¿El resultado final justificaría el esfuerzo necesario? ¿Qué ganaría y qué perdería la Humanidad con esta transición del crecimiento a la estabilidad? Consideremos con mayor detalle cómo sería un mundo en que no hubiera crecimiento.

EL ESTADO DE EQUILIBRIO

Por supuesto que no somos los primeros en la historia de la Humanidad en proponer un cierto estado de crecimiento nulo de la sociedad. Muchos filósofos, economistas y biólogos han tratado sobre ese estado y lo han llamado con tantos nombres como significados diferentes le han dado.*

* Ver por ejemplo Platón, *Las leyes*, 350 a. c; Aristóteles, *La política*, 322 a. c; Thomas Robert Malthus, *Ensayo sobre*

Después de mucho discutir hemos decidido dar el nombre de estado de "equilibrio" al estado en que la población y el capital son constantes, y que se muestra en las gráficas 46 y 47. Equilibrio significa un estado de igualdad entre fuerzas que se contraponen. En los términos dinámicos del modelo mundial las fuerzas contrapuestas son las que incrementan la población y el acervo de capital (tamaño deseado grande de la familia, baja efectividad de la planificación familiar y tasa elevada de inversión de capital) y las que disminuyen esos mismos elementos (falta de alimentos, contaminación, elevada tasa de depreciación u obsolescencia). La palabra "capital" debe entenderse como capital para los sectores de servicios, agrícola e industrial en su conjunto. *Así pues, la definición básica del estado de equilibrio global consiste en que la población y el capital sean esencialmente estables, y las fuerzas que tiendan a aumentarlos o disminuirlos mantengan un equilibrio cuidadosamente controlado.*

Esta definición acepta muchas variaciones. Sólo hemos especificado que los acervos de capital y de población permanezcan constantes, pero podrían ser constantes a un nivel alto o bajo —o uno podría ser alto

el principio de la población, 1798; John Stuart Mill, *Principios de economía política*, 1857; Harrison Brown, *Examen del futuro*, México, Fondo de Cultura Económica, 1960, 284 pp. Kenneth E. Boulding, "The Economics of the Coming Spaceship Earth", en *Environmental Quality in a Growing Economy*, H. Jarrett (ed.), Baltimore, Mass., Johns Hopkins Press, 1966; E. J. Mishan, *The Costs of Economic Growth*, Nueva York, Frederick A. Praeger, 1967; Herman E. Daly, "Toward a Stationary-State Economy", en *The Patient Earth*, J. Harte y Robert Socolow (eds.), Nueva York, Holt, Rinehart y Winston, 1971.

y el otro bajo. Se puede mantener un nivel dado de agua en un tanque con un influjo y un eflujo rápidos o bien lentos. Si el flujo es rápido la gota media de agua estará menos tiempo en el tanque que si el flujo es lento. De manera similar, puede lograrse una población estable de cualquier tamaño con tasas de natalidad y de mortalidad iguales a nivel elevado (periodo medio de vida reducido) o a nivel reducido (periodo medio de vida prolongado). El acervo de capital puede mantenerse estable con tasas elevadas o reducidas de depreciación y de inversión. Cualquier combinación de estas posibilidades puede adecuarse a nuestra definición básica de equilibrio global.

¿Qué criterios podemos utilizar para elegir entre las muchas opciones que plantea el estado de equilibrio? Las interacciones dinámicas del sistema mundial indican que la primera decisión que debe tomarse se refiere al tiempo. *¿Durante cuánto tiempo deberá mantenerse el estado de equilibrio?* Si a la sociedad sólo interesa mantenerlo por un periodo de seis meses o un año, el modelo mundial indica que puede mantener casi cualquier nivel de población y de capital. Si el horizonte de tiempo se amplía a 20 o 50 años, las opciones se reducen mucho, puesto que las tasas y los niveles deben ajustarse para asegurar que la disponibilidad de recursos existente durante ese mismo periodo no limitará la tasa de inversión de capital, o que la contaminación o la escasez de alimentos no influya sin freno sobre la tasa de mortalidad. Mientras más prolongado sea el tiempo durante el cual la sociedad desee mantener el estado de equilibrio, menores deberán ser las tasas y los niveles.

En el límite, no puede mantenerse eternamente ningún nivel de población o de capital, pero si los recursos se utilizan racionalmente y si el horizonte de tiempo de la planeación es lo bastante amplio, ese límite estará muy alejado en el tiempo. Consideremos como horizonte razonable de tiempo la esperanza de vida de un niño nacido el día de mañana —70 años, si recibe alimentación y atención médica adecuadas. Como la mayoría de la gente invierte gran parte de su tiempo y de su energía en la educación de los niños, podrían elegir como objetivo mínimo que la sociedad que estos niños hereden se mantenga igual a todo lo largo de su vida.

Si el horizonte de tiempo de la sociedad es de 70 años, los niveles de población y de capital admisibles pueden ser similares a los que prevalecen actualmente, como lo indica la secuencia de equilibrio en la gráfica 47 (desde luego se trata de una posibilidad entre muchas). No obstante, las tasas serían muy diferentes a las actuales. Cualquier sociedad preferiría, sin duda alguna, que la tasa de mortalidad fuera baja, puesto que una vida saludable y prolongada parece ser el deseo universal. Para mantener el equilibrio con una expectativa de vida prolongada, la tasa de natalidad también tiene que ser baja. Asimismo sería mejor que las tasas de inversión y depreciación fueran bajas, porque cuanto más bajas sean, menores serán el agotamiento de los recursos y la contaminación. El mantener el agotamiento de los recursos y la contaminación a un nivel mínimo permitiría que el tamaño máximo de los niveles de población y de capital fuera mayor, o bien que el tiempo de mantenimiento del estado de

equilibrio se prolongara, según el objetivo que haya elegido la sociedad como un todo.

Al elegir un horizonte de tiempo bastante amplio para su existencia y un periodo de vida media prolongado como objetivo deseable, hemos llegado al mínimo de requisitos que exige el estado de equilibrio global. Éstos son:

1) *Que el tamaño de la planta de capital y de la población sean constantes.* La tasa de natalidad es igual a la tasa de mortalidad, y la tasa de inversión de capital igual a la tasa de depreciación.

2) *Que todas las tasas de insumos y productos —natalidad, mortalidad, inversión y depreciación— se mantengan a un nivel mínimo.*

3) *Que los niveles de capital y de población y la relación entre ambos se fijen de acuerdo con los valores de la sociedad.* Pueden ser modificados deliberadamente, y ajustados lentamente a medida que los avances tecnológicos creen nuevas opciones.

Un equilibrio así definido no significa estancamiento. Dentro de las dos primeras directrices, las empresas pueden ampliarse o fracasar, las poblaciones locales pueden aumentar o disminuir y el ingreso puede distribuirse con mayor o menor equidad. El avance tecnológico permitiría que los servicios derivados del acervo de capital constante aumentaran lentamente. Dentro de la tercera directriz, cualquier país puede modificar su nivel medio de vida alterando el equilibrio entre su población y su capital. Más aún, una sociedad que tuviera un objetivo predeterminado podría ajustarse a factores externos o internos cambiantes elevando o disminuyendo los acervos de capital y de población,

o ambos, lentamente y de manera controlada. Los tres puntos anteriores definen un equilibrio *dinámico* que no exige "congelar", y probablemente no lo implicaría, la configuración población-capital que el mundo presenta en este momento. El objeto de aceptar las tres afirmaciones precedentes consiste en dar libertad a la sociedad y no en imponerle una camisa de fuerza.

¿Cómo sería el mundo en estado de equilibrio? ¿Se sofocaría la innovación? ¿Permanecería la sociedad dentro de los patrones de desigualdad e injusticia que subsisten actualmente en el mundo? El examen de estas cuestiones debe realizarse con base en modelos mentales ya que no existe un modelo formal de las condiciones sociales prevalecientes en el estado de equilibrio. Nadie puede predecir el tipo de instituciones que la Humanidad podría desarrollar bajo estas nuevas condiciones. Por supuesto que nada garantiza que la nueva sociedad será mucho mejor o siquiera diferente a la actual. No obstante, es posible que una sociedad que se libere de los muchos problemas que origina el crecimiento pueda disponer de más energía e ingenio para resolver otros problemas. De hecho creemos, y lo ilustraremos posteriormente, que la evolución de una sociedad que favorezca la innovación y el desarrollo tecnológico —una sociedad basada en la igualdad y en la justicia— tiene más posibilidades de ocurrir en un estado de equilibrio global que en el estado de crecimiento que experimentamos en este momento.

El crecimiento en el estado de equilibrio

John Stuart Mill escribía en 1857:

> Apenas es necesario señalar que una condición estacionaria del capital y de la población no entraña el estancamiento del progreso humano. El ámbito para el desarrollo de todos los tipos de cultura mental, y de progreso social y moral, sería tan amplio como siempre; y podría mejorarse el Arte de Vivir, con muchas mayores probabilidades de mejorarlo.[49]

La población y el capital son las únicas cantidades que deben mantenerse constantes en el estado de equilibrio. Cualquier actividad humana que no exija un flujo muy grande de recursos irremplazables, o produzca una aguda degeneración ambiental, podría seguir creciendo indefinidamente. Podrían florecer, en particular, las actividades humanas que muchos consideran como los objetivos más apetecibles y satisfactorios —la educación, el arte, la música, la religión, la investigación científica básica, los deportes y las interacciones sociales.

Todas las actividades arriba enumeradas dependen de dos factores determinantes. Primero, de la capacidad para generar un excedente de producción una vez que hayan sido satisfechas las necesidades humanas básicas de alimento y vivienda. Segundo, exigen tiempo ocioso. En cualquier estado de equilibrio los niveles relativos de capital y de población pueden ajustarse para asegurar la satisfacción de las necesidades materiales del hombre a cualquier nivel deseado. Como el monto de la producción material sería en esencia fijo,

[49] John Stuart Mill, *Principles of Political Economy*, en *The Collected Works of John Stuart Mill*, V. W. Bladen y J. M. Robson (eds.), Toronto, University of Toronto Press, 1965, p. 754. (Hay edición en español, México, FCE.)

toda mejora en los métodos de producción podría originar un aumento del ocio para la población —ocio que podría dedicarse a cualquier actividad relativamente no consumidora ni contaminadora, como las que enumeramos anteriormente. Así podría evitarse la desdichada situación que describía Bertrand Russell:

> Supongamos que en un momento dado un cierto número de personas está empleado en la manufactura de alfileres. Trabajando, por ejemplo, ocho horas diarias hacen tantos alfileres como necesita el mundo. Alguien elabora un invento que permite que el mismo número de personas elabore el doble del número de alfileres que antes hacían. Pero el mundo no necesita tantos alfileres y ya son tan baratos que difícilmente podrían venderse a un precio inferior. En un mundo racional las personas ocupadas en la manufactura de alfileres emplearía cuatro horas en lugar de ocho y todo seguiría como antes. Pero en el mundo real se pensaría que esto es desmoralizante. Los hombres todavía trabajan ocho horas, hay demasiados alfileres, algunos patronos quiebran y la mitad de los hombres que antes se dedicaban a ese trabajo pierden su empleo. Al fin se obtiene tanto ocio como con el otro plan, pero la mitad de los hombres están totalmente ociosos mientras que la otra mitad trabaja en exceso. Así es como se asegura que el inevitable ocio cause la miseria que nos rodea, en vez de que sea una fuente universal de felicidad. ¿Podemos imaginar algo más absurdo que esto? [50]

Pero, en un mundo en que se satisficieran todas las necesidades materiales básicas y no se permitiera aumentar la producción, ¿ocurrirían los adelantos tecnológicos requeridos para producir con eficiencia alfileres o cualquier otra cosa? ¿Necesita el hombre verse presionado por la adversidad y el incentivo del crecimiento material para diseñar mejores maneras de hacer las cosas?

La evidencia histórica indicaría que los hombres que han invertido toda su energía en la superación de las presiones inmediatas para la supervivencia han producido muy pocos inventos claves. La energía atómica fue descubierta en los laboratorios científicos por individuos que no se preocupaban por la amenaza que representaba el agotamiento de los combustibles orgánicos. Los primeros experimentos en genética que, al cabo de cien años, produjeron cosechas agrícolas de alto rendimiento, se efectuaron en la paz de un monasterio europeo. Las ingentes necesidades humanas pueden haber presionado para que se aplicaran estos descubrimientos básicos a problemas prácticos, pero sólo la ausencia de estas necesidades produjo el conocimiento necesario para que las aplicaciones prácticas pudieran llevarse a cabo.

En un estado de equilibrio el avance tecnológico sería tan necesario como bien recibido. He aquí algunos ejemplos obvios de los tipos de descubrimientos prácticos que fortalecerían los trabajos de una sociedad en estado estable:

- nuevos métodos de recolección de desechos, a fin de reducir la contaminación y preparar los materiales desechados para su reciclaje;

[50] Bertrand Russell, *In Praise of Idleness and Other Essays*, Londres, Allen and Unwin, 1935, pp. 16-17.

técnicas más eficientes de reciclaje, a fin de reducir las tasas de agotamiento de los recursos;
mejor diseño de los productos para aumentar la duración de los mismos y permitir su fácil reparación, a fin de minimizar la tasa de depreciación del capital;
control de la energía solar incidente, que es la fuente energética más libre de contaminación;
métodos de control natural de las plagas, basados en una comprensión más avanzada de las interrelaciones ecológicas;
avances médicos que disminuyan la tasa de mortalidad, y
avances en materia de anticonceptivos que faciliten la igualación de la tasa de natalidad con la decreciente tasa de mortalidad.

En cuanto al incentivo que animaría a los hombres a producir esos avances tecnológicos ¿qué mejor incentivo que el saber que una nueva idea se transformará en un mejoramiento visible de la calidad de la vida? Desde el punto de vista histórico, la larga lista de los inventos del hombre ha originado el hacinamiento, el deterioro del medio ambiente y una mayor desigualdad social, en virtud de que el aumento de la productividad ha sido absorbido por el crecimiento de la población y del capital. No hay razón para que una mayor productividad no pueda traducirse en un nivel de vida más elevado, en más ocio o en un ambiente más placentero para todos, si éstos fueran los objetivos que sustituyeran el crecimiento como valor primordial de la sociedad.

La igualdad en el estado de equilibrio

Uno de los mitos más generalizados en la sociedad actual es la promesa de que el mantenimiento de los patrones prevalecientes de crecimiento llevará a la igualdad entre los hombres. Hemos demostrado en diversas partes de este libro que los actuales patrones de crecimiento de la población y del capital están en realidad ensanchando la brecha que existe entre ricos y pobres en el mundo como un todo y que el resultado último de un intento sostenido de crecer conforme al patrón actual será un colapso desastroso.

El mayor impedimento a una distribución más igualitaria de los recursos mundiales es el crecimiento demográfico. Parece ser un rasgo universal, lamentable pero comprensible, el hecho de que, a medida que aumenta el número de personas entre quienes debe distribuirse un recurso fijo, la distribución resulta más inequitativa.

Si la cantidad media disponible por persona no es suficiente para mantener la vida, la participación igualitaria se convierte en suicidio social. Los estudios de la FAO sobre la distribución de alimentos han proporcionado pruebas de esta observación general:

> El análisis de las curvas de distribución muestra que cuando la cantidad de alimentos disminuye en un grupo, se acentúa la desigualdad del consumo, mientras que el número de familias subalimentadas aumenta en mayor proporción que la desviación respecto a la media. Más aún, el déficit en el consumo de alimentos crece con el tamaño de las familias, de manera que las familias numerosas, y sus hijos en particular, tienen más

probabilidades, en términos estadísticos, de estar subalimentadas.[51]

En un estado de equilibrio a largo plazo, los niveles relativos de población y de capital, y sus relaciones con los límites fijos como la tierra, el agua y los recursos minerales, tendrían que establecerse de manera que hubiera bastantes alimentos y producción material para mantenerlos a todos al nivel de subsistencia (por lo menos). De esta manera se eliminaría una de las barreras a la distribución igualitaria. Más aún, la otra barrera efectiva a la igualdad —la promesa del crecimiento— ya no podría mantenerse, como lo ha señalado el doctor Herman E. Daly:

> Por diversas razones, el punto más importante del estado estacionario sería la distribución y no la producción. Ya no podremos soslayar el problema de la participación relativa invocando el crecimiento. Ya no podremos utilizar el argumento de que todos serán felices mientras su participación en la riqueza sea mayor, independientemente de la parte relativa que represente... El estado estacionario disminuiría las exigencias que tendrían que satisfacer los recursos ambientales, pero aumentaría aquellas a las que tendrían que responder nuestros recursos morales.[52]

Por supuesto que nada asegura que los recursos morales de la Humanidad serán suficientes para resolver el

[51] Naciones Unidas, FAO, *Provisional Indicative World Plan for Agricultural Development*, 2, 490.

[52] Herman E. Daly, "Toward a Stationary-State Economy", en *The Patient Earth*, John Harte y Robert Socolow (eds.), Nueva York, Holt, Rinehart and Winston, 1971, pp. 236-237.

problema de la distribución del ingreso, aun en el estado de equilibrio. Sin embargo, hay todavía menos garantía de que esos problemas sociales se resolverán en el estado actual de crecimiento, que está forzando los recursos físicos y morales de los habitantes del mundo.

Sin duda que hemos idealizado el cuadro del estado de equilibrio que aquí hemos presentado. Puede que sea posible lograrlo tal y como lo hemos descrito, y puede que ésa no sea la forma que elegiría la mayoría de la gente. El único propósito de la descripción ha sido insistir en que el equilibrio global no tiene que ser el fin del progreso o el desarrollo humanos. Las posibilidades que encierra un estado de equilibrio son casi infinitas.

Un estado de equilibrio no estaría libre de tensiones, puesto que ninguna sociedad puede liberarse de ellas. El equilibrio exigiría cambiar ciertas libertades humanas, como la de la producción ilimitada de niños o el consumo de cantidades irrestrictas de recursos, por otras libertades como el alivio de la contaminación y del hacinamiento y estar a salvo de la amenaza de colapso que acecha al sistema mundial. También es posible que surjan otras libertades —educación universal e ilimitada, tiempo libre para la creación y la inventiva humana, y, lo más importante, la liberación del hambre y de la pobreza, de que disfruta sólo una fracción muy pequeña de los habitantes de la Tierra.

La transición del crecimiento al equilibrio global

En este momento es muy poco lo que podemos decir de los pasos prácticos que día con día se puedan em-

prender para alcanzar un equilibrio conveniente y sostenible. Ni el modelo mundial ni nuestras propias ideas se han desarrollado con el suficiente detalle para que podamos entender todas las implicaciones de la transición del crecimiento al equilibrio. Antes de que alguna porción de la sociedad emprenda esa transición debe discutirse, hacerse un análisis más amplio, y también debe recibirse la contribución de muchas nuevas ideas de diferentes personas. Si hemos estimulado a los lectores de este libro para que empiecen a ponderar la manera como puede realizarse esa transición, hemos logrado nuestro objetivo más inmediato.

Desde luego que se necesita mucha más información para controlar la transición hacia el equilibrio global. En el proceso de examen de los datos mundiales y de su incorporación a un modelo organizado nos hemos percatado de la gran necesidad de obtener más *hechos* —números que podamos medir científicamente y que todavía no lo han sido. Las deficiencias más sobresalientes del conocimiento actual se presentan en el sector contaminación del modelo. ¿En cuánto tiempo viaja un contaminante dado desde su punto de liberación hasta el momento en que penetra en el cuerpo humano? El tiempo que exige el procesamiento que convierte a un contaminante en un elemento inofensivo ¿depende del nivel del contaminante? ¿Tienen efectos combinados sobre la salud contaminantes diferentes que actúan conjuntamente? ¿Cuáles son los efectos de largo plazo que sobre los seres humanos y otros organismos tienen las pequeñas dosis? También es necesario obtener mayor información acerca de las tasas de erosión del suelo y desperdicio de la tierra provocados por la intensificación de las prácticas agrícolas modernas.

Por supuesto que desde nuestro punto de vista como analistas de sistemas recomendaríamos que la búsqueda de hechos no fuera al azar, sino que estuviera regulada por un mayor interés en el establecimiento de una *estructura de sistema*. El comportamiento de todos estos complicados sistemas sociales está determinado ante todo por la red de relaciones físicas, biológicas, psicológicas y económicas que relaciona a cualquier población humana con su medio ambiente y sus actividades económicas. Pero tales relaciones no podrían ser administradas efectivamente hasta que las estructuras subyacentes de nuestros sistemas socioeconómicos hayan sido totalmente analizadas, de la misma manera que un automóvil no puede mantenerse en buenas condiciones para correr sin que sepamos la manera como sus partes influyen entre sí. El estudio de la estructura del sistema puede revelar que la introducción de algún sencillo mecanismo estabilizador de retroalimentación resolvería muchas dificultades. Ya ha habido interesantes sugerencias en ese sentido —por ejemplo, que el precio de un producto incluya los costos totales de la contaminación y del agotamiento de los recursos a que da lugar, o que todo usuario de agua de río coloque su toma de consumo *aguas abajo* del tubo de desagüe.

La última información, la más escurridiza y la más importante que necesitamos se refiere a los valores humanos. Tan pronto como una sociedad reconoce que no puede maximizar todo para todos debe elegir. ¿Debería haber más gente o más riqueza, más naturaleza o más automóviles, más alimentos para los po-

bres o más servicios para los ricos? La esencia del proceso político reside en establecer las respuestas de la sociedad a preguntas como éstas; y aun así, muy pocos se percatan de que estas elecciones se hacen a diario, y menos aún se preguntan cuáles serían sus propias preferencias. La sociedad en estado de equilibrio tendrá que sopesar los sacrificios engendrados por un mundo finito, no sólo considerando los valores humanos actuales, sino también las futuras generaciones. Para hacer esto la sociedad necesitará mejores medios que los que ahora existen para esclarecer las alternativas reales que se plantean, para establecer objetivos societarios y lograr las alternativas compatibles con esos objetivos. Pero lo más importante de todo es especificar los objetivos a largo plazo y hacer que los de corto plazo sean congruentes con los primeros.

Aunque subrayamos la necesidad de estudiar y discutir más estas cuestiones deseamos terminar con una urgente llamada de atención. Esperamos que el estudio intensivo y el debate se desarrollarán simultáneamente a un programa de acción paralelo. Los detalles todavía no están especificados, pero la orientación general de la acción es obvia. Con lo que sabemos podemos analizar muchas de las políticas propuestas en términos de nuestras tendencias a promover o regular el crecimiento. Muchos países han adoptado, o están considerando hacerlo, programas para estabilizar el nivel de su población. Algunas áreas específicas también están tratando de reducir sus tasas de crecimiento económico.[53] Por el momento estos esfuerzos son

[53] Ver, por ejemplo, "Fellow Americans Keep Out!", *Forbes*, 15 de junio de 1971, p. 22 y *The Ecologist*, enero de 1972.

débiles, pero podrían fortalecerse rápidamente si se reconociera en el equilibrio el objetivo más deseable e importante para cualquier porción considerable de la sociedad.

Hemos insistido en la importancia de los rezagos naturales en el sistema población-capital del mundo. Estos rezagos significan que si, por ejemplo, la tasa de natalidad de México decayera gradualmente de su valor actual hasta el valor exacto de remplazo en el año 2000, la población del país seguiría incrementándose hasta el año 2060. Durante ese tiempo la población aumentaría de 50 a 130 millones.[54] Si la población de Estados Unidos tuviera dos hijos por familia a partir de este momento y no hubiera inmigración neta, seguiría creciendo hasta el año 2037 y se elevaría de 200 a 266 millones.[55] Si la población mundial como un todo alcanzara el tamaño de remplazo familiar para el año 2000 (en ese momento la población sería de 5 800 millones), los rezagos provocados por la estructura de edades originarían una estabilización final de la población en 8 200 millones[56] (suponiendo que antes no se elevara la tasa de mortalidad

[54] J. Bourgeois-Pichat y Si-Ahmed Taleb, "Un taux d'acroissement nul pour les pays en voie de developpement en l'an 2000: Rêve ou réalité?", *Population* 25, septiembre/octubre 1970, 957. (Traducción al español: "Una tasa de crecimiento demográfico nulo en los países en vía de desarrollo al año 2000, ¿sueño o realidad?, *Demografía y Economía*, vol. V, núm. 1, 1971, México, El Colegio de México.)

[55] Commission on Population Growth and the American Future, *An Interim Report to the President and the Congress*, Washington, D. C., Government Printing Office, 1971.

[56] Bernard Berelson, *The Population Council Annual Report*, 1970, Nueva York, The Population Council, 1970, p. 19.

—hipótesis poco probable de acuerdo con los resultados de nuestro modelo).

No emprender ninguna acción para resolver estos problemas equivale a emprender una acción poderosa. Cada día que transcurre de crecimiento exponencial sostenido va acercando el sistema mundial a sus límites últimos de crecimiento. La decisión de no hacer nada aumenta el riesgo del colapso. No podemos decir con certeza cuánto tiempo puede la Humanidad aplazar el inicio de controles deliberados de su crecimiento, antes de que pierda la oportunidad de controlarlo. Sospechamos, con base en nuestro conocimiento actual acerca de las sustituciones físicas del planeta, que la fase de crecimiento ya no puede continuar cien años más. De nuevo, en virtud de los rezagos en el sistema, si la sociedad global espera a que esos obstáculos se manifiesten claramente, habrá esperado demasiado.

Si hay razones para preocuparse también las hay para abrigar esperanzas. Limitar deliberadamente el crecimiento sería difícil pero no imposible. La manera de proceder es bien clara y los pasos que exige, aunque son nuevos para la sociedad, se hallan al alcance de la capacidad humana. El hombre posee, por un breve momento en su historia, la más poderosa combinación de conocimientos, herramientas y recursos que el mundo haya conocido. Tiene todo lo que es físicamente necesario para crear una forma totalmente nueva de sociedad humana —construida para durar muchas generaciones. Los dos ingredientes que le faltan son: un objetivo realista a largo plazo que pueda guiar a la Humanidad hacia la sociedad de equilibrio, y la voluntad para lograr ese objetivo. Sin este último y sin

comprometerse a su consecución, los intereses de corto plazo generarán el crecimiento exponencial que inducirá al sistema mundial hacia los límites del planeta y hacia el colapso final. Con ese objetivo y con ese compromiso, la Humanidad podría ahora iniciar una transición controlada y ordenada del crecimiento hacia el equilibrio global.

COMENTARIO

AL INVITAR al grupo del Instituto Teconológico de Massachusetts a realizar esta investigación teníamos en mente dos objetivos inmediatos. El primero consistía en obtener una visión más clara de los límites de nuestro sistema mundial y de las restricciones que impone al desarrollo y a la actividad humanos. Actualmente, mucho más que antes, el hombre tiende al crecimiento continuo y con frecuencia acelerado —de la población, de la ocupación de tierras, la producción, el consumo, el desperdicio, etc.— suponiendo ciegamente que su medio ambiente permitirá esa expansión, que otros grupos cederán, o que la ciencia y la tecnología desplazarán los obstáculos. Deseábamos explorar el grado en que esta actitud hacia el crecimiento es compatible con las dimensiones de nuestro planeta finito y con las necesidades fundamentales de la sociedad mundial en formación —desde la reducción de las tensiones sociales y políticas hasta el mejoramiento de la calidad de la vida para todos.

El segundo objetivo consistía en ayudar a identificar y estudiar los elementos predominantes, y sus interacciones, que influyen sobre el comportamiento de largo plazo de los sistemas mundiales. Creemos que no podemos reunir ese conocimiento concentrándonos meramente en los sistemas nacionales y en los análisis de corto alcance, conforme a la práctica más generalizada. El objetivo del proyecto no era ser una obra de futu-

rología, sino más bien un análisis de las tendencias actuales y de su mutua influencia, así como de sus posibles resultados; llamar la atención general hacia la crisis potencial que amenaza al sistema mundial si permitimos que estas tendencias continúen, y con ello ofrecer una oportunidad para que se introduzcan cambios en los sistemas sociales, políticos y económicos y evitar que estas crisis se produzcan.

El informe ha cumplido sus objetivos. Representa un paso audaz hacia un análisis comprensivo e integrado de la situación mundial, un enfoque que tendremos que refinar, profundizar y ampliar en los próximos años. Pero no es más que un primer paso. Los límites del crecimiento que examina el informe son únicamente los límites físicos últimos que nos impone la finitud del sistema mundial. De hecho, los obstáculos institucionales, políticos y sociales reducen todavía más estos límites, por la inequitativa distribución de la población y de los recursos y por nuestra incapacidad para manejar sistemas complejos muy grandes.

Pero el informe también sirve a otros propósitos. Propone sugerencias provisionales para el futuro estado del mundo y abre nuevas perspectivas para que el esfuerzo intelectual y práctico sostenido modelen ese futuro.

Hemos presentado los resultados de este informe ante dos reuniones internacionales, ambas celebradas en el verano de 1971, una en Moscú y la otra en Río de Janeiro. Aunque surgieron muchas preguntas y numerosas críticas, nunca se manifestó un desacuerdo sustancial con las perspectivas que describe. Sometimos un proyecto preliminar del informe al criterio y comenta-

rios de cuarenta personas, la mayoría de ellas miembros del Club de Roma. Tal vez sea interesante mencionar algunas de las principales críticas:

1) Como los modelos sólo pueden incluir un número limitado de variables, las interacciones que se estudian son parciales. Se señaló que en un modelo global como el que nosotros utilizamos el grado de agregación es necesariamente muy alto. Sin embargo, se reconoció que con un modelo mundial simple es posible examinar el efecto de un cambio en las hipótesis básicas, o simular el efecto de un cambio de política para ver la manera como esos cambios influyen en el tiempo sobre el comportamiento del sistema. Experimentos similares en el mundo real resultarían demasiado largos, costosos y en muchos casos imposibles.

2) Se sugirió que habíamos atribuido poca importancia a las posibilidades que representan los avances sociales y tecnológicos para la resolución de algunos problemas, tales como el desarrollo de métodos anticonceptivos plenamente comprobados, la producción de proteínas a partir de combustibles orgánicos, la generación o el control de energía virtualmente ilimitada (incluida la energía solar libre de contaminación) y su uso subsecuente para la síntesis de alimentos a partir del aire y del agua, y para la extracción de minerales de las rocas. No obstante, se aceptó que probablemente esos desarrollos llegarían demasiado tarde para evitar el desastre demográfico o ambiental. En todo caso, probablemente más que evitar la crisis sólo la aplazarían, puesto que la problemática consiste en cuestiones

que exigen siempre algo más que soluciones puramente técnicas.

3) Otros pensaron que la posibilidad de hallar nuevos acervos de materias primas en áreas hasta ahora insuficientemente exploradas eran mucho mayores que las que el modelo supone. Pero, otra vez, más que eliminar la escasez, los hallazgos únicamente la aplazarían. Sin embargo, debemos reconocer que la extensión de la disponibilidad de los recursos durante varios decenios podría proveer al hombre de más tiempo para hallar medios que eviten esa amenaza.

4) Algunos consideraron que el modelo era demasiado "tecnocrático", y observaron que no incluye los factores sociales críticos, como los efectos de la adopción de sistemas de valores diferentes. El presidente de la reunión de Moscú resumió este punto al decir: "El hombre no es un mero instrumento biocibernético." Esta crítica es válida. El modelo actual considera al hombre sólo en su sistema material, porque los elementos sociales válidos simplemente no pudieron ser diseñados e introducidos en este primer esfuerzo. Aun así, a pesar de la orientación material del modelo, las conclusiones del estudio señalan la necesidad de que se introduzca un cambio fundamental en los valores de la sociedad.

En general, la mayoría de los que leyeron el informe concidieron con sus postulados. Más aún, es bien claro que si los argumentos que incluye (aun después de tener en cuenta la crítica justificada) se consideran

en principio válidos, difícilmente podemos sobrestimar su importancia.

Muchos comentaristas compartieron nuestra creencia de que la importancia esencial del proyecto reside en su concepto global, porque es a través del conocimiento de totalidades que avanzamos en nuestra comprensión de los componentes, y no viceversa. El informe presenta de manera directa las alternativas que afrontan no sólo un país o un pueblo, sino todos los países y todos los pueblos, obligando con ello al lector a ampliar su visión a las dimensiones de la problemática mundial. Uno de los inconvenientes de este enfoque reside en que —dados la heterogeneidad de la sociedad mundial, las estructuras políticas nacionales y los niveles de desarrollo— las conclusiones del estudio, aunque válidas para el planeta como un todo, no se aplican en detalle a ningún país o región en particular.

Desde luego que en la práctica los acontecimientos tienen lugar en el mundo esporádicamente y en momentos críticos —no se generalizan o presentan simultáneamente en todo el planeta. Así pues, aun cuando la pasividad humana y las dificultades políticas permitieran que las consecuencias que anticipa el modelo se hicieran efectivas, sin duda se manifestarían primero en una serie de crisis y catástrofes locales.

Pero probablemente es cierto también que estas crisis tendrían repercusiones mundiales y que muchos países y mucha gente, al aplicar remedios precipitados o refugiarse en el aislamientismo e intentar la autosuficiencia, no harían sino agravar las condiciones que operan en el sistema como un todo. La interdependencia de los diversos componentes del sistema mundial haría que esas medidas fueran al fin y al cabo inútiles. La guerra, las plagas y un hambre de materias primas en las economías industriales, o una caída económica generalizada, inducirían a una desintegración social contagiosa.

Por último, se asignó al informe un valor especial en cuanto a que apunta a la naturaleza exponencial del crecimiento humano dentro de un sistema cerrado, un concepto que rara vez mencionan y consideran quienes formulan la política, a pesar de sus inmensas implicaciones para el futuro de nuestro planeta finito. El proyecto del MIT explica sistemáticamente las tendencias de las que apenas nos percatamos.

Las conclusiones pesimistas del informe han sido, y sin duda seguirán siendo, materia de controversia. Muchos creerán que, por ejemplo, en cuanto al crecimiento de la población la naturaleza pondrá remedio al problema, y que las tasas de natalidad decaerán antes de que la catástrofe sea inminente. Otros simplemente pueden pensar que las tendencias que identifica el estudio están fuera del alcance del control humano; estas personas esperarán hasta que "algo suceda". Otros esperarán que correcciones menores a las políticas actuales inducirán a un reajuste gradual y satisfactorio, y posiblemente al equilibrio. Y muchos más están dispuestos a confiar en la tecnología y en su supuesta cornucopia de soluciones para todos.

Aceptamos con agrado y alentamos el debate. En nuestra opinión es importante indagar la verdadera escala de la crisis que encara la Humanidad y los niveles de gravedad que ella puede alcanzar en los próximos decenios.

A partir de la respuesta que recibimos al proyecto que distribuimos, creemos que este libro hará que un número cada vez mayor de gente se pregunte seriamente si el impulso del crecimiento actual no llevará más allá de la capacidad de sostenimiento del planeta —y considere las escalofriantes alternativas que para nosotros, para nuestros hijos y para nuestros nietos implica una extralimitación.

¿Cómo evaluamos el informe nosotros, los patrocinadores del proyecto? No podemos hablar en nombre de todos nuestros colegas del Club de Roma, porque entre ellos existen diferencias de interés, y de juicio. Pero, a pesar de la naturaleza preliminar del informe, las limitaciones de algunos de sus datos y la inherente complejidad del sistema mundial que intenta describir, estamos convencidos de la validez de sus principales conclusiones. Creemos que contiene un mensaje cuya significación es más profunda que una simple comparación de dimensiones —un mensaje que tiene que ver con todos los aspectos del actual predicamento humano.

Aunque aquí no podemos expresar sino opiniones preliminares, puesto que sabemos que todavía es necesario reflexionar sobre ellas y ordenarlas, estamos de acuerdo en los siguientes puntos:

1) Estamos convencidos de que es esencial que nos percatemos de las restricciones cuantitativas del medio ambiente mundial y de las trágicas consecuencias que tendría una extralimitación, a fin de iniciar nuevas formas de pensamiento que llevarían a una revisión fundamental del comportamiento humano y, por ende, de la estructura de la sociedad actual.

No es sino hasta ahora, cuando hemos empezado a entender algunas de las interacciones que existen entre el crecimiento demográfico y el económico, y cuando en ambos el hombre ya ha alcanzado niveles sin precedente, que estamos obligados a tomar en consideración las limitadas dimensiones del planeta y los límites de la presencia y la actividad humanas sobre el mismo. Por primera vez la investigación del costo del crecimiento material irrestricto se ha convertido en una cuestión de importancia vital, así como la consideración de las alternativas que plantea su continuación.

2) Estamos convencidos de que la presión demográfica en el mundo ha alcanzado un nivel tan elevado y una distribución tan desigual, que tan sólo este problema debe obligar a la Humanidad a buscar el estado de equilibrio del planeta.

Existen todavía áreas subpobladas, pero considerando el mundo como un todo, el crecimiento de la población se acerca al punto crítico, si es que no lo hemos alcanzado ya. Desde luego que no hay un nivel óptimo único de la población a largo plazo; más bien existe una serie de equilibrios que se establecen entre los niveles de la población, los niveles sociales y materiales, la libertad personal, y otros elementos que constituyen la calidad de la vida. Dado el acervo finito y declinante de los recursos no renovables y el espacio limitado del planeta, debemos aceptar el principio de que el creciente número de habitantes acabará por conducir a un nivel de vida inferior —y a una problemática más compleja. Por otra parte, la estabilización del crecimiento demográfico no pondría en peligro ningún valor humano fundamental.

3) Reconocemos que el equilibrio mundial puede hacerse realidad sólo si la suerte de los países en desarrollo mejora sustancialmente, en términos absolutos tanto como en términos relativos a los países económicamente desarrollados, y afirmamos que una estrategia global es el único camino para lograr ese mejoramiento.

Si no se emprende un esfuerzo global, las brechas y las desigualdades que existen —que son ya explosivas— seguirán aumentando. El único resultado será el desastre, ya sea debido al egoísmo de países individuales que siguen actuando meramente a favor de sus propios intereses, o a una lucha por el poder entre los países en desarrollo y los países desarrollados. El sistema mundial simplemente no tiene la amplitud ni la generosidad para dar cabida por más tiempo a tal comportamiento conflictivo y egoísta de sus habitantes; cuanto más nos acerquemos a los límites materiales del planeta más difícil será abordar el problema.

4) No obstante, afirmamos que el problema del desarrollo global está íntimamente ligado a otras cuestiones también globales, y que debemos desarrollar una estrategia igualmente amplia para atacar los grandes problemas, incluyendo en particular los que representa la relación del hombre con su medio ambiente.

Duplicándose la población mundial en poco más de treinta años, y con tendencia a acortar este periodo, sería muy difícil que la sociedad pudiera satisfacer las necesidades y las expectativas de tanta gente en un periodo tan reducido. Podemos tratar de hacerlo explotando excesivamente nuestro medio ambiente natural y perjudicando todavía más la capacidad del planeta para albergar la vida humana. De ahí que en

ambos lados de la ecuación hombre-medio ambiente, la situación tenderá a empeorarse peligrosamente. No podemos esperar que las meras soluciones tecnológicas disuelvan el círculo vicioso. La estrategia para tratar estos dos problemas claves del desarrollo y del medio ambiente debe concebirse como una sola.

5) Sabemos que la compleja problemática mundial está compuesta en gran medida de elementos que no pueden expresarse en términos numéricos; sin embargo, creemos que el enfoque predominantemente cuantitativo que utiliza este informe es una herramienta indispensable para comprender el funcionamiento de la problemática, y esperamos que ese conocimiento nos lleve a dominar esos elementos.

Aunque los principales problemas mundiales están vinculados fundamentalmente entre sí, no se ha descubierto ningún método para atacar el todo de manera efectiva. El enfoque que hemos adoptado puede ser sumamente útil para la reformulación de nuestras ideas acerca de todo el predicamento humano. Nos permite definir los equilibrios que deben existir en la sociedad humana, y entre ella misma y su *habitat*, y percibir las consecuencias que puede originar el rompimiento de esos equilibrios.

6) Estamos unánimemente convencidos de que la rectificación rápida y radical de la situación mundial hoy desequilibrada, y que se deteriora peligrosamente, es la primera tarea que afronta la Humanidad.

Sin embargo, nuestra situación actual es tan compleja y refleja a tal grado las múltiples actividades del hombre que ninguna combinación de medidas e instru-

mentos puramente técnicos, económicos y legales puede provocar mejoras sustanciales. Se requieren enfoques enteramente nuevos para reorientar a la sociedad hacia objetivos más de equilibrio que de crecimiento. Esta reorganización implicará un esfuerzo supremo de comprensión, imaginación y resolución política y moral. Creemos que el esfuerzo es posible y esperamos que la publicación de este informe ayudará a movilizar las fuerzas que lo hagan posible.

7) Este esfuerzo supremo es un desafío a nuestra generación y no lo podemos heredar a la que nos sigue. El esfuerzo debe emprenderse resuelta y prontamente, para que logremos en este decenio la reorientación que buscamos implantar.

Aunque inicialmente pueda centrarse el esfuerzo en las implicaciones del crecimiento, sobre todo el demográfico, pronto tendríamos que encarar la totalidad de la problemática mundial. De hecho, creemos que muy pronto se manifestará la necesidad de que las innovaciones sociales sean paralelas al cambio tecnológico, y de que se lleven a cabo reformas radicales a las instituciones y a los procesos políticos en todos los niveles, incluido el más elevado, el de la política mundial. Confiamos en que nuestra generación aceptará el desafío al conocer las trágicas consecuencias que puede tener la pasividad.

8) No dudamos que si la Humanidad ha de embarcarse en una nueva vía, antes será necesario concertar medidas internacionales y realizar una planeación conjunta de largo alcance en una escala y amplitud sin precedentes.

Semejante esfuerzo exige un empeño conjunto de todos los pueblos, cualquiera que sea su cultura, su sistema económico o su nivel de desarrollo; pero la responsabilidad principal corresponde a los países más desarrollados, no porque su visión sea más clara o sean más comprensivos, sino porque, además de que fueron ellos los que propagaron el síndrome del crecimiento son todavía la fuente del progreso que lo sostiene. A medida que se desarrollan visiones más profundas de la condición y funcionamiento del sistema mundial, estos países se percatarán de que en un mundo que exige fundamentalmente estabilidad, sus elevados niveles de desarrollo pueden justificarse o tolerarse siempre y cuando sirvan, no de trampolín para alcanzar niveles superiores, sino como áreas a partir de las cuales podamos organizar una distribución más equitativa de la riqueza y del ingreso en todo el mundo.

9) Apoyamos unívocamente la idea de que la imposición de un freno a las espirales del crecimiento demográfico y el económico del mundo no llevará necesariamente a un congelamiento del *status quo* del desarrollo económico de los países de todo el mundo.

Si esa proposición fuera manifestada por los países ricos, sería considerada como el acto final del neocolonialismo. Debemos empeñarnos conjuntamente en el logro de un estado armonioso de equilibrio global económico, social y ecológico, basados en una convicción común, benéfica para todos. Deberá exigirse a los países económicamente desarrollados el máximo liderazgo, ya que el primer paso hacia ese objetivo tendría que ser inducir la desaceleración del crecimiento de su propio producto material, mientras que, al mis-

mo tiempo, tendrían que ayudar a los países en desarrollo a acelerar el progreso de sus economías.

10) Por último, afirmamos que cualquier intento deliberado de alcanzar un estado de equilibrio racional y duradero a través de la planificación, más que a través del azar o la catástrofe, debe hallar su fundamento último en un cambio básico de valores y objetivos a nivel individual, nacional y mundial.

Tal vez este cambio ya está presente, si bien todavía tenuemente. Pero nuestra tradición, educación, nuestras actividades e intereses diarios harán que la transformación sea lenta y difícil. Sólo una comprensión real de la condición humana en este punto clave de la historia puede motivar a la gente a aceptar los sacrificios individuales y los cambios de estructuras económicas y políticas de poder que el estado de equilibrio exige.

Desde luego, queda el problema de si la situación mundial es realmente tan grave como parecen indicarlo este libro y nuestros comentarios. Creemos firmemente que las advertencias de este libro están ampliamente justificadas, y que los objetivos y acciones de nuestra civilización no harán sino agravar los problemas del mañana; pero nos complacería mucho que nuestras evaluaciones provisionales resultaran demasiado sombrías.

En todo caso, estamos profundamente preocupados aunque no desesperados. El informe describe una alternativa al desastroso crecimiento irrestricto y expresa algunas ideas en cuanto a los cambios de política que podrían producir un equilibrio estable para la Humanidad. El informe señala que podemos proporcionar

una buena vida material a poblaciones razonablemente grandes, además de oportunidades para un desarrollo individual y social ilimitado. Estamos sustancialmente de acuerdo con esta posición, aunque somos lo bastante realistas como para no creer en especulaciones puramente científicas o éticas.

El concepto de una sociedad en estado constante de equilibrio económico y ecológico puede ser fácilmente comprensible, aunque la realidad esté tan distante de nuestra experiencia como para exigir una revolución copernicana de la mente. Traducir esta idea en hechos es una labor que supone tremendas dificultades y complejidades. No podemos hablar seriamente de la empresa sino hasta que el mensaje de *Los límites del crecimiento* y su sentido de extrema urgencia sean aceptados por un amplio grupo de la opinión científica, política y pública de muchos países. En todo caso, es muy probable que la transición sea dolorosa, y que sus exigencias al ingenio y la determinación humanos sean extremas. Como ya lo hemos dicho, sólo la convicción de que no hay ninguna otra salida para que podamos sobrevivir puede liberar las fuerzas morales, intelectuales y creativas que exige esta empresa humana sin precedentes.

Pero deseamos subrayar el desafío más que la dificultad que representa trazar el camino hacia un estado estable de la sociedad. Creemos que un número inesperadamente grande de hombres y mujeres de todas las edades y condiciones responderá de inmediato al desafío, deseosos de discutir no el si podemos crear este nuevo futuro, sino el cómo hacerlo.

El Club de Roma proyecta apoyar de muchas ma-

neras esa actividad. La investigación sustantiva iniciada en el MIT sobre la dinámica mundial seguirá adelante tanto ahí mismo como a través de estudios que se realizarán en Europa, Canadá, América Latina, la Unión Soviética y Japón; y como la ilustración intelectual no tiene ningún efecto si no es política, el Club de Roma también fomentará la creación de un foro mundial donde estadistas, formuladores de política y científicos puedan discutir los peligros del futuro sistema global y las esperanzas que se abriguen respecto a él, sin los obstáculos que representa la negociación intergubernamental formal.

Por último, deseamos expresar que el hombre debe explorarse a sí mismo —sus objetivos y sus valores— tanto como al mundo que trata de cambiar. Debe dedicarse continuamente a ambas tareas. El meollo de la cuestión no es sólo la supervivencia de la especie humana, sino el que esa supervivencia pueda mantenerse sin caer en un estado de existencia que no valga nada.

El Comité Ejecutivo de El Club de Roma

ALEXANDER KING
SABURO OKITA
AURELIO PECCEI
EDUARDO PESTEL
HUGO THIEMANN
CARROL WILSON

APÉNDICE: ESTUDIOS RELACIONADOS CON EL ACTUAL

A continuación se enumeran diversos estudios relacionados con el Proyecto del Grupo de Dinámica de Sistemas–Club de Roma en torno al Predicamento de la Humanidad.

La mayor parte de estos trabajos pueden verse, también, en la siguiente obra (en un solo volumen): *Toward Global Equilibrium - Collected Papers*, Dennis L. Meadows, compilador; publicada por Wrigth-Allen Press, Inc. 238 Main Street, Cambridge, Mass., 02142.

ANDERSON, Alison y ANDERSON, Jay M., *System Simulation to Test Environment Policy III: The Flow of Mercury through the Environment*. Mimeografiado. Cambridge, Mass., Instituto Tecnológico de Massachusetts, 1971.

ANDERSON, Jay M., *System Simulation to Test Environmental Policy II: The Eutrophication of Lakes*, Mimeografiado. Cambridge, Mass., Instituto Tecnológico de Massachusetts, 1971.

BEHRENS, William W. III., *The Dynamics of Natural Resource Utilization*, trabajo presentado a la Conferencia de Verano de 1971 sobre Simulación de Computadoras, julio de 1971, Boston, Massachusetts, patrocinada por el Board of Simulation Conferences, Denver, Colorado.

BEHRENS, William W. III y MEADOWS, Dennis L., *The Determinants of Long-Term Resource Availability*. Trabajo presentado a la reunión anual de la American Association for the Advancement of Science, enero de 1971, Filadelfia, Pennsilvania.

CHOUCRI, Nazli, LAIR, Michel y MEADOWS, Dennis L., *Resource Scarcity and Foreign Policy: A Simulation Model of International Conflict*. Trabajo presentado ante la reunión anual de la American Association for the Advancement of Science, enero de 1971, Filadelfia, Pensilvania.

FORRESTER, Jay W., "Counterintuitive Nature of Social Systems", *Technology Review* 73, 1971, 53.

FORRESTER, Jay W., *World Dynamics*, Cambridge, Mass., Wright-Allen Press, 1971.

HARBORDT, Steffen C., *Linking Socio-Political Factors to the World Model*, mimeografiado. Cambridge, Mass., Instituto Tecnológico de Massachusetts, 1971.

MEADOWS, Donella H., *The Dynamics of Population Growth in the Traditional Agricultural Village*, mimeografiado. Cambridge, Mass., Instituto Tecnológico de Massachusetts, 1971.

MEADOWS, Donella H., "Testimony Before the Education Committee of the Massachusetts Great and General Court on Behalf of the House Bill 3787." Reimpreso bajo el título "Reckoning with Recklessness", *Ecology Today*, enero de 1972, p. 11.

MEADOWS, Dennis L., *The Dynamics of Commodity Production Cycles*, Cambridge, Mass., Wright-Allen Press, 1970.

MEADOWS, Dennis L., *MIT-Club of Rome Project on the Predicament of Mankind*. Mimeografiado. Cambridge, Mass., Instituto Tecnológico de Massachusetts, 1971.

MEADOWS, Dennis L., *Some Requirements of a Successful Environmental Program*. Audiencias del Subcomité de Contaminación del Aire y del Agua del Comité de Obras Públicas del Senado, Parte I, 3 de mayo de 1971. Washington, D. C., Government Printing Office, 1971.

MILLING, Peter, *A Simple Analysis of Labor Displacement and Absorption in a Two Sector Economy*. Mimeografiado. Cambridge, Mass., Instituto Tecnológico de Massachusetts, 1971.

NAILL, Roger F., *The Discovery Life Cycle of a Finite Resource: A Case Study of US Natural Gas*. Mimeografiado. Cambridge, Mass., Instituto Tecnológico de Massachusetts, 1971.

RANDERS, Jørgen, *The Dynamics of Solid Waste Generation*. Mimeografiado. Cambridge, Mass., Instituto Tecnológico de Massachusetts, 1971.

RANDERS, Jørgen y MEADOWS, Donella H., "The Carrying Capacity of our Gobal Environment: a Look at the Ethical Alternatives." en *Western Man and Environmental Ethics*, Ian Barbour (ed.), Reading, Mass., Addison-Wesley, 1972.

RANDERS, Jørgen y MEADOWS, Dennis L., *System Simulation to Test Environmental Policy I: A Sample Study of DDT Movement in the Environment*. Mimeografiado. Cambridge, Mass., Instituto Tecnológico de Massachusetts, 1971.

SHANTZIS, Stephen B. y BEHRENS, William W. III., *Population Control Mechanisms in a Primitive Agricultural Society*. Mimeografiado. Cambridge, Mass., Instituto Tecnológico de Massachusetts, 1971.

INDICE

Lista de participantes en el equipo del Instituto Tecnológico de Massachusetts 9

Prólogo a la edición en español: "Allende el año 2000" 11

Presentación 21
La condición humana 22
La problemática mundial: síntomas y enfermedad 26
El proyecto del Instituto Tecnológico de Massachusetts 28

Introducción 32
Perspectivas humanas 33
Problemas y modelos 36

I. *Naturaleza del crecimiento exponencial* ... 42
Las matemáticas del crecimiento exponencial 42
Modelos y crecimiento exponencial 48
Crecimiento de la población mundial 52
Crecimiento económico mundial 58

II. *Los límites del crecimiento exponencial* ... 66
Alimentos ... 67
Recursos no renovables ... 78
La contaminación ... 90
El crecimiento exponencial de la contaminación ... 91
Límites superiores desconocidos ... 105
Rezagos naturales en los procesos ecológicos ... 105
Distribución global de los contaminantes. 109
Los límites de la contaminación ... 109
Un mundo finito ... 112

III. *El crecimiento en el sistema mundial* ... 114
Objetivos del modelo mundial ... 118
La estructura del circuito de retroalimentación ... 123
Hipótesis cuantitativas ... 130
Uso de recursos *per capita* ... 134
La utilidad del modelo mundial ... 151

IV. *La técnica y los límites del crecimiento* ... 116
La tecnología en el modelo mundial ... 163
La tecnología en el mundo real ... 182

V. *El estado de equilibrio global* ... 196
Frenos deliberados al crecimiento ... 199
El estado de equilibrio ... 213

El crecimiento en el estado de equilibrio. 218
La igualdad en el estado de equilibrio ... 223

Comentario ... 232
Apéndice: "Estudios relacionados con el actual". 247

La COLECCION POPULAR significa un esfuerzo editorial —y social— para difundir entre núcleos más amplios de lectores, de acuerdo con normas de calidad cultural y en libros de precio accesible y presentación sencilla pero digna, las modernas creaciones literarias de nuestro idioma, los aspectos más importantes del pensamiento contemporáneo y las obras de interés fundamental para nuestra América.

LOS LIMITES DEL CRECIMIENTO.

DENNIS L. MEADOWS

Un grupo de intelectuales y hombres de empresa y de ciencia de Europa y Norteamérica, a los que se han agregado estudiosos de Asia, Africa y América Latina, resolvió en 1968 emprender, con los métodos que la cibernética y las ciencias sociales son capaces de usar hoy día, un examen a fondo de las interrelaciones entre crecimiento de la población, desarrollo industrial y agrícola, utilización de los recursos naturales y contaminación del medio ambiente, en una perspectiva de largo plazo hasta por lo menos mediados del siglo XXI. Tras una labor de más de tres años, con base en la mejor información disponible, el grupo técnico elaboró los modelos que son objeto del presente estudio, cuya versión original ha suscitado ya, en el mundo entero, apasionadas polémicas. Los modelos muestran diversas alternativas de las que se desprende que, de seguir las tendencias actuales, se excederá la capacidad del planeta para sostener una población siempre creciente. Lejos de tener ninguna intención alarmista, los análisis efectuados pretenden llamar la atención sobre las consecuencias de distintas posibles situaciones reales, con objeto de que los responsables de la conducción de la Humanidad puedan prever las medidas y las políticas que serían oportunas para que no se llegue a una situación catastrófica.

FONDO DE CULTURA ECONOMICA

PORTADA: SIGNUM, S.A.