

Disertación del Académico Correspondiente Ing. Químico

Jean Ph. Culot

Dialogando con la naturaleza o la metamorfosis de la ciencia

Señoras y Señores:

Seáme permitido antes de entrar en materia agradecer, conmovido, las más que amables palabras pronunciadas por el Presidente Dr. Ras y por mi padrino académico el Dr. Scoppa. Ellas mueven mi agradecimiento por los inmerecidos conceptos y por la distinción recibida.

1. Introducción

Karl Popper, en el prólogo de la edición inglesa de su libro "La lógica de la investigación científica", observa que existe al menos un tema filosófico por el cual se interesan todos los hombres que reflexionan: el de la **cosmología**, el problema de entender el mundo, incluidos nosotros y nuestro conocimiento como parte de él. Propone que el mejor modo de estudiar el aumento del conocimiento es estudiar el progreso del conocimiento científico.

La **ciencia** "conjunto de conocimientos fundados en el estudio" según el diccionario, es parte del complejo cultural a partir del cual los hombres de cada generación tratan de encontrar una forma de coherencia intelectual. Puede ser descrita como la tentativa de **dialogar con la naturaleza**, intercambiar con ella preguntas y respuestas, un diálogo cuyas peripecias han sido imprevisibles según el propio Prigogine (1980), que ha acuñado la expresión.

Podemos pensar que el hombre siempre trató, desde su origen, de **descifrar** los secretos de los eventos que caracterizan el curso de la naturaleza, sus ciclos y sus procesos singulares.

El proyecto de cada uno de los primeros filósofos de Grecia, desde Tales de la Colonia de Mileto hasta Demócrito, tenía como común denominador el interés por la naturaleza. Antes que nada ellos intentaron enten-

der sus procesos estudiándola. Conocidos como filósofos de la Naturaleza, dieron los primeros pasos hacia una manera científica de pensar, desencadenando todas las ciencias naturales posteriores.

Pero Koyré afirma que es el **diálogo experimental** el que constituye la originalidad de la ciencia moderna y caracteriza al hombre moderno, diferenciándolo de los filósofos griegos, de los magos y de los hechiceros.

En este diálogo experimental la relación hombre-naturaleza pasa por dos ejes: comprender y modificar. Es decir, el hombre no se limita meramente a observar, cualquiera sea su precisión, sujetos o eventos y establecer conexiones empíricas entre fenómenos.

Por el contrario, la experimentación *"...exige una interacción entre teoría y manipulación práctica que implica una verdadera estrategia. Un proceso natural se encuentra amaestrado como llave posible de una hipótesis teórica. Y es como tal que se lo prepara y purifica antes de ser interrogado en el lenguaje de esta teoría. Es un emprendimiento sistemático que en el fondo consiste en provocar a la naturaleza, y obligarla a responder de forma inambigua si obedece o no a una teoría"*.

(Prigogine et Stengers, 1986).

Popper reconoce que, en última instancia, la ciencia moderna debe su existencia a su éxito. La investigación científica puede practicarse porque descubre puntos de coincidencia entre hipótesis teóricas y respuestas

experimentales. En ese sentido se puede hablar de **revolución científica**.

La ciencia moderna, así definida, apenas tiene trescientos años de existencia, desde los descubrimientos de **Newton** y en este lapso ha conocido progresos espectaculares.

Lo que hoy quisiera comentar no son esos logros, sino el cambio que ha ocurrido en las últimas décadas en nuestros conceptos sobre la naturaleza, la situación del hombre en el mundo que describe y la apertura de ese mundo.

2. La ciencia clásica

Como lo adelanté, la singularidad de la ciencia moderna es el encuentro entre la técnica y la teoría.

Lo que luego se llamara ciencia clásica nace de la dinámica, la formulación de las *leyes newtonianas* del movimiento y de las trayectorias, resultado de la conjunción del desarrollo de la física y de las matemáticas. La física para la descripción del movimiento y la caída de los cuerpos, con las observaciones de Kepler y los experimentos de Galileo. Las matemáticas, para el cálculo infinitesimal, descubiertas por el propio Newton, que permite describir velocidad y aceleración instantáneas e integrarlas para un intervalo de tiempo finito.

La equivalencia entre fuerza y aceleración es la versión matemática de la estructura casual del mundo de la dinámica.

Toda descripción dinámica implica dos tipos de datos empíricos: la descripción de la **posición y velocidad** de cada uno de los puntos del sistema en un instante determinado, llamado instante inicial, y la naturaleza de las **fuerzas dinámicas** que generan las aceleraciones.

El éxito de la *ciencia newtoniana* es el descubrimiento de la **fuerza de gravitación**, que determina el movimiento de los planetas y que es directamente proporcional al producto de la masa de los cuerpos e inversamente proporcional al cuadro de su distancia.

La dinámica newtoniana es **doblemente universal**. Se aplica al movimiento de átomos, planetas, estrellas y galaxias. Pero si definimos un sistema dinámico por el hecho de que el movimiento de cada uno de sus puntos es determinado en cada instante por la posición y velocidad del conjunto de los puntos materiales que lo constituye, debemos concluir que el único sistema dinámico es el Universo.

El conjunto de ideas resultantes describe un **mundo idealizado**, estable, en el cual cada evento está determinado por sus condiciones iniciales que, al menos en principio, pueden ser determinadas con precisión; un mundo de certidumbres, con negación del tiempo y de la creatividad.

Cien años después de Newton, Laplace, paladín del determinismo triunfante, proclamaba que con suficientes observaciones no solo se puede predecir el futuro sino también reconstruir el pasado, en razón del carácter de reversibilidad de la trayectoria dinámica.

Pero el éxito de la ciencia clásica también encierra una paradoja, porque los interrogantes que tuvieron una respuesta exitosa, unifican una naturaleza muerta y pasiva, una naturaleza automatizada, cuyo comportamiento es predecible a partir de las leyes de la mecánica racional y en parte es cierto; un gran número de fenómenos obedecen a leyes simples y racionalizables.

Por ello la ciencia moderna comenzó negando las visiones antiguas y la legitimidad de las cuestiones que el

hombre pregunta respecto de su trato con la naturaleza. Incluso se construyó en contra de la naturaleza, negándole su complejidad y su destino, en nombre de estas leyes.

La aceptación del punto de vista *mecanicista* de la ciencia tuvo sus consecuencias en los otros campos de la actividad humana. El desarrollo de la civilización industrial en el siglo XIX, con sus espectaculares éxitos ingenieriles, con el adelanto del ferrocarril, con las nuevas industrias textiles, químicas y siderúrgicas, parecía confirmar la imagen de un universo de mecano. Las demás leyes fundamentales de la física que fueran descubiertas más tarde (la mecánica cuántica, las funciones de onda y la relatividad) complementaron y rectificaron las leyes newtonianas. Sin embargo, ninguna invalidó el carácter determinístico y de tiempo reversible en el cual la ciencia estaba atrapada.

3. La metamorfosis de la ciencia

Hoy la ciencia ya no es la *ciencia clásica*. Los conceptos fundamentales que la regían han sido acotados por un progreso teórico que Prigogine y Stengers no dudan en llamar **metamorfosis**, fundamentado en gran medida por la labor científica de Prigogine, distinguido con el Premio Nobel de Química (1977).

Los conceptos de la ciencia clásica fueron discutidos desde el principio. Estos suponían que el mundo puede ser descrito como si fuera un reloj, que los planetas orbitan atemporalmente, que todos los sistemas operan determinísticamente en equilibrio, sujetos a leyes universales que un observador externo puede descubrir.

El mundo atemporal precisado chocaba con la realidad percibida por el hombre. Diderot ya preguntaba "*¿qué*

somos, seres sensibles y organizados en el mundo inerte y sumido a la dinámica?".

En nombre de la termodinámica, la imagen mecanicista del Universo fue cuestionada a principios del siglo XIX. La *termodinámica de equilibrio* constituye una primera comprobación de la física al problema de la complejidad de la naturaleza. Establece que la energía se disipa y el sistema pierde la memoria de su condición inicial, evolucionando hacia el desorden. Impuso a las demás ciencias su punto de vista sobre el tiempo, que, por el crecimiento de la entropía, para ella era degradación y muerte.

Esta metamorfosis puede describirse más precisamente por cinco circunstancias:

En primer lugar el abandono de la ambición reduccionista de limitar el conjunto de los procesos naturales a un pequeño número de leyes. Las ciencias de la naturaleza hoy describen un universo fragmentado, rico en diversidad cualitativa y sorpresas potenciales. Nuestro diálogo racional con la naturaleza es una exploración, siempre local y electiva, de una naturaleza compleja y multifacética. (Prigogine et Stengers, op. cit.).

En segundo lugar el **interés** prestado a los aspectos de la realidad que caracterizan a los cambios sociales acelerados en las sociedades humanas: desorden, inestabilidad, diversidad, desequilibrio y relaciones no lineales en donde hechos puntuales pueden desencadenar consecuencias trágicas.

En tercer lugar el rechazo de la convicción anterior de que el mundo microscópico es simple y el descubrimiento que la **irreversibilidad** juega en la naturaleza un papel constructivo, pues permite los procesos de organización espontánea.

En cuarto lugar la intervención de la flecha del tiempo en la física, cuya dirección sólo puede determinarse por reglas estadísticas, pero *"cuyo significado en cuanto al hecho rector que otorga sentido al mundo sólo puede ser deducido de supuestos teológicos"* (Eddington, 1929).

En quinto y último lugar el reencuentro de la naturaleza con el tiempo, porque la naturaleza, a la cual la ciencia se dirige hoy, no es más aquella que un tiempo invariable y repetitivo permite descubrir. Hoy exploramos una naturaleza con evoluciones y articulados.

Estudiamos lo que se transforma: los fenómenos climáticos y geológicos, la evolución de las especies, la génesis y las mutaciones de las normas que rigen los compartimientos sociales. En ellos, pasado y futuro desempeñan papeles diferentes.

4. La teoría del cambio

Las ideas de la escuela de Bruselas, liderada por Prigogine, presentan una teoría nueva y completa del cambio.

Mientras ciertas partes del Universo pueden operar como máquinas, estos sistemas cerrados sólo son una pequeña parte del Universo físico. La mayoría de los fenómenos de interés son sistemas abiertos que intercambian energía, materia e información con su entorno. Esto caracteriza a los sistemas biológicos y sociales y es por ello que la realidad está sacudida por cambios, desórdenes y procesos.

Para Prigogine, todos los sistemas contienen subsistemas que fluctúan continuamente alrededor de un *atractor*, un estado que resulta ser un potente destino o imán para acotar estas fluctuaciones.

Pero a veces una fluctuación o una

combinación de ellas puede ser tan potente como resultado de procesos de retroalimentación positivos o de resonancia, que se hacen añicos de la organización preexistente. Este momento singular o singularidad es un punto de bifurcación y es imposible prever qué dirección va a tomar el cambio. El sistema puede desintegrarse en el caos o saltar a una organización más diferenciada, de mayor grado de orden, llamada estructura disipativa, porque necesita más energía para sostenerse.

De hecho, orden y organización pueden formarse espontáneamente del desorden del caos por un proceso de autoorganización y esto podría haber sido el origen de la vida de nuestro planeta.

Cerca del equilibrio, el sistema se mantiene como tal, pero una pequeña perturbación es suficiente para gatillar condiciones de cambios no lineales muy lejos del equilibrio que obligan al sistema a reorganizarse hasta la próxima bifurcación o perecer.

La amplificación de los fenómenos, en condiciones alejadas del equilibrio, los cambios no lineales, los procesos de retroalimentación positivos o negativos y los procesos catalíticos cruzados concurrentes, son la base de la vida misma y ayudan a explicar cómo a partir de pequeños segmentos de ADN se forman organismos vivos complejos. Darwin y sus seguidores encontrarían aquí el mecanismo íntimo subyacente en la teoría de la evolución.

Los mismos conceptos ayudan a explicar también los cambios sociales y económicos en las sociedades humanas.

5. El fin de las certidumbres

Prigogine, bajo el mismo título en

un libro reciente y provocativo, vuelve a explayarse sobre lo que considera una nueva forma de racionalidad en la ciencia.

Para él, las leyes de la ciencia deben expresar posibilidades en vez de certezas, fluctuaciones en lugar de equilibrio, porque el Cosmos se manifiesta inestable en todas partes. En otras palabras, deben ser probabilísticas, con la irreversibilidad como principio no sólo por ser origen cosmológico y estar asociada al nacimiento mismo del universo, sino también para describir propiedades fundamentales de la naturaleza y entender la formación de estructuras disipativas de no equilibrio.

Pero las estructuras disipativas exigen la introducción de una flecha de tiempo.

¿Cuál es el papel del tiempo? ¿Cuáles son sus raíces?, se pregunta Prigogine. Sus investigaciones recientes redescubren una temporalidad que ya no separa al hombre de la Naturaleza.

Escribe:

"El tiempo tiene un papel constructivo y el futuro no está dado". Es así como el problema del tiempo es un problema de posibilidades. Si el porvenir no está escrito, aparecen ante nosotros diversos caminos posibles. La tarea de la ciencia es calcular la probabilidad de una evolución u otra, algo que nos exige un nuevo enfoque de la racionalidad, volver a pensar lo incierto: "El tiempo y la realidad están irreductiblemente vinculados y negar el tiempo es negar la realidad".

Prigogine cita en su libro que en las postrimerías de su vida Einstein rechazó las conclusiones del matemático Gödel, que creía probar la equivalencia entre pasado y futuro, imaginando la posibilidad de un viaje al pasado. Einstein, como físico, no podía aceptar

esa idea que equivalía a la negación de la realidad del mundo, sin embargo consecuencia lógica de sus teorías.

Así mismo, Prigogine comprueba también la ambivalencia de Jorge Luis Borges en su ensayo "Una nueva refutación del tiempo", en donde, luego de exponer las doctrinas que transforman el tiempo en una ilusión, concluye: "and yet, and yet... el mundo desgraciadamente es real, yo, desgraciadamente, soy Borges".

Prigogine termina su libro señalando que a igual título que el determinismo, el puro azar es una negación de la realidad y de nuestra exigencia de entender el mundo. Autocalifica como vía estrecha la que el sigue, tratando de construir una descripción mediatriz entre estas dos concepciones que tomadas por separado conducen a la alineación. La de un mundo dirigido, donde ya nada nuevo se puede descubrir y la de un mundo absurdo, acausal, donde nada puede ser previsto ni descripto.

En uno de sus escritos, alguna vez, opina que la naturaleza, que él identifica con el conocimiento científico, es como una novela, cuenta una historia, la interrumpe por partes, y luego la retoma y agrega: "no somos los padres del tiempo sino sus hijos".

Como conclusión, me parece atinado citar a Alvin Toffler, que en el prólogo del libro de Prigogine y Stengers "Order out of chaos", escribe:

"La ciencia no es una variable independiente. Es un sistema abierto inmerso en la sociedad y vinculado con ella por círculos muy densos de retroalimentación. Está fuertemente influenciada por su entorno externo y, en forma general, su desarrollo está moldeado por la receptividad cultural de sus ideas dominantes".

Terminaré con una última cita de Prigogine, el optimista:

" Vivimos una época de transición. Todos estamos sorprendidos por el mundo que vemos y nos preguntamos

una y otra vez qué es esta burbuja en la cual nos encontramos. Tal sorpresa debería conducirnos a una actitud de respeto y de tolerancia hacia los otros".

Muchas gracias a todos por la amable atención.

Bibliografía

BACHELARD, G. 1973. Epistemología. Ed. Anagrama, Barcelona.

DE GENNES, P.G. 1989. L'ordre du chaos. Ed. Pour la science. París.

EDDINGTON, Sir Arthur. 1929. The nature of the physical world. Citado por Massuh (1990).

GOULD, S.J. 1991. Wonderful life. The burgess shale and the nature of history. Ed Penguin Books, England.

HAWKING, S.W. 1988. Historia del tiempo. Editorial Crítica. Buenos Aires.

MASSUH, Víctor. 1990. La flecha del tiempo. Editorial Sudamericana. Buenos Aires.

MONTANELLI, I. 1959. Historia de los griegos. Ed. Rizzoi, Milano.

POPPER. 1957. La sociedad abierta y sus enemigos. Ed. Paidós, Buenos Aires (1994).

POPPER, K.R. 1958. La lógica de la investigación científica, 2a. edición. Ed. Tecnos, Buenos Aires (1985).

PRIGOGINE, Ilya. 1980. From Being to Becoming. W.H. Freeman and Cy. New York.

PRIGOGINE, Ilya. 1996. El fin de las certidumbres. Ed. Andrés Bello. Santiago de Chile.

PRIGOGINE, Ilya et STENGERS, Isabelle. 1984. Order out of chaos. Bantam books, New York, USA.

PRIGOGINE, Ilya et STENGERS, Isabelle. 1986. La nouvelle alliance. 2nd. edition. Gallimard, París.

REEVES, H. et al. 1993. La sincronicidad. Ed. Gadisa, Barcelona.

STENGERS, I. et SCHLANGER, J. 1991. Les concepts scientifiques. Gallimard, París.

WOODCOCK, A. y DAVIS, M. 1986. Teoría de las catástrofes. Ed. Cátedra, Madrid.