

Determinismo, incertidumbre y debate ecológico

Teresa Kwiatkowska*

*Tortoise: ... Your will can be equally free if your brain
is just a piece of software inside someone else's brain.
And their brain, too may be software in yet higher brain...*

D. R. HOFSTEDTER

Dios no juega a los dados con el mundo...

A. EINSTEIN

En la década de los noventa las amenazas ecológicas obligan a tomar decisiones urgentes sobre problemas cuyo fundamento científico no es muy claro aún. Hacen falta datos acerca de la lluvia ácida, el deterioro de la capa de ozono, el impacto del calentamiento de la tierra o los efectos cancerígenos del aire sucio, por mencionar algunos fenómenos.

Las decisiones de hoy tendrán importantes consecuencias en el mañana. Mas, tampoco las podemos postergar. No cabe duda de que las acciones correctas no podrán provenir de una decisión basada en la opinión pública, sobre todo porque no existe una respuesta única a un problema tan complejo.

Es aquí, en un proceso de toma de decisiones marcado por la incertidumbre, donde la estadística juega un papel fundamental para el científico y el político, tanto en la

*Profesor-investigador, Departamento de Filosofía, UAM-Iztapalapa.

elección de un modelo de naturaleza, como en la comprobación de hipótesis.¹

A finales del siglo pasado, la aparición de la geometría no euclidiana asestó un duro golpe a la epistemología originada en la perfección absoluta de la figura de Euclides. Las "otras verdades", las que echaron abajo la idea de una verdad absoluta, desataron a su vez una "ola revolucionaria" dentro de las ciencias básicas, puesto que fueron afectados profundamente los conceptos filosóficos de causalidad, predestinación o determinismo.

Probablemente Einstein fue el primero en darse cuenta de que aquellas leyes, en apariencia perfectas, que la ciencia pretendía descubrir eran válidas solamente dentro de los límites de la observación.

El descubrimiento de la mecánica cuántica, con el principio de incertidumbre introducido por W. Heisenberg, puso en tela de juicio las teorías cosmológicas así como las de la naturaleza, que en ese tiempo se hallaban cómodamente asentadas en la conciencia humana.

El hombre, desde épocas muy remotas, ha creído y cifrado esperanzas en una supuesta capacidad de alcanzar un conocimiento cierto y verdadero sobre el curso de la naturaleza.

"...no hay clasificación del universo que no sea arbitraria y conjetural", escribió Jorge Luis Borges. La razón es muy simple: no sabemos qué es el universo... La imposibilidad de penetrar el esquema divino no puede, sin embargo, disuadirnos de plantear esquemas humanos, aunque nos conste que éstos son provisionales.

Las culturas ancestrales concebían una naturaleza llena de misterios, caprichosa, incluso temerosa; los movimientos de los planetas eran, en su parecer, irregulares e incomprensibles. El sol, la luna, la

lluvia eran divinidades vivas, cuyos caprichos regían y sustentaban la vida del universo y del ser humano. Los dioses no sólo determinaban el camino del hombre sino también intervenían en su curso. Los *Coloquios* nahuas son una bella expresión de aquella creencia:

Era doctrina de nuestros mayores
que son los dioses por quienes se vive...
... que ellos nos dan nuestro sustento,
todo cuanto se bebe y se come,
lo que conserva la vida, el maíz, el frijol,
los bledos, la chía.
Ellos son a quienes pedimos agua, lluvia
por las que se producen las cosas en la tierra...

Hacia el modelo determinista de la naturaleza

El azar expresa la ignorancia del hombre
LAPLACE

Tales (649-652 A.C.) fue uno de los primeros en sostener que la naturaleza posee una esencia racional al alcance de la comprensión humana. Desde aquellos momentos hasta la aparición de las superficies no euclidianas, el hombre, con base en una profunda fe en Dios y/o en la razón, le atribuyó a la naturaleza las leyes de su propia racionalidad, con lo cual armó un superorden: la armonía del cosmos. Se creyó que el Dios, el diseñador perfecto, ordenó el universo según un plan matemático, y que el hombre, guiado por su fe o su razón, deduciría ese plan inscrito en la naturaleza.

Los griegos apostaron al carácter infalible del intelecto, y así emprendieron la búsqueda de un



orden inherente en el mundo físico. Demócrito y los atomistas creían en la perfecta determinación de todos los movimientos de lo que suponían partícula indivisible. Los pitagóricos, los primeros en la larga cadena de la racionalización de la naturaleza, redujeron esa determinación a las relaciones de números como esencia misma de la organización universal. La geometría, según Platón, revelaba la última verdad y el espíritu filosófico.

Los elementos de Euclides coronaron la fe en un diseño racional y la estructura matemática de nuestro mundo físico.

En el mundo perfecto del razonamiento deductivo griego todo tenía un curso determinado de acuerdo con las leyes de la naturaleza tal como en el teatro antiguo, donde cada acontecimiento se cumplía de acuerdo con un destino anunciado.

La teoría astronómica de Ptolomeo aportó la última evidencia de la invariabilidad de la naturaleza. Se ha reconocido la organización racional del universo de acuerdo con los movimientos matemáticos.

Y los dioses, si existiesen, anotó Lucrecio, no hubieran creado el universo sólo para que los humanos admiraran la pieza perfecta de su trabajo. Además, tiene demasiadas imperfecciones para ser una obra divina.

En el siglo XVII Pascal, gran matemático, al lado de Fermat, uno de los padres de la probabilidad, da otro sentido a esas mismas palabras, para confirmar la existencia de la divinidad y del mismo plan racional dentro de la razón última. “La naturaleza —escribió Pascal en sus *Pensamientos*— tiene perfecciones, para mostrar que es la imagen de Dios, y defectos, para probar que sólo es eso: una imagen”.²

La cosmogonía cristiana adscribió a su Dios plena posesión de la razón, conocimiento de la verdad y del proyecto de la vida. Se concibió al universo como una creación divina, al hombre como la criatura elegida del señor, creada a su imagen. Dios cedió al ser humano el dominio sobre todas las demás criaturas para que “señoree en los peces del mar, en las aves de los cielos, en las bestias, en toda la tierra y en todo animal que se arrastre sobre la tierra.” (Génesis, 1:26)

Este Dios cristiano es un ser omnipotente, diseñador perfecto, a cuyo servicio todo cumple con el orden natural. El universo ha sido imaginado como una escala de funciones y posiciones determinadas por la ley divina, que es el fin y la razón de toda la creación.

En los trabajos de Tomás de Aquino Dios adquirió la importancia de la aristotélica causa final. El siglo XVII dio la bienvenida a los experimentos y a las

matemáticas, las dos llaves para entrar en el mundo de los fenómenos naturales. “No hay certeza en la ciencia —señalaba Leonardo de Vinci— si no se puede aplicar una de las ciencias matemáticas”. La descripción cuantitativa de la naturaleza, cuyo pináculo fue la obra de Newton, hizo realidad los sueños de quienes querían prever los caminos de la naturaleza.

Desde los trabajos de Copérnico, Kepler, Galileo y Newton se vio al universo como un enorme reloj cuyo funcionamiento perfecto obedecía a leyes ya descubiertas. El método cartesiano abrió la posibilidad de un análisis cuya aplicación suponía podríamos convertirnos en amos y dueños de la naturaleza.³

La filosofía natural cartesiana de la materia y del movimiento eliminó lo caótico, desordenado y confuso de nuestro mundo y lo convirtió en una máquina perfecta de relaciones precisas y armoniosas, en una palabra, en “un sistema homogéneo y mecánico compuesto por entidades cualitativamente similares, siguiendo cada una de ellas las leyes cuantitativas mecánicas reveladas por el análisis del método matemático”.⁴

A pesar del famoso axioma cartesiano *omnibus dubitandum*, su mundo cuantitativo estaba sujeto a la divina voluntad, comprendida únicamente en términos de los caminos y metas del Creador.

Hasta más o menos la mitad del siglo XIX la tesis dominante ha encontrado su mejor expresión en el cosmos estático, homocéntrico, ordenado de acuerdo con la jerarquía necesaria, armónico como en los dibujos de Copérnico. Éste fue el universo finito en tiempo y espacio, un templo divino, ofrecido por Dios, lleno de su gracia y su presencia.⁵

La concepción de Dios como un rector absoluto del universo, absolutamente libre e inmutable asegura que las ideas innatas en el espíritu humano descubrirán lo verdadero de la naturaleza, según las leyes promulgadas desde el comienzo. Asimismo, la existencia de un Dios perfecto escondido en las reglas geométricas justificó (y fue justificado por) la presencia de un ser perfecto.

El principio de una divinidad fija e inmóvil sirvió a Newton de plataforma para desarrollar su idea de un tiempo y un espacio absolutos, determinados a partir de dicho concepto.

La divinidad —escribía Newton— perdura por siempre y en todas partes se halla presente, y al existir siempre y en todo lugar, constituye la duración y el espacio... Gobierna todas las cosas y conoce todo cuanto es y cuanto puede ser...⁶

A finales del siglo XVIII el modelo filosófico cuya esencia descansaba en la noción de materia en movimiento se convirtió en una sólida e impresionante realidad. Dos trabajos fundamentales: *Mecánica analítica*, de Lagrange y *Mecánica celeste*, de Laplace, probaron sin lugar a duda que el universo es una manifestación del movimiento y de la acción recíproca de los átomos constituyentes de la materia de acuerdo con leyes deterministas. Ni el pasado ni el futuro abrigaban secreto alguno. Se dedujo que la naturaleza fue gobernada por las precisas y eternas leyes matemáticas que comprendían todos los fenómenos del movimiento observados por los científicos.

El Calculador Divino, una figura diseñada por el mismo Laplace (que sustituyó al Señor-Creador), una objetividad fuera del sistema, al conocer las posiciones y velocidades de todas las partículas go-

zaba los privilegios de calcular todo lo que había ocurrido en el pasado y todo lo que pudiera ocurrir en el futuro. Dicho de otro modo

... toda la historia estaba predeterminada, hasta el menor detalle... El nacimiento y la caída de los imperios, y aun el dolor de todo amor olvidado no representan más que el inevitable funcionamiento de las leyes de la física; el universo anda como un gigantesco aparato de relojería.⁷

Quizá recordando la máxima de Demócrito, según la cual los hombres habían forjado la imagen de la suerte como excusa de su propia estupidez, los científicos sociales contemporáneos posteriores al surgimiento de la cosmovisión mecánica han tomado la aproximación newtoniana como un ejemplo perfecto, preciso y universal de las leyes generales de la historia y del comportamiento del hombre. El materialismo asumió la realidad como una máquina completa, un mecanismo de los objetos en movimiento en el espacio y en el tiempo. El determinismo negó el libre albedrío y aseguró la certeza de todo acuerdo con los principios de una eterna e infinita máquina autorreguladora.

Ser libre, resumió Voltaire, es hacer todo lo que nos plazca, mas no es el poder de decidir qué nos place.

Aquellos tiempos de la razón nos liberaron de la prepotencia del Dios, el creador y conocedor de todos nuestros caminos. A su vez originaron un universo automatizado, un vasto sistema regulado por las invariables leyes matemáticas, sin causas ni objetivos.

Al quedar vacío el lugar del Señor en el manejo de la organización universal, el siglo XVIII reconoció en la razón un instrumento efectivo en el análisis de

los elementos. El mundo físico quedó reducido a un mecanismo, como si fuera un reloj cuya manecilla trabajara en nuestro poder. Este mundo mecánico y, en palabras de Leibniz, el mejor de los mundos posibles, era un fin predeterminado de un sistema cósmico (Descartes), resultado de un acto creador único para una eternidad.

En aquel ambiente racionalista reapareció la idea del *progreso* infinito de la inteligencia humana enriquecida con los logros del evolucionismo. (Los griegos vieron al progreso como un proceso cíclico de la degradación gradual. El Medioevo abandonó lo cíclico en favor de lo lineal. Sólo desde el Renacimiento este concepto designa un proceso homogéneo de perfección gradual de la humanidad por una actividad autónoma y voluntaria.) El universo mecánico estable garantizaba un desarrollo del espíritu humano y de su industria. Condorcet, en su *Historia del progreso del espíritu humano*, expresó algunas ideas cautelosamente olvidadas por las siguientes generaciones.

Sin duda este progreso puede proceder a un ritmo más o menos rápido, pero nunca retrocederá; al menos en tanto la Tierra ocupe el mismo lugar en el sistema del universo, y en cuanto las leyes generales del sistema no produzcan sobre el globo una destrucción general o cambios que ya no permitan que la especie humana se perpetúe utilizando las mismas potencias y hallando los mismos recursos.⁸

El avance del conocimiento, el arma más eficaz del poder, facilitó al hombre la comprensión de la estructura universal: le entregó las riendas del reino natural para que su perfección (y su felicidad) no encontrara obstáculos.

“... Así pues, sea cual fuere el comienzo de este mundo, el final será paradisiaco, mucho más allá de cuanto nuestra imaginación puede pensar ahora”, expresó uno de los encantados por la idea del progreso: J. Priestley.⁹

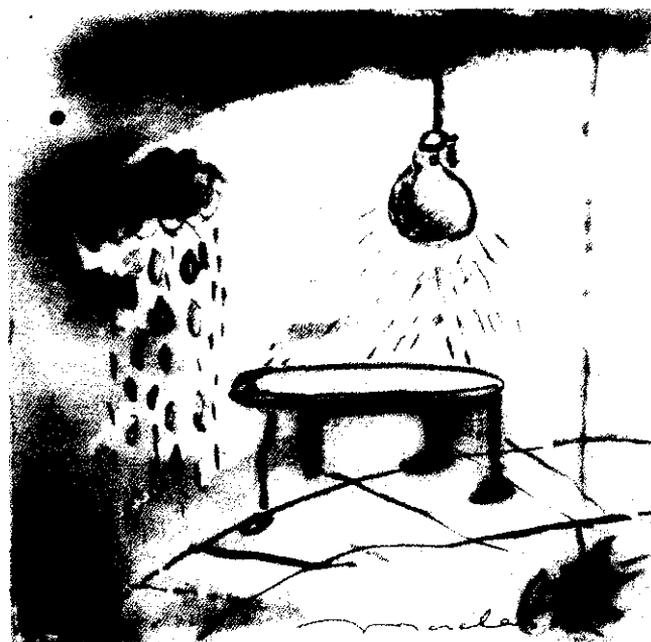
Los siguientes descubrimientos en el campo de la luz y la electricidad aparentemente dieron un testimonio más de la manera determinista y mecánica de la organización universal, a pesar de que el mismo Maxwell combatió esta creencia, común en el mundo científico de la época.

El determinismo en el campo de la física aportó las herramientas para que se llevaran a cabo toda clase de controles sobre la naturaleza (incluyendo al hombre mismo), con la ilusión de lograr igualdad y justicia por decreto.

En el siglo XIX triunfó el mito del progreso acumulativo, siempre con el argumento de alcanzar mejor organización, mayor satisfacción, felicidad y orden. En el concepto de desarrollo de la totalidad, establecido como ley y retomado por el positivismo de Augusto Comte, el liberalismo de J. S. Mill y las enseñanzas de Marx, la idea de progreso alcanzó el rango de paraíso inagotable, en virtud de las que se consideraban leyes invariables del desarrollo económico.

Esta certeza formó una de las más peligrosas fuentes de error en la relación hombre-naturaleza y hombre-hombre en el aura de la pretensión de un conocimiento superior.

La separación epistemológica entre sujeto y objeto, consecuencia de la dualidad cartesiana del espíritu y la materia —que nos ha llevado a una definición de las relaciones con el mundo natural en categorías hegelianas amo-esclavo— ha contribuido al desorden ambiental de nuestros días.



Separando al hombre de la naturaleza y haciendo de él un observador desinteresado y no partícipe, los racionalistas clásicos esperaban descubrir una realidad libre de las creaciones subjetivas de la mente humana.

*He aquí —escribió Pascal— una parte de las causas que hacen al hombre inepto para conocer a la naturaleza. Ella es infinita de dos maneras, él es finito y limitado; ella es dura y se mantiene perfectamente en su ser, él pasa y es mortal; las cosas en particular se corrompen y cambian a cada instante, y él no las ve sino de paso; ellas tienen principio y fin, él no conoce ni lo uno ni lo otro; ellas son simples, él compuesto de dos naturalezas distintas...*¹⁰

Sin embargo, el ser humano, empeñado en erigir un mundo ideal, un paraíso terrestre con ayuda de las leyes de una máquina gigante, universal, “volvió a ser un falseador de la naturaleza y la causa principal de su desorden”.¹¹

Cuando a finales del siglo XIX Bolyai, Gauss y Lobachevski crearon la geometría no euclidiana, la cosmovisión mecánica de un espacio, un tiempo y un determinismo absolutos empezó a derrumbarse. La posterior revolución cuántica, al revelar la unión entre el sujeto y el objeto, dio lugar a un cambio epistemológico significativo. Redefinió el lugar del hombre. Lo sometió a los más sublimes cambios en los ciclos biológicos. Y el hombre volvió a su globalidad como ser físico y mental, parte de un mundo natural. Así fue restableciéndose el proceso recíproco del humano con la naturaleza.

Hacia una incertidumbre

*¡No quiero la armonía, por amor a la humanidad!
Demasiado caro han valuado a la armonía; no es, en verdad, para nuestros bolsillos pagar tanto de entrada.
...El hombre siente tal pasión por los sistemas, por las deducciones abstractas, que está dispuesto a cerrar los ojos y a taparse los oídos ante la verdad, sólo por justificar su lógica.*

F. DOSTOIEVSKY

En el mundo de los átomos, escribió uno de los más eminentes físicos contemporáneos, Premio Nobel R. Feynman, las leyes de Newton son falsas. No se puede prever con certeza lo que pasará en ciertas

condiciones. La naturaleza se comporta de tal manera que hace imposible cualquier previsión.¹²

El famoso principio de incertidumbre descubierto en 1927 por Heisenberg puso límites definidos a la certeza del conocimiento que podemos alcanzar del mundo físico. El funcionamiento mismo de la realidad, tan seguro por casi 300 años, empezó a tomar la apariencia de un juego de dados cósmico en que todo estaba sujeto a los caprichos de la casualidad. Ilya Prigogine introdujo ideas desconcertantes con respecto al orden, el caos, el azar y la necesidad dentro de la naturaleza dinámica del sistema. Según él, en la actualidad las leyes de la estricta causalidad, listas para ser aplicadas a casos muy idealizados, casi semejan caricaturas de la descripción del cambio. Al parecer, la “nueva” física liberó al hombre de las inquebrantables leyes universales, de la predeterminación y de la certeza de una verdad absoluta. Le devolvió el libre albedrío y el valor de la responsabilidad por sus hechos. Despertó su conciencia hacia los límites de las evidencias ordinarias y con ello alteró la visión del eterno mundo espinoziano de la suprema racionalidad. La revisión de los preceptos de lo *cierto* y lo *objetivo* ha revolucionado los conceptos de la *causalidad* y del *determinismo*, y ha descubierto una compleja realidad de las relaciones físicas.

Henri Poincaré dijo claramente

En la realidad física una causa no produce un efecto, sino que una multitud de causas concurren sin que pueda discernirse completamente el papel de cada una de ellas... causas aproximadamente idénticas producirán efectos aproximadamente idénticos en un tiempo aproximadamente igual... Si todas las partes del universo pertenecen a la misma estructura, cualquier fe-

nómeno estará determinado por un número infinito de causas y nunca por una sola... ¿Y cómo elaborar las leyes que rigen circunstancias tan complejas?¹³

La posibilidad ontológica de muchos planos de existencia, sugerida por R. Thom, cuyas relaciones sobrepasan los límites de la comprensión humana, atribuye al azar un cierto grado de la probabilidad de los acontecimientos. No cabe duda de que habítamos un sistema muy flexible, en el cual siempre puede presentarse una inestabilidad que nos llevará a un mecanismo nuevo.

Desde la perspectiva humana, esto es: con una información incompleta, "los acontecimientos de la naturaleza se asemejan más a los dados que se tiran sobre la mesa, que a las estrellas que giran; se hallan regidos por las leyes de la probabilidad, no por causalidad, y el científico se acerca más al jugador que al profeta".¹⁴

Por otra parte, quizá exista un mundo más sublime, el mundo de los juegos y las leyes, del tiempo y de la eternidad. Hasta el momento no hemos sido capaces ni de descubrirlo ni de predecir hacia dónde vamos. Lo único cierto es que hemos generado un nuevo diálogo entre el hombre y la naturaleza. (Frecuentemente, el factor aleatorio en fenómenos que nos rodean se debe a la falta de una información precisa. Si bien es cierto que en un volado se podría predecir con certeza el resultado: águila o sol, luego de una medición de condiciones iniciales, también es cierto que esta medición tendría que ser prácticamente perfecta. Un ejemplo riguroso, tal vez más sencillo, en donde se aclara con precisión que ampliando el universo todo lo aparentemente aleatorio, funcionará según leyes determinísticas, es el siguiente: si tenemos un número infinito de partícu-

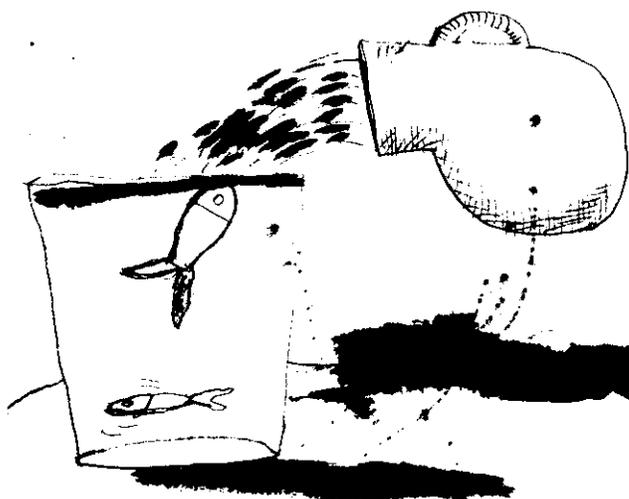
las, en cada entero par en una recta colocamos una partícula de masa unitaria y velocidad inicial $+ -1$. Todo el movimiento es sobre la recta. Una partícula se mueve libremente hasta chocar con lo que se encuentre, y en ese punto intercambian las velocidades respectivas. Aquí, fuera de las condiciones iniciales aleatorias, el movimiento de cada partícula es determinístico. Pero este modelo es 100% equivalente al modelo en donde el factor aleatorio entra constantemente. En cada momento $t= 1,2,3$ etc., se arroja una moneda simétrica y si cae águila la partícula se mueve de una unidad a la derecha y si sol, a la izquierda. Ahora, si alguien está observando una sola partícula, no podrá distinguir si el movimiento se debe al primero o al segundo modelo.

Así como nos enseñó Heisenberg que siempre habrá una incertidumbre irreductible en la determinación del momento y de la posición de cada partícula subatómica, así cada decisión, cada paso en las complejas relaciones con el mundo natural contendrá la incertidumbre de las consecuencias.

Siempre vale la pena recordar que los conceptos estadísticos presuponen la existencia de grandes números de las entidades idénticas. Pero en el contexto cosmológico, ¿existirá un super-cosmos en el que el conjunto de los universos tenga sentido?

Aceptar el indeterminismo como la realidad misma de la naturaleza, advierte E. Césarman, es aceptar la continuidad del caos, la inutilidad de pensar en el futuro y la anulación del individuo.¹⁵

En 1877, Ludwig Boltzmann introdujo el cálculo probabilístico dentro de la segunda ley de la termodinámica. En su famoso teorema H demostró que existía una magnitud: la entropía, que siempre crecía con el tiempo. El concepto de entropía o medida de la indeterminación originó dos paradojas



dentro de la mecánica clásica: contradujo la reversibilidad de las leyes newtonianas y el llamado “ciclo de Poncaré” o, en pocas palabras, la tendencia de un sistema físico de regresar a su estado inicial.

Ahora bien, la entropía es un proceso irreversible de la disipación de la energía mecánica de acuerdo con la segunda ley de la termodinámica. En resumidas cuentas significa la transformación de la energía organizada en calor. En cada sistema físico donde se halla un número grande de moléculas, con el tiempo el caos crecerá hasta alcanzar el estado de entropía máxima o de muerte calórica. La energía y la organización de cada sistema biológico es pagada, como lo apuntó M. Cereijido, con el consumo de energía libre y la desorganización de su medio. La vida no viola, pues, ningún principio de la termodinámica.¹⁶

La ley de la entropía no es un invento de los físicos para asesinar las verdades de la época moderna y

quitarle seguridad al hombre. Sin embargo, el universo es un lugar todavía ordenado y a pesar de que su destino final será el caos, sus defensas ofrecen, como nos aseguran algunos científicos,¹⁷ la garantía de mucho tiempo por delante. En nuestro sistema el flujo de la energía solar nutre a la Tierra, la calienta e incita el almacenamiento de energéticos en forma de combustible fósil.

No obstante, la escala de la vida humana impone otras perspectivas y otras expectativas. Los recursos energéticos que tenemos a nuestra disposición son limitados. Cada proceso físico, natural o tecnológico disminuye la energía disponible y aumenta con ello el caos.

Se sabe que el caos-entropía generado por el desarrollo, progreso o crecimiento humano altera los ciclos biológicos del ecosistema. Sin embargo, no podemos prever las consecuencias inesperadas de alguna causa remota cuyo efecto recorra una larga distancia temporal.

Conocemos miles de factores que dañan a la Tierra. Algunos de ellos podemos determinarlos de manera muy detallada, otros no. No obstante la incertidumbre ante sucesos ocasionados por “la mala suerte” o de origen desconocido pero atribuibles a la acción humana, al parecer el pensamiento científico no abandonará los cálculos y modelos que ha construido en torno a la naturaleza y su curso. La incertidumbre demográfica, ambiental, genética o simplemente de un desastre natural puede fácilmente dar lugar tanto a la extinción de algunas especies, como a dañar incluso la vida humana. Por lo tanto, el reconocimiento del componente probabilístico en las relaciones hombre-naturaleza tiene profundas implicaciones para el futuro del hombre.

Valdrá la pena ir más allá de la acción reflexiva sobre las condiciones existenciales del hombre en el universo, con el fin de evitar que se siga explotando el medio ambiente a espaldas de las generaciones venideras. La responsabilidad actual permitirá enfrentar los retos y las improvisaciones del porvenir.

*¿Es verdad que se vive
sobre la tierra?
No para siempre en la tierra:
sólo un poco aquí.*

NEZAHUALCÓYOTL

Notas

- 1 Diego Bricio Hernández, "Ciencia y matemáticas: los modelos de predicción", *Ciencia*, núm. 31, 1980, págs. 103-121.
- 2 Blas Pascal, *Pensamientos y otros escritos*, Porrúa, México, 1989, pág. 268.
- 3 Stephen F. Mason, *Historia de las ciencias*, vol. 2, Alianza, México, 1988, pág. 60.
- 4 *Ibidem*, pág. 65.
- 5 Gerald Holton, *Thematic Origins of Scientific Thought*, Harvard University Press, 1973, pág. 35.
- 6 I. Newton, cit. en *Historia de las ciencias*, vol. 2, pág. 108.
- 7 R. Mach, *Física para poetas*, Siglo XXI, México, 1977, pág. 273.
- 8 M. J. A. Condercet, cit. en *Historia de las ciencias*, vol. 3, *op. cit.*, pág. 84.
- 9 J. Priestley, cit. en *Historia de las ciencias*, vol. 3, pág. 87.
- 10 B. Pascal, *Pensamientos*, *op. cit.*, pág. 277.
- 11 cit. en J. Dorst, *Zanim zqinie przyroda*, WP, Warszawa, 1971, pág. 107.
- 12 R. Feynman, *Wyklady z Fizyki (The Feynman Lectures on Physics)*, PWN, Warszawa, 1971, vol. 1, págs. 40-41.
- 13 cit. en Eduardo Césarman, *Orden y caos, el complejo orden de la naturaleza*, Gernica, México, 1986, pág. 65.
- 14 H. Reichenbach, *La filosofía científica*, FCE, México, 1953, pág. 257.
- 15 E. Césarman, *op. cit.* pág., 124.
- 16 Véase M. Cerejido, *Orden, equilibrio, desequilibrio*, Nueva Imagen, México, 1978, pág. 59.
- 17 B. K. Ridley, *Time, Space and Things*, Cambridge University Press, 1984, págs. 170-171.
- 18 E. Césarman, *op. cit.*, pág. 496.