
EL EMERGER PUNTUAL
DE LA INDETERMINACIÓN
EN EL SENO DE LA TRIADA
DETERMINISTA (ESTRUCTURA,
HISTORIA Y ENTROPÍA)

HERNÁN ANDRÉS BURBANO ROA

ABSTRACT. This paper, based on a historical review of the conceptual developments of physics, analyzes the ideas concerning determinism and indeterminism, and their implications on scientific thought. First, it looks into the classic conception of Laplace, then develops Popper and Wagensberg's viewpoints on both antagonistic concepts. Taking into account some thermodynamics clues, a new way of interpreting the dichotomy determinism-indeterminism is proposed. This new submission integrates a deterministic triad operating as a whole allowing within indeterminism punctual emergency. The proposal suggests that the two complementary concepts (complementarity in the common sense and in the sense given by Bohr) interact making possible the evolution of systems far from equilibrium

KEY WORDS. Determinism, indeterminism, evolution structure, entropy, deterministic triad, complementarity, structural determinism, historical determinism.

I. EL SER HUMANO Y EL NACIMIENTO DE LA CIENCIA

El cielo, pasando de la aguamarina al negro oscuro, se alza sobre las aguas del Ródano; las estrellas, en plastas de grasosa pintura verde, se pelean por conseguir lugar en el lienzo. En Arles, en un no muy lejano septiembre de 1888, Vincent Van Gogh contempla absorto la magnificencia de un cielo estrellado, que decide inmortalizar en su "Noche estrellada sobre el Ródano". El mismo Vincent expresa su deleite y dice: "me fascina enormemente el problema de pintar escenas o efectos nocturnos al aire libre, directamente, durante toda la noche" (Van Gogh, 1995).

Una fascinación no sólo propia del pintor, sino una característica inherente del ser humano, desde que por senderos evolutivos el simio pasó a convertirse en *Hombre Sabio*. Los primeros hombres, al igual que Van Gogh, admiraron también el firmamento con respeto y miedo. El humano se asombra ante los fenómenos de la naturaleza, y de su asombro y curiosidad natural surge el acto de utilizar un ¿por qué?, de interrogar

Departamento de Ciencias, Gimnasio La Montaña, Bogotá D. C., Colombia. /
ilcelivago@yahoo.co.uk

la realidad circundante. En palabras de Jorge Wagensberg (1988) “El progreso de la elaboración de imágenes por parte de una conciencia, el progreso del conocimiento, se mide mucho mejor por la historia de las preguntas que por la de las respuestas... porque responder es un proceso de adaptación y preguntar un acto de rebelión”.

Ese hombre antiguo, rebelde congénito, también siente miedo por lo desconocido, por lo que no puede explicar. De esta forma, su preguntar, además de darle gusto a su asombro, intenta buscar certidumbres que le den tranquilidad en medio de una naturaleza cercana pero incierta, característica que constituirá del al origen mismo del sistema nervioso como centro predictivo (Llinas, 2001). Y así, de la misma naturaleza del ser humano surge la que muchos siglos después será llamada ‘ciencia’, la cual contribuirá a que el individuo se constituya “en una parte del mundo que tiende a independizarse de la incertidumbre del entorno” (Wagensberg, 1999).

Es por demás interesante pensar que las mismas estrellas que fascinaron a Van Gogh y a los primeros humanos fueran de cierta forma la inspiración de Galileo Galilei, a quien se puede considerar el padre de la ciencia moderna. Tanto el pintor impresionista, como el hombre de las cavernas y el gran genio de Pisa, coinciden en su objeto de atención, manifestando su capacidad de asombro y curiosidad, dándole a la noche estrellada interpretaciones de tipo estético, mítico y científico, respectivamente.

Cabe destacar que esos fenómenos en el firmamento objeto de observación se caracterizan en su mayoría por ser fenómenos de tipo periódico o regular, que en épocas antiguas se relacionaron con la agricultura, y que repercutieron en la interpretación que los científicos, anteriores al siglo XX tuvieron de los fenómenos naturales.

Antes de 1500, las autoridades que regían las leyes de funcionamiento del mundo occidental eran la iglesia Católica y la filosofía aristotélica, hábilmente fusionadas por Tomás de Aquino, que hicieron de la forma de interpretar el mundo una mezcla de razón y fe.

Esto fue así hasta la aparición en escena del ya mencionado Galileo Galilei. Aquí hay que considerar, sin desconocer la importancia de la hipótesis heliocéntrica sostenida por Copérnico y de la formulación de las leyes sobre el movimiento planetario por Kepler, que el padre de la ciencia es Galileo. Y lo es, debido a que Galileo fue el primero en combinar la experimentación científica con el lenguaje matemático en la formulación de leyes. Con esta aproximación, Galileo estudió desde la caída libre hasta la astronomía, haciendo que la hipótesis copernicana se convirtiera en teoría científica.

La naciente ciencia moderna recibió influencia también de dos grandes filósofos, el segundo también un gran matemático, Francis Bacon y René

Descartes. Bacon fue el introductor del procedimiento inductivo, mientras René Descartes propuso la reducción de todos los fenómenos físicos a relaciones matemáticas exactas, además de crear una nueva rama de las matemáticas conocida como geometría analítica. Este filósofo, al tener en cuenta la exactitud matemática de su propuesta, sugirió la idea de certeza en el conocimiento científico. Su método es analítico, ya que se realiza descomponiendo el objeto de estudio en sus partes, un procedimiento considerado 'reduccionista'. René Descartes imaginó el funcionamiento del mundo como una máquina perfecta gobernada por leyes matemáticas, y de ahí su analogía con un mecanismo de relojería.

El hombre que realizaría el sueño cartesiano de ese mundo-reloj nació el mismo año que la llama de Galileo se apaga, Isaac Newton. Sir Isaac realizó la formulación matemática de la visión mecanicista de la naturaleza, al recoger las ideas de Copérnico, Kepler, Bacon, Galileo y Descartes, así como crear una nueva rama de las matemáticas llamada cálculo. La formulación matemática realizada por Newton tenía un margen de aplicación que iba del movimiento de pequeños objetos al movimiento planetario.

Hay que decir que Newton era un puritano y por ello creía que las partículas, las fuerzas existentes entre ellas (la gravedad) y las leyes que gobernaban estas interacciones habían sido creadas por Dios, sembrando de esta forma una semilla determinista y poniendo a Dios en el nivel de observador externo al sistema.

En palabras de Fritjof Capra (1982) "La visión mecanicista de la naturaleza está estrictamente relacionada con un determinismo riguroso, con una inmensa maquinaria cósmica completamente causal y determinada. Todo lo que pasa tiene una causa definida y un efecto determinado...".

De esta forma, la naciente ciencia se convierte en una manera sistemática de interrogar la asombrosa realidad circundante, una ciencia que se considera matemáticamente exacta, una forma de medir e interpretar el gran mecanismo de relojería del mundo propuesto por Descartes y llevado a cabo por Newton. La visión cartesiana-newtoniana se impuso, no sólo en las ciencias físicas y matemáticas, sino que se difundió incluso a las áreas biológicas y sociales. El reduccionismo se convirtió en la forma estándar de aproximación al estudio de la naturaleza, en la que las partes analizadas prevalecen por encima del todo.

La naturaleza ya no era tan extraordinaria como le parecía al hombre prehistórico; ese mundo, antes extraño, era ahora una serie de engranajes mecánicos compuestos por un cierto número de partes. El estudio del mecanismo de relojería era exacto, daba al ser humano certezas, el futuro estaba en buena medida determinado, el mecanicismo se erigió como un "monoteísmo científico" (Wagensberg, 1988). "La euforia del poder de predicción reinaba en el interior de esta fortaleza determinista que parecía

haber pulverizado el azar a golpe de ecuación diferencial. Baste leer el epitafio de Sir Isaac Newton" (Wagensberg, 1988):

*Nature and Nature's laws lay hide in the night
God said, let Newton be! And all was light!*

(La naturaleza y sus leyes dormían en la oscuridad
y dijo Dios: ¡hágase Newton! y se hizo la claridad!) (Wagensberg, 1988.)

La concepción perfecta de la naturaleza planteada por Descartes, como un mecanismo de relojería, también sedujo a pensadores anteriores en los que surge de manera independiente, quizás una idea presente en el ser humano desde las primeras observaciones de los ya mencionados fenómenos astronómicos. Se sabe que en la entrada de la academia de Platón en Atenas se encontraba un letrero que advertía: "No se permite la entrada de alguien que no sepa geometría" (Capra, 1996). El gran Johannes Kepler sostuvo que "La geometría existía antes de la creación. Es coeterna con la mente de Dios... La geometría ofreció a Dios su modelo para la creación... La geometría es Dios mismo" (Sagan, 1988). Galileo también se dejó fascinar por la precisión matemática diciendo: "La filosofía está escrita en el gran libro que reposa ante nuestros ojos; pero nosotros no la podemos entender si primero no aprendemos el lenguaje y los caracteres en que está escrita. Este lenguaje es la matemática, y los caracteres son triángulos, círculos y otras figuras geométricas" (Capra, 1982).

Este rápido recorrido histórico muestra cómo la mezcla de experimentación científica y lenguaje matemático ha sido desde el nacimiento de la ciencia moderna particularmente exitosa. De acuerdo con Wagensberg (1988):

En más de tres siglos de ciencia todo ha cambiado, excepto tal vez una cosa: el amor por lo simple. Desde que Galileo, Descartes y Newton inventaran la física, simples han sido los objetos descritos por la ciencia, muy simples las leyes para describir y simplísimas sus expresiones matemáticas. De tal simplicidad ¹ se deduce buena parte de su prestigio: rigor, universalidad, incluso belleza.

II. LA FÍSICA DEL SIGLO XX

¿UN RETORNO A LA INCERTIDUMBRE DEL PRIMER HOMBRE?

La física del siglo XX se vio marcada por dos grandes desarrollos conceptuales: la teoría de la relatividad y la mecánica cuántica. Estos desenvolvimientos cambiaron radicalmente la forma que los científicos tenían de interpretar el mundo, e hicieron reevaluar la concepción cartesiana-newtoniana, el programa reduccionista y la certeza absoluta en la predicción científica.

La teoría de la relatividad fue concebida por un solo hombre, Albert Einstein, en 1905. La mecánica cuántica fue desarrollada en las tres prime-

ras décadas del siglo XX por un grupo de científicos de varias nacionalidades, entre ellos se incluyen: Max Planck, Albert Einstein, Niels Bohr, Louis De Broglie, Erwin Schrödinger, Wolfgang Pauli, Werner Heisenberg y Paul Dirac.

La mecánica cuántica introduce dos aspectos que van a modificar definitivamente la concepción que los científicos tenían de la naturaleza. El primero es la inclusión de la probabilidad, el segundo sugiere que “no es posible pensar en un fenómeno cuántico como existente en un estado objetivo que sea independiente del observador” (Landsberg, 1996). Respecto al primero, la probabilidad ya había incursionado en la física con la mecánica estadística, recusando la certidumbre en favor de la información estadística. Sin embargo, a pesar de la introducción de la probabilidad con la mecánica estadística, su significación filosófica fue limitada, y su influencia sólo se reafirmaría con la mecánica cuántica.

Fueron nuevos fenómenos, como la radioactividad y los rayos X, los que permitieron estudiar el átomo. Los científicos preguntaban a la naturaleza y ésta respondía con complejas paradojas; el mismo Heisenberg confiesa: “¿puede la naturaleza ser tan absurda como parecen mostrar los experimentos atómicos?” (Capra, 1982).

La dualidad de la luz y la materia como onda y partícula fue quizás la principal paradoja. En ella se puede ver el papel desempeñado, tanto por la probabilidad, como por el mencionado segundo aspecto, donde se incluye la presencia de un observador en la descripción del fenómeno en observación, circunstancia que no estaba contemplada en la mecánica clásica, donde Dios, como observador externo, no estaba incluido en la descripción.

En cuanto a la probabilidad, se entendió entonces que la materia no existía con certeza en sitios definidos, sino que tenía *tendencia* a existir; que los eventos atómicos no ocurren con certeza en tiempo y maneras definidas, sino que muestran *tendencia* a ocurrir, y que éstas se expresan por medio de probabilidades. La materia sólida de la física clásica fue remplazada por patrones de probabilidad similares a ondas. El programa reduccionista se difuminaba en probabilidades, no había partículas elementales últimas, por el contrario, a ese nivel primaban las interacciones, muchas veces de tipo no local. De nuevo en palabras de Heisenberg: “el mundo aparece entonces como un complicado tejido de eventos, en el cual las conexiones de distinta clase alternan, se sobreponen o cambian determinando de esta forma la textura del todo” (Capra, 1982). La importancia de las interconexiones también se puede ver en el pensamiento de Bohr: “las partículas aisladas son abstracciones, sus propiedades sólo son definibles y observables a través de sus interacciones con otros sistemas” (Capra, 1982). Ahora sí, la probabilidad permeaba filosóficamente de forma definitiva el estudio de la física.

El observador se convirtió en actor dentro de la descripción de la realidad. “Las propiedades mostradas —similares a partícula o similares a onda— dependían de la situación experimental, del aparato forzado a interactuar con ellas” (Capra, 1982). Entonces, como ya se dijo, el fenómeno cuántico no existe de forma objetiva, independiente, a un observador.

El cambio es fuente de inspiración, y así lo fue para las mentes de Heisenberg y Bohr, que crearon dos grandes principios, que no sólo han quedado circunscritos a la mecánica cuántica, sino que han trascendido. Heisenberg desarrolló el principio de incertidumbre que

consiste en un conjunto de relaciones matemáticas que determinan el grado en que ciertos conceptos clásicos pueden ser aplicados a fenómenos atómicos. Cuando se usan términos clásicos para definir fenómenos atómicos se encuentra que hay pares de conceptos, o aspectos, los cuales se interrelacionan y no pueden ser definidos simultáneamente de una forma precisa. Entre más se enfatiza en un aspecto de la descripción, el otro se vuelve más incierto. La relación precisa entre los dos conceptos está dada por el principio de incertidumbre (Capra, 1982).

De forma más sencilla “ciertos pares de variables no pueden medirse simultáneamente con absoluta precisión” (Landsberg, 1996). Por su parte, Bohr formuló el principio de complementariedad

considerando la noción de partícula y la noción de onda como dos visiones complementarias de la misma realidad, cada una, sólo parcialmente correcta y con un rango de aplicación limitado. Las dos nociones son necesarias para dar cuenta de la realidad atómica de forma total, y ambas son aplicadas dentro de las limitaciones del principio de incertidumbre (Capra, 1982).

Todo este cambio abrupto también produjo temores y dudas, al punto que Einstein, él mismo partícipe en el desarrollo de estas nuevas ideas, exclamó al darse cuenta de las nuevas implicaciones conceptuales y filosóficas de las teorías físicas: *iGott würfelt nicht!* (“¡Dios no juega a los dados!”) (Wagensberg, 1988). “Einstein fue en búsqueda de la certeza y la mecánica cuántica no se la pudo proporcionar” (Landsberg, 1996).

¿Se sentiría Einstein tan desprotegido —incapaz de predecir— ante la realidad del mundo subatómico, como el primer hombre ante una noche estrellada?

III. SOBRE EL NACIMIENTO, VIDA Y MUERTE DE UN DEMONIO: DE LA CONCEPCIÓN DE LAPLACE A LAS PROPUESTAS DE POPPER Y WAGENSBERG

1. EL DEMONIO Y SU PADRE

Después de los dos capítulos anteriores nos encontramos con dos visiones provenientes de épocas distintas en la historia de la física. La primera es

un mecanismo de relojería que permite predicciones acertadas, en donde el determinismo subyace tácitamente en todos sus planteamientos. La segunda está inmersa entre conceptos como la probabilidad y la participación del observador en la descripción del proceso de observación, además de fijar la frontera del programa reduccionista, al mostrar a los físicos que la materia se desvanece en ondas de probabilidad y paquetes de energía, y sugiere indeterminación al no existir capacidad para realizar predicciones exactas.

Y aunque, como ya se dijo, la propuesta mecanicista tácitamente apunta a un mundo determinista, no es sino hasta que Pierre Simon Laplace crea la imagen de una superinteligencia demoniaca, que la idea de un mundo determinado (contenido en su presente) ya no sólo está sugerida sino que se convierte en algo explícito.

Laplace creía que el mundo consistía en corpúsculos que actuaban unos sobre otros, según la dinámica de Newton, y que un conocimiento completo y preciso del estado inicial del sistema del mundo en un instante de tiempo sería suficiente para deducir su estado en cualquier otro instante (el “estado” de un sistema newtoniano está dado cuando están dadas las condiciones iniciales completas, es decir, las posiciones, masas, velocidades y direcciones del movimiento de todas sus partículas). Un conocimiento de este tipo es claramente sobrehumano. Por eso Laplace introdujo la ficción de un demonio: una inteligencia sobrehumana, capaz de averiguar el conjunto completo de condiciones iniciales del sistema del mundo en cualquier instante de tiempo. Con la ayuda de esas condiciones iniciales y con las leyes de la naturaleza, es decir, las ecuaciones de la mecánica, el demonio sería capaz, según Laplace, de deducir todos los estados futuros del sistema del mundo; esto mostraría que, siempre que se conociesen las leyes de la naturaleza, el futuro del mundo estaría implícito en cualquier instante de su pasado, y así quedaría establecida la verdad del determinismo (Popper, 1996).

Según Andrade (2000), el Demonio de Laplace es la metáfora privilegiada por la física en una descripción externa. En esta descripción, el papel del sujeto es externo (refiriéndose a la jerarquía observacional, donde el observador está en el nivel inmediatamente superior), la descripción se realiza a escala macro, y es una descripción completa y acabada, cuya finalidad es formular predicciones deterministas. Todo enmarcado, claro está, dentro de la perspectiva tradicional del mecanicismo.

2. MUERTE AL DEMONIO EN CUATRO ESTOCADAS: LOS CUATRO ARGUMENTOS DE POPPER

En el segundo “Post Scriptum” a *La lógica de la investigación científica*, Karl Popper aborda el problema sobre el determinismo o indeterminismo del mundo, esgrimiendo un argumento en favor del indeterminismo, tanto así que titula al libro *El universo abierto: un argumento a favor del indetermi-*

nismo, en el que llega a afirmar que: “yo, personalmente, creo que la doctrina indeterminista es verdadera y que el determinismo carece por completo de fundamento” (Popper, 1996). Explondré ahora los puntos más relevantes para la discusión de la aproximación realizada por Popper.

Como primera medida, el autor establece una clasificación sobre los tipos de determinismo que a su parecer existen. Según Popper, el determinismo puede clasificarse en tres grupos: determinismo científico, determinismo religioso y determinismo metafísico.

El determinismo científico se refiere a “la doctrina de que la estructura del mundo es tal que cualquier suceso puede ser racionalmente predicho, con cualquier grado de precisión que se desee, si contamos con una descripción suficientemente precisa de los sucesos pasados junto con todas las leyes de la naturaleza” (Popper, 1996).

“El determinismo religioso está relacionado con las ideas de divina omnipotencia —poder para determinar el futuro— y divina omnisciencia, que entraña que el futuro es conocido por Dios ahora, y, por tanto, cognoscible de antemano y fijado de antemano” (Popper, 1996).

En cuanto al determinismo metafísico, esta doctrina afirma que “todos los sucesos de este mundo son fijos, o inalterables, o predeterminados. No afirma que son conocidos por nadie; o predictibles por métodos científicos. Pero afirma que el futuro es tan inmutable como el pasado” (Popper, 1996).

La discusión está enfocada a la refutación del determinismo científico, y de eso tratan los argumentos esgrimidos por Popper.

El origen del determinismo se remonta a las preguntas de ¿por qué?, realizadas por los seres humanos. El plantear una pregunta de ¿por qué? y obtener una respuesta explicatoria implica aceptar que todo suceso es causado. Es así que los niños, al hacer sus interminables series de preguntas de este tipo, lo que intentan es satisfacer la necesidad de una cadena causal explicativa.

Lo anterior en cuanto a orígenes del determinismo, pero para poder seguir trabajando en el análisis del determinismo científico, hay que entrar a discutir sobre el grado de precisión de la predicción, y sobre a qué se alude cuando se señala que deban existir condiciones iniciales “suficientemente precisas” que permitan realizar la predicción deseada.

Popper introduce en este punto de la discusión el principio de ‘poder dar razón’. Según él, la teoría “tendrá que dar razón de la imprecisión de la predicción. Dado el grado de precisión que exigimos a la predicción, tendrá que permitirnos calcular el grado de precisión de las condiciones iniciales, que sería suficiente para darnos una predicción con el grado exigido de precisión. Esta exigencia tendrá que incorporarse a la definición de determinismo científico” (Popper, 1996). En otras palabras, tiene

que ser posible, antes de contrastar el resultado de las predicciones, saber si las condiciones iniciales son suficientemente precisas o no.

“Así, cualquier definición satisfactoria de determinismo científico tendrá que estar basada en el principio (principio de poder dar razón) de que podemos calcular a partir de nuestra tarea de predicción (junto con nuestras teorías, naturalmente) el grado requerido de precisión de las condiciones iniciales” (Popper, 1996). Popper se refiere al principio definido de esta forma como “principio de dar razón débil”, existiendo también una forma fuerte en la que además se incluye en la definición “a la precisión de los resultados de las mediciones posibles a partir de los cuales pueden calcularse las condiciones iniciales, en lugar de hacer referencia a las condiciones iniciales” (Popper, 1996). Queda incluido así el principio de dar razón a la definición de determinismo científico y al análisis conducente a refutar esta doctrina.

Popper (1996) considera que el determinismo científico es el que tiene que llevar la carga de la prueba, por ser la aserción determinista más fuerte que la aserción indeterminista. Las aserciones planteadas por Popper son iguales a las que, como se verá más adelante, son usadas por Wagensberg (1988) para realizar su análisis. En palabras del propio Popper “...el indeterminismo, que afirma que existe, al menos, un suceso que no está predeterminado y no es predecible, es claramente una aserción más débil que el determinismo científico, que afirma que todos los sucesos son, en principio predecibles... En todo caso, aquel que propone la teoría más fuerte acepta la carga de la prueba...” (Popper, 1996).

Después de conocer algunos análisis de Popper respecto al origen del pensamiento determinista, de haber establecido una clasificación sobre los distintos tipos de determinismo, y de haber definido el determinismo científico de forma débil y fuerte con la ayuda del principio de dar razón, expondré los cuatro argumentos utilizados por Popper para la refutación del determinismo científico.

a. Primera estocada. El carácter aproximado del conocimiento científico. Al analizar este argumento, Popper utiliza la analogía de las teorías científicas como redes: “Yo considero nuestras teorías científicas como invenciones humanas, redes creadas para atrapar el mundo...” (Popper, 1996).

Las teorías no son sólo instrumentos. A lo que aspiramos es a la verdad: contrastamos nuestras teorías con la esperanza de eliminar las que no son verdad. De esta manera podemos conseguir nuestro propósito de perfeccionar nuestras teorías; incluso como instrumentos: haciendo redes mejor adaptadas para capturar nuestro pez, el mundo real. Sin embargo, nunca serán instrumentos perfectos para este propósito. Son redes racionales hechas por nosotros mismos, y no deben confundirse con una representación completa del mundo

real en todos sus aspectos, ni siquiera aunque tengan un gran éxito, ni siquiera aunque parezcan producir excelentes aproximaciones a la realidad (Popper, 1996).

En esta concepción, entonces, el tamaño de la malla de la red determinará el grado de aproximación a la realidad, las redes siempre permitirán el indeterminismo.

La analogía de las teorías como redes tiene que ver con el principio de incertidumbre ya mencionado, en lo que respecta a la medición, la incapacidad para poder establecer al mismo tiempo posición y velocidad de las partículas.

Resulta claro el acuerdo de J. von Neumann en torno a la analogía de las teorías como redes, cuando expresa: "Esto ...está ...estrechamente relacionado con la observación metodológica de que una formulación matemática representa sólo una teoría (más o menos explícita) de alguna fase (o aspecto) de la realidad, y no la realidad misma" (Popper, 1996).

b. Segunda estocada. La física clásica no es capaz de dar razón.

¿Es la física clásica capaz de dar razón? "Para que una tarea de predicción sea capaz de dar razón, tenemos que tener un modelo de sistema, es decir, una descripción aproximada de su estado" (Popper, 1996). La descripción aproximada se refiere a qué tan precisamente hay que conocer las condiciones iniciales del sistema. De esta reflexión surge la siguiente pregunta:

¿Cómo tiene que ser el modelo de bueno para que nos permita calcular la aproximación que requiera el principio de dar razón?

De esta pregunta resulta el problema que hace que la bondad del modelo se refiera al grado de aproximación o precisión, por lo que surge en este punto una retrogresión infinita. Además de esto, existe la complicación adicional de que entre más complejo sea el sistema, la amenaza de la retrogresión infinita es más seria, como se verá más adelante.

En el caso de sistemas no muy complejos, la metodología a seguir es la siguiente: se obtiene un modelo cualquiera y se calcula según el principio de dar razón a la precisión requerida en las condiciones iniciales para buscar la predicción. Si este modelo fracasa, se emplea uno nuevo, que a veces funciona y otras veces no.

Si no lo hace, se necesita un modelo mejor. Esto lleva a un problema de capacidad de dar razón de orden superior, y surge nuevamente el problema de la retrogresión infinita. La complejidad del mundo se erige entonces como un obstáculo a la postura determinista.

Siguiendo esta argumentación y al pasar al campo de la física clásica, con condiciones exactas sólo en casos especiales se puede predecir un sistema newtoniano de más de dos cuerpos. Más difícil todavía es con un sistema de más cuerpos, debido a que no sabemos cuán preciso tendría

que ser el conjunto de condiciones iniciales. Como ya se analizó, entre más complejo sea el sistema más difícil será la predicción.

De lo anterior se concluye que la dinámica de Newton no da razón ni siquiera en el sentido más débil, y al no hacerlo en el sentido débil tampoco lo hará en el fuerte ².

c. Tercera estocada. La asimetría entre pasado y futuro.

Este argumento está sustentado en la teoría de la relatividad especial de Einstein. Según la propuesta “el pasado está completamente determinado por lo que ha ocurrido” (Popper, 1996), el pasado está cerrado mientras que el futuro está abierto, y no se puede predecir totalmente.

En esta teoría existe, para cada observador —o, como yo prefiero decir, para cada sistema de inercia local— un pasado absoluto y un futuro absoluto (que están separados por toda una región de posible contemporaneidad). El pasado (absoluto) del sistema es la región formada por todos los puntos espaciotemporales desde los cuales las influencias físicas (por ejemplo, las señales de luz) pueden afectar al sistema; su futuro (absoluto) es una región formada por todos los puntos sobre los cuales el sistema puede ejercer una influencia física. En la representación geométrica de Minkowski, este pasado y este futuro forman los dos conos (más exactamente las dos partes de un doble cono cuatridimensional) (Popper, 1996).

El demonio de Laplace, analizado desde la relatividad especial, en lugar de hacer predicciones lo único que puede hacer es retrodicciones. El demonio laplaciano sólo es capaz de calcular un evento que está dentro de su pasado ³.

d. Cuarta estocada. La incapacidad de predecir el aumento del propio conocimiento (incapacidad de autopredicción).

“No podemos predecir científicamente los resultados que vamos a obtener en el transcurso del aumento de nuestro propio conocimiento” (Popper, 1996). Tampoco la influencia que el desconocido pero posible nuevo conocimiento va a tener sobre el mundo. Por su parte, un sistema no va a lograr hacer predicciones sobre él mismo. Popper realiza una demostración sobre este punto, en donde analiza si una máquina predictora podría llegar a realizar pronósticos sobre ella misma, una predicción desde dentro. El resultado del análisis es que no es posible ⁴. Este argumento guarda relación con el teorema de incompletitud de Kurt Gödel ⁵:

El determinismo científico requiere que seamos capaces, en principio, de predecir desde dentro todas las cosas de nuestro mundo con el grado de precisión que decidamos; y, puesto que nosotros mismos estamos dentro de nuestro mundo, esta doctrina es refutada por la imposibilidad de obtener predicciones desde dentro arbitrariamente exactas, lo que es una consecuencia de la imposibilidad de la autopredicción (Popper, 1996).

3. DE REALIDADES A ACTITUDES CIENTÍFICAS: LA PROPUESTA DE WAGENSBERG

A continuación presentaré la propuesta realizada por Jorge Wagensberg (1988) para encontrar una vía de conciliación entre las dos visiones opuestas a la realidad del mundo: la determinista (llevada a su máxima expresión con el Demonio de Laplace) y la indeterminista sugerida por los desarrollos en mecánica cuántica.

Antes de entrar en el razonamiento sobre determinismo e indeterminismo, cabe establecer una relación entre azar e indeterminación, con el ánimo de hacer claridad en lo que se va a analizar.

La indeterminación emerge ahí donde el azar está presente, donde la contingencia no puede ser explicada por leyes deterministas. En su planteamiento, Wagensberg (1988) subdivide al azar en dos aspectos. El primero es el azar epistemológico, directamente relacionado con el conocimiento y hace referencia a la ignorancia del sujeto observador y pensante. Entre los aspectos que contribuyen a la ignorancia del observador se incluyen la noción de incompletitud del teorema de Gödel, la incapacidad de conocer con exactitud las condiciones iniciales de un fenómeno a estudiar, la débil potencia de cálculo y la no existencia de leyes suficientes. El segundo aspecto es el azar ontológico, "una entidad metafísica pura que actúa ciegamente en el universo" (Wagensberg, 1988). El azar ontológico se opone de manera manifiesta al determinismo, generando así un problema metafísico irreconciliable que Wagensberg no entra a discutir. Por esta razón, el análisis que se desarrolla versará sobre el azar epistemológico, ya que éste "y las leyes no se contradicen a la hora de describir la complejidad del mundo" (Wagensberg, 1988).

Wagensberg (1988) sostiene que la pregunta ¿es el mundo determinista o indeterminista?, por no ser una pregunta científica, debe ser remplazada por el interrogante: ¿mi actitud científica ante el conocimiento del mundo, ha de ser determinista o indeterminista? En el transcurso de la explicación se verá por qué el remplazo de un interrogante por otro. Al tener en cuenta la primera pregunta, su respuesta tiene sólo dos opciones: la primera un mundo determinista, la segunda un mundo indeterminista. Analizemos estos dos mundos por separado.

Respecto al primero, el mundo es determinista si se ajusta a la aserción de que *"todo suceso del mundo es predecible"*.

La anterior aserción considera un 'suceso' como el estado de una parte finita del mundo en cierto instante. Y admite que un suceso es 'predecible' si existe una teoría o conjunto de conocimientos que permita deducir su ocurrencia a partir del conocimiento de otro suceso del mundo. Con lo anterior, queda claro que en las palabras 'suceso' y 'predecible' se esconden finitudes. Sin embargo, la palabra todo no tiene ningún tipo de limitación y por eso el infinito está colado en la aserción determinista.

En lo que se refiere al segundo, el mundo es indeterminista si *“algún suceso del mundo no es predecible”*. En esta aserción ‘algún suceso’ se refiere a algo finito, al contrario, el ‘no’ de la frase encierra también la idea de infinito, ya que es el término que remplaza al ‘todo’ de la aserción determinista.

Como conclusión de este análisis, no se puede saber si alguna de las teorías es cierta sin encontrarnos con el infinito. “El determinismo se enfrenta, pues, con el problema de infinitos sucesos finitos, el indeterminismo con el problema de infinitas teorías finitas” (Wagensberg, 1988).

Nos enfrentamos, entonces, con cualquiera de las dos aserciones con el problema del infinito, en palabras de Günter Ludwig (1996): “La física nunca puede probar que algo es infinito, puesto que la física se basa en gran número, pero siempre finito, de resultados y experimentos... ninguna afirmación sobre el carácter infinito del mundo tiene que ver con la física; semejante afirmación sólo puede efectuarse en un contexto filosófico o religioso”. Entonces, ¿cómo seguir adelante con la discusión?

Como herramienta que permita seguir adelante procedamos a utilizar el criterio falsacionista de Popper ⁶ (1962) en el análisis de las aserciones correspondientes a cada mundo desarrolladas por Wagensberg (1988). Dentro de éstas existen dos conjuntos infinitos: el primero es un conjunto infinito de sucesos (S). El segundo un conjunto infinito de teorías, conocimiento o creencias (T).

Un proyecto universal de investigación científica incluye estos dos conjuntos infinitos (S) y (T), proyecto que no es falsable. Sin embargo, pueden existir dos proyectos semiuniversales donde un conjunto sea finito y el otro infinito. Sea $|S|$ un subconjunto finito de (S), y $|T|$ un subconjunto finito de (T), entonces los dos proyectos semiuniversales son los siguientes:

a. $(S), |T|$: este proyecto, con un conjunto finito de teorías, se dedica a la descripción de cualquier suceso finito. El proyecto es llevado a cabo por el llamado científico aplicador, quien trabaja con teorías falsables pero no falsadas. El “científico aplicador” está en paz mientras la única observación enunciable no sea enunciada (la aserción indeterminista).

El que la aserción indeterminista sea enunciable significa que el determinismo es falsable y no falsado. El científico aplicador tiene una actitud científica que considera al determinismo científico por ser falsable, y verdadero por no ser desmentido.

En el momento que la aserción indeterminista sea enunciada, existe la opción de que un nuevo cuerpo teórico haga aparición permitiendo volver al proyecto del científico aplicador, y estas teorías salvadoras procederán del segundo proyecto semiuniversal.

b. $(|S|, (T))$: este proyecto al haber elegido un conjunto finito de sucesos, se dedica a la búsqueda o creación de cualquier teoría explicadora capaz de describir cierto número de sucesos finitos. Este proyecto es desarrollado por el “científico creador”. En este proyecto la aserción enunciable pero no enunciada es “todo es predecible”, lo que significa que el indeterminismo es falsable pero no falsado. Si en algún momento dentro de este proyecto la aserción determinista es enunciada, se debe sugerir un nuevo proceso a predecir por sugerencia de la observación o la especulación. Estos sucesos son aportados por el primer proyecto semiuniversal.

Después del análisis de los dos proyectos semiuniversales con la ayuda del criterio falsacionista de Popper, la formulación final de estas dos posturas científicas es la siguiente:

El indeterminismo es la actitud científica compatible con el progreso del conocimiento del mundo.

El determinismo es la actitud científica compatible con la descripción del mundo.

Al terminar la exposición de las aproximaciones realizadas al problema determinismo-indeterminismo por Popper (1996) y Wagensberg (1988), ¿con qué nos encontramos?

Popper refuta con argumentos científicos y filosóficos la doctrina del determinismo científico y se declara abiertamente indeterminista. Por su parte Wagensberg, en una aproximación más conciliadora, cambia la perspectiva del análisis de realidades del mundo a actitudes científicas, declarando al final cómo las dos actitudes (determinista e indeterminista) son necesarias para el progreso del conocimiento y la descripción del mundo.

En el siguiente capítulo se tomarán en cuenta algunos planteamientos relacionados con la termodinámica que contribuirán al análisis final.

IV. LAS PISTAS TERMODINÁMICAS

La formulación de la segunda ley de la termodinámica fue realizada por Rudolph Clausius en 1885 mientras estudiaba el problema de la disponibilidad de energía en la máquina de vapor. Clausius demostró que en un sistema cerrado hay siempre pérdidas en la cantidad de energía útil. Con este referente, Clausius acuñó el término ‘entropía’, que denota “la medida de la cantidad de energía térmica no disponible para ejecutar un trabajo en un sistema cerrado” (Andrade, 2000).

La etimología de la palabra ‘entropía’ corresponde a la voz griega *tropae* que significa transformación y a la voz derivada *entrepein* que significa girar, cambiar, revertir (Andrade, 2000). Para autores como Prigogine

(1997) la interpretación de estas dos voces significa 'evolución', lo que hace particular que la formulación de la segunda ley de la termodinámica se haya realizado en el siglo XIX, centuria durante la cual Darwin propuso su teoría.

Una de las interpretaciones más conocidas de la entropía la realizó el investigador austriaco Ludwig Boltzmann. Este científico hizo una interpretación microscópica del aumento de entropía, y relacionó esta cantidad con la probabilidad. La interpretación de Boltzmann concibe la entropía como una medida del desorden o azar en un sistema cerrado.

Como se ve desde su formulación, la entropía ha tenido distintas interpretaciones. Según Andrade (2000) estas aproximaciones a la entropía pueden clasificarse en dos, dependiendo de la referencia utilizada en la descripción.

Las primeras aproximaciones se denominan externalistas o clásicas. En éstas, "los sistemas se estudian dentro de unas condiciones de entorno estables y definidas que permiten la elaboración de una descripción consistente. Tales condiciones se satisfacen en sistemas cerrados, o en sistemas en que una serie de parámetros se mantienen constantes. Los sistemas investigados corresponden a escalas distintas del observador, quien escoge el referencial para una descripción objetiva" (Andrade, 2000). Las aproximaciones de Clausius y Boltzmann se consideran externalistas.

Las segundas se denominan internalistas. "Desde esta óptica se considera que la dinámica microscópica tiende de por sí a la producción de una descripción en la forma de un registro. En consecuencia, se intenta incluir en la descripción un observador ubicado dentro del sistema objeto de estudio, lo cual se hace posible cuando los sistemas investigados corresponden aproximadamente a la misma escala del observador. En este caso, las condiciones de entorno se definen en un nivel puramente local, a partir del cual se busca producir descripciones dinámicas o evolutivas del sistema" (Andrade, 2000). Entre las aproximaciones internalistas se encuentran las realizadas por Prigogine, Brooks y Zurek.

Se expondrán ahora algunos aspectos de la aproximación realizada por Ilya Prigogine (1997), lo cual facilitará el entendimiento de las propuestas de interpretación del determinismo y el indeterminismo que realizaré en un capítulo posterior.

[Para Prigogine] el término general entropía se divide en dos partes; la primera refleja los intercambios entre el sistema y el mundo exterior S_e , y la segunda describe la entropía que se produce al interior mismo del sistema S_i . La segunda ley exige que la suma de estas dos sea positiva, excepto en estado de equilibrio cuando es cero, $S_e + S_i = 0$. Lejos del equilibrio, la primera entropía alcanza valores positivos muy altos, $S_e > S_i$, por lo que aunque la segunda sea negativa, la suma de las dos sigue siendo positiva. Esto quiere decir que en

sistemas lejos del equilibrio pueden presentarse disminuciones locales de entropía que se manifiestan en un aumento impresionante de organización interna (Andrade, 2000).

La visión de Prigogine, entonces, permite la organización interna con aumento de entropía total, cosa que no era posible desde la perspectiva externalista de Boltzmann, donde la entropía era una medida del desorden del sistema. La diferencia entre estas dos perspectivas es que a diferencia de Boltzmann, los sistemas con los que trabaja Prigogine son abiertos (al intercambio de materia, energía e información) y alejados del equilibrio.

Los sistemas abiertos están sometidos a fluctuaciones externas. En sistemas en equilibrio del tipo Boltzmann, los sistemas son estáticos, inmunes a las perturbaciones externas. En sistemas lejos del equilibrio, la estabilidad estructural del sistema tiene cierto límite. Por lo tanto,

... si llevamos un sistema lo bastante lejos del equilibrio, entra en un estado inestable con relación a la perturbación. El punto exacto en que esto sucede se denomina punto de bifurcación. En este punto, al volverse inestable la solución primitiva, se producen nuevas soluciones que pueden corresponder a un comportamiento muy distinto de la materia (Prigogine, 1997).

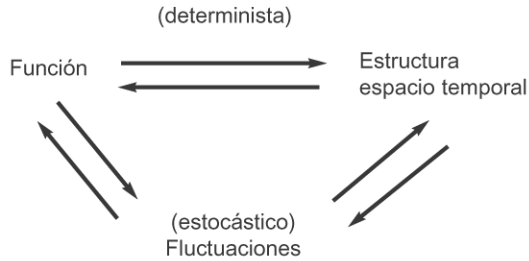
Los estados que pueden aparecer lejos del equilibrio tras la amplificación de una fluctuación son estables y reproducibles. Son previsibles, pero no en el sentido en que es previsible la evolución de un sistema pasivamente sometido a una ligadura externa, sino porque el número de soluciones posibles al problema de la estabilidad, que se plantea lejos del equilibrio, es calculable y porque los estados hacia los que un sistema puede evolucionar son finitos en número (Prigogine, 1997).

“Por consiguiente, un elemento irreductible de indeterminación caracteriza la evolución de un sistema más allá del umbral de inestabilidad” (Prigogine, 1997). Se podría incluso decir que el sistema tiene una “elección” entre las ramas de la bifurcación.

El tipo de orden que surge como resultado de las perturbaciones en un estado alejado del equilibrio es denominado por Prigogine “orden por fluctuaciones” y puede verse en el siguiente esquema (tomado de Prigogine, 1997, *¿Tan solo una ilusión?*):

“Los flujos externos pueden pasar a la estructura interna de un estado a otro, incluso modificar las reacciones activas y, a su vez, el sistema puede, a continuación, ser sensible a ligaduras externas a las que antes era ajeno” (Prigogine, 1997). La parte determinista del esquema se refiere a que existen ecuaciones que determinan las variables del sistema, mientras el fenómeno estocástico se refiere a que “la evolución del sistema está

determinada por la primera fluctuación que se produzca y que conduzca al sistema a un nuevo estado estable” (Prigogine, 1997).



Más allá del umbral crítico de inestabilidad se genera, entonces, un proceso de autorganización denominado “estructura disipativa”. Se puede decir que

la estructura disipativa es la fluctuación amplificada, gigante, estabilizada por las interacciones con el medio; contrariamente a las estructuras en equilibrio, como los cristales, la estructura disipativa sólo se mantiene por el hecho de que se nutre continuamente con un flujo de energía y de materia, por ser la sede de procesos disipativos permanentes (Prigogine, 1997).

Lejos de las inestabilidades se cumplen las leyes deterministas, pero cerca de ellas, como ya se mostró en el esquema del orden por fluctuaciones, es la fluctuación la introductora del elemento estocástico. “Por lo tanto, la idea de historia se introduce desde el nivel de las estructuras disipativas” (Prigogine, 1997). Y es la inestabilidad la portadora del hecho histórico.

V. LA PROPUESTA: EL EMERGER PUNTUAL DE LA INDETERMINACIÓN EN EL SENO DE LA TRIADA DETERMINISTA (ESTRUCTURA, HISTORIA Y ENTROPÍA)

A continuación dividiré el determinismo en tres visiones diferentes y complementarias de la misma realidad, para al final del capítulo hacer un colofón que los interrelacione de manera explícita junto con la emergencia de la indeterminación en regiones puntuales.

1. DETERMINISMO ESTRUCTURAL

Para explicar la noción de determinismo estructural recurriré inicialmente a un ejemplo y analogía proveniente del campo físico-mecánico. La explicación la da S. J. Gould (2000). Este científico compara a la población

con una bola de billar sometida a una variabilidad aleatoria, la selección natural es como el taco que golpea y la bola va hacia donde la selección la impulsa:

En el siglo XIX, Francis Galton, sobrino de Darwin, introdujo una interesante metáfora: el organismo es como un poliedro que descansa sobre una de sus caras. Todavía se necesita el taco de la selección natural para golpearlo —no se moverá a menos que haya una fuerza que lo empuje— pero es un poliedro, lo que significa que su forma está determinada por una constitución interna y las posibilidades de cambio están limitadas. Ciertas vías son más probables que otras, y las hay que son inaccesibles, por muchas ventajas adaptativas que puedan tener (Gould, 2000).

Planteamientos como el expuesto por Gould hacen parte de una escuela de pensamiento biológico conocida como estructuralismo. En las palabras de Gould se nota cómo la estructura limita las posibilidades que los organismos tienen de evolucionar, expresando de maneras tácita el concepto de determinismo estructural. Para encontrar una verdadera definición de este concepto hay que revisar el trabajo realizado por Humberto Maturana y Jorge Mpodozis (1992). Según ellos, el determinismo estructural se define como el

Operar de un sistema de acuerdo con su estructura, esto es, de acuerdo cómo está hecho en el juego de propiedades de sus componentes. Un sistema que opera de esta manera es un sistema determinado estructuralmente. La estructura de un sistema determinado estructuralmente determina todo lo que pasa, tanto en sus cambios internos como en lo que admite en una interacción. Así, es posible decir que la estructura de un sistema determinado en su estructura determina: a. los cambios estructurales que éste puede tener con conservación de organización, o cambios de estado; b. los cambios estructurales que éste puede tener en los que no se conserva su organización, o cambios desintegrativos; c. las configuraciones estructurales del medio, que al incidir sobre él desencadenan en un cambio de estado, o perturbaciones; y d. las configuraciones de la estructura del medio, que al incidir sobre él desencadenan en su desintegración, o interacciones destructivas (Maturana *et al.*, 1992).

Para Maturana y Mpodozis los seres vivos son sistemas determinados estructuralmente. “Por lo tanto, todo lo que les ocurre en cada instante les ocurre como parte de su dinámica estructural en ese instante y determinado en ella” (Maturana *et al.*, 1992). Al decir de Wagensberg (1999), “no existen individuos vivos sin estructura o, dicho de otro modo, para estar vivo se necesita una complejidad estructural mínima”.

Maturana considera que la interacción de los seres vivos con su ambiente se da a través de procesos de “acoplamiento estructural”, y esta

interacción genera cambios estructurales de autorrenovación (cíclicos) o cambios en el que nuevas estructuras son creadas (cambios del desarrollo).

La idea de Maturana y Mpodozis (1992) tiene cierta similitud con el pensamiento de Gould y Lewontin (1979) cuando, en su famoso artículo sobre las pechinas (*spandrels*) de la catedral de San Marcos, dicen que en su propuesta quieren “reafirmar la visión de que los organismos deben ser analizados como un todo integrado, con un *Baupläne* tan restringido por la herencia filética, los caminos de desarrollo y la arquitectura general, que las mismas restricciones por sí mismas llegen a ser más interesantes e importantes en la delimitación de los caminos de cambio que la fuerza selectiva, que podría servir de mediador para el cambio cuando éste ocurra”. La arquitectura general sería la que imponga las restricciones de tipo arquitectónico, limitando en cierta medida los posibles caminos evolutivos a seguir, sin desconocer de ningún modo la importancia de la selección natural. De esta forma, se ve cómo la idea de determinismo estructural está expresada en el concepto de restricción arquitectónica.

Incluso se podría pensar en el surgimiento mismo de la estructura como una manera de limitar el azar como consecuencia de un ‘reto termodinámico’. En cuanto a limitar el azar, lo planteado guarda relación con la noción de ‘forma desarrollada’ por Andrade (2002), donde la forma se considera “como el proceso que da lugar al establecimiento, transferencia y conservación de un conjunto específico de interacciones no aleatorias”. La idea sobre el ‘reto termodinámico’ será desarrollada con mayor amplitud en la parte concerniente al determinismo entrópico.

Para finalizar las consideraciones sobre el determinismo estructural cabe decir que la estructura no debe considerarse como algo inerte. Aquí hay que recordar la lección dejada por la mecánica cuántica al señalar la importancia en la estructura de la materia, tanto de los componentes como de las relaciones entre éstos. Maturana y Mpodozis definen la estructura como “los componentes y relaciones entre componentes que realizan a un sistema particular como un sistema particular de una cierta clase. La estructura de un sistema involucra más dimensiones que la organización, pues incluye componentes y relaciones” (Maturana, H. *et al.*, 1992).

No sobra aclarar que la palabra ‘estructura’ ha sido usada tradicionalmente en un sentido puramente mecánico, refiriéndose solamente a las propiedades físico-químicas de los componentes. En este trabajo se usa una redefinición de la noción de estructura, en la que se incluye lo planteado por Maturana y Mpodozis (1992), y la noción de forma desarrollada por Andrade (2002).

2. DETERMINISMO HISTÓRICO

La segunda visión acerca del determinismo que abordaré es la noción histórica. Ésta se refiere al papel del trayecto histórico recorrido por el

sistema como determinante en las “elecciones” a tomar por parte de éste. Si en el determinismo estructural se habló de restricciones de tipo arquitectónico, en esta aparte se hablará de restricciones de tipo histórico.

En el estudio de la propuesta termodinámica desarrollada por Prigogine se analizaron las propiedades de la materia en condiciones alejadas del equilibrio, como también el papel histórico de las fluctuaciones que logran ejercer su efecto sobre el sistema, al generar un alejamiento del equilibrio, que lleva a éste a un punto de bifurcación. En ese capítulo se introduce la noción de historia dentro del sistema.

Se puede decir que dentro de las propiedades adquiridas por la materia lejos del equilibrio se incluye la posibilidad de tener memoria. En palabras de Prigogine (1997), la memoria correspondería “a una sucesión temporal de diversas bifurcaciones”. Cuando una fluctuación aleja el sistema del equilibrio lo suficiente para generar un punto de bifurcación, el sistema sigue una de las soluciones. La nueva solución es estable frente a pequeñas fluctuaciones, el sistema “registra las pequeñas fluctuaciones que se produjeron anteriormente y presenta ciertas características que se asemejan a una memoria rudimentaria” (Prigogine, 1997).

Por todo lo mencionado respecto a la memoria del sistema, en el mundo de las bifurcaciones ya no es posible, como en el clásico, construir trayectorias imaginarias en torno a la única trayectoria real posible. “Si un sistema se halla en un estado correspondiente a una bifurcación determinada, esto se debe a su desarrollo histórico” (Prigogine, 1997).

Todo lo anterior se refiere al determinismo histórico con respecto a estructuras disipativas. Sin embargo, la noción de determinismo histórico también se contempla en seres vivos, y aquí hay que mencionar a Fritjof Capra (1996), quien considera a la estructura disipativa “como la estructura de los sistemas vivos”.

Si pasamos ahora a la visión de Maturana y Mpodozis (1992), como ya fue explicado, los seres vivos reaccionan a las influencias ambientales con cambios estructurales; cambios que van a alterar el comportamiento futuro del organismo. “En otras palabras, un sistema acoplado estructuralmente es un sistema de aprendizaje” (Capra, 1996). De esta manera, el organismo desarrolla su propio camino de acoplamientos estructurales, entonces, “la estructura viva es siempre un registro de desarrollos anteriores, y la ontogenia —el curso del desarrollo de un organismo individual— la historia de los cambios estructurales del organismo” (Capra, 1996).

3. DETERMINISMO ENTRÓPICO

Como última visión dentro de la triada determinista, me ocuparé de lo que he denominado determinismo entrópico. El cual consiste en abordar

las restricciones energéticas que la segunda ley de la termodinámica impone a la materia y a los sistemas físicos y biológicos.

El origen mismo de la materia en el universo está en directa relación con la energía. En la visión de S. N. Salthe (2002) debido “a la rápida aceleración de la expansión del universo, éste no ha podido equilibrarse internamente...”. “Esta expansión más allá del rango de posibilidades para el equilibrio global, ha dado lugar a la precipitación de la materia, la cual puede ser vista como energía retrasada” (Salthe, 2002). Los agregados de materia sirven a la segunda ley en este mundo de no equilibrio, facilitando la producción de entropía por medio de la degradación (disipación) de gradientes de energía. Los gradientes de energía son intrínsecamente inestables, y el mundo actúa espontáneamente destruyéndolos al servicio del equilibrio.

Para Schneider y Kay (1999) “la concepción de los sistemas disipativos como disipadores de gradientes es aplicable a los sistemas físicos y químicos fuera del equilibrio y describe los procesos de emergencia y desarrollo de sistemas complejos”. Según estos autores, esta idea estaba presente ya en el pensamiento de Boltzmann, ya que pensaba que “el gradiente de energía solar impulsa los procesos de la vida, y sugirió una competencia pseudodarwiniana por la entropía en los sistemas vivos” (Schneider, E. *et al.*, 1999). Boltzmann describió el gradiente de energía solar “como la transición de energía del sol caliente a la Tierra fría” (Schneider *et al.*, 1999).

En el apartado sobre el determinismo estructural se sugirió la aparición de la estructura (y su consiguiente determinismo estructural) como respuesta a un reto termodinámico. Desde la perspectiva del determinismo entrópico se entiende mejor este planteamiento, debido a que el surgimiento de estructura es “la respuesta esperable de un sistema que intenta resistir y disipar gradientes aplicados externamente que alejarían el sistema del equilibrio” (Schneider *et al.*, 1999). Entonces, la materia es energía retrasada debido a la velocidad de aceleración del universo y la estructura es la respuesta al reto termodinámico ejercido por el gradiente energético de la energía solar. Se hace evidente la importancia de las restricciones de tipo energético. En palabras de Andrade (2002), “las formas dependen de paisajes de energía que definen su estabilidad termal y sus estados termodinámicamente accesibles”.

Dentro de este tipo de descripción se puede, según Schneider y Kay (1999), incluir a los sistemas vivos, ya que ellos sugieren que “la vida en la Tierra es una forma más de disipar el gradiente solar inducido y, como tal, una manifestación de la segunda ley reformulada”.

4. COLOFÓN

Para realizar la integración de la triada determinista junto con la emergencia puntual de la indeterminación en el seno de ésta, usaré la propuesta de interpretación de la termodinámica realizada por Prigogine (1997) e ilustrada en el capítulo IV.

Como ya se explicó, el sistema en circunstancias alejadas del equilibrio se comporta como estructura disipativa. El desplazamiento del sistema hacia el desequilibrio se realiza por medio de la estructura disipativa hasta llegar al punto de bifurcación. En este punto, la solución primitiva no es capaz de permanecer y surgen entonces nuevas soluciones. Es entonces, en el punto de bifurcación, donde determinación e indeterminación se interrelacionan definiendo la vía a seguir.

Las fluctuaciones juegan en este punto un papel preponderante, esto debido a que, como se analizó en el esquema del capítulo IV, la evolución del sistema dependerá de la primera fluctuación que se produzca, la cual "conducirá" al sistema a un nuevo estado de equilibrio dinámico. Es aquí donde la fluctuación entra a jugar un rol de indeterminación (elemento estocástico) en la evolución de los sistemas físicos.

Sin embargo, la fluctuación no puede "conducir" al sistema a cualquier estado estable. El rango de posibilidades a seguir es limitado y está determinado por la triada determinista actuando como un todo en la "elección" a tomar.

La estructura y su correspondiente determinismo estructural van a restringir las posibilidades, incluso el tipo de fluctuaciones que se admite en interacción. Aquí no se puede dejar de tener en cuenta que la actualidad estructural del sistema es en parte el resultado de la historia del sistema y su correspondiente determinismo histórico, refiriéndose éste a la memoria creada de la cadena de bifurcaciones seguidas y al camino de acoplamientos estructurales realizados.

La "elección" a tomar dependerá también de los estados termodinámicamente accesibles en función del aprovechamiento de gradientes, al utilizar la *exergía*⁷ proveniente de éstos, cumpliendo una función disipadora (de entropía) que genere nuevos gradientes; todo lo anterior inscrito dentro del concepto de determinismo entrópico.

Con la explicación realizada en este colofón se culmina la ilustración de mi propuesta de interpretación de la dicotomía determinismo-indeterminismo; una triada determinista que actúa como un todo sometida al emerger de la indeterminación en regiones puntuales. En el capítulo siguiente analizaré conceptual y filosóficamente mi propuesta, concentrándome en las diferencias con los aportes anteriores, y en los conceptos que se derivan tácita y explícitamente de esa propuesta.

VI. LA PROPUESTA:
SIMILITUDES, APORTES, CONCEPTOS Y DERIVACIONES.

Al inicio del artículo se analizaron algunos precedentes socioculturales que posiblemente influyeron en la concepción mecanicista-determinista de la ciencia, desde sus inicios en el siglo XVI y XVII, que podrían resumirse diciendo que son fruto “de anticipar el futuro sólo como el hombre puede hacerlo, deduciendo el porvenir por el presente” (Bronowsky, 1979). Gracias a la concepción filosófica de Descartes y al éxito predictivo de los desarrollos de Newton, las cadenas causales explicativas se impusieron y el determinismo siempre estuvo inmerso de forma tácita en las teorías científicas. Como se explicó, lo tácito se convertiría en explícito debido a la contribución metafórica de Laplace, donde en un mundo contenido en su presente, una superinteligencia demoniaca sería capaz de hacer predicciones acertadas sobre el futuro del mundo.

En el mundo mecanicista-determinista no existe flecha temporal; presente, pasado y futuro dan igual, y los costos energéticos (transacciones energéticas) tampoco se contemplan de ningún modo.

La física del siglo XX cambia un poco el panorama; el programa reduccionista se encuentra con un límite donde la materia se diluye en ondas de probabilidad y paquetes de energía. La certeza se cambia por probabilidad; en la precisión absoluta se inmiscuye el principio de incertidumbre de Heisenberg; el observador es incluido en la descripción del proceso de observación.

La dicotomía determinismo-indeterminismo se convierte en un problema científico y filosófico. Muchas aproximaciones se han propuesto para dar solución al debate en torno a este problema. En el presente artículo se expusieron las aproximaciones realizadas por Popper (1996) y Wagensberg (1988).

Popper con cuatro certeras estocadas da muerte al demonio laplaciano, y su análisis refuta el determinismo científico. Aquí quiero reiterar que deja por fuera de la discusión lo que él llama determinismo metafísico y religioso; su propuesta es un argumento en favor del indeterminismo.

Por su lado, Wagensberg, en una visión conciliadora, cambia la discusión de realidades sobre el mundo a actitudes científicas, y terminando con dos aserciones sobre el progreso del conocimiento y la descripción del mundo. Hace claridad en que su propuesta versa sobre lo que él mismo define como ‘azar epistemológico’, dejando de lado la parte ontológica, y enfrenta al azar como producto de la ignorancia del ser humano (del observador) y no como producto intrínseco de la naturaleza.

Quiero aclarar que mi propuesta sobre el emerger de la indeterminación en medio de la triada determinista es una propuesta de interpretación, que busca dar un enfoque distinto al debate surgido en torno a la dicotomía determinismo-indeterminismo.

Mi propuesta apela, en parte, al mencionado principio de complementariedad de Bohr, en cuanto a que la triada determinista implica tres visiones complementarias y distintas de la misma realidad. También la complementariedad es tomada en su uso corriente —que sirve para completar o perfeccionar algo— en cuanto a cómo la triada determinista, junto con la indeterminación en regiones puntuales, se complementan en la explicación del devenir de los sistemas.

Popper, como se dijo, se declara indeterminista; pienso que su posición se basa en su concentración sobre el determinismo científico y, más que todo, en que en su propuesta está implícita la idea de predictibilidad. Si hay que tomar posición, considero que en cuanto a predictibilidad en el devenir de los sistemas, me declaro, al igual que Popper, indeterminista. Aquí añadiría al análisis de Popper en su refutación al determinismo científico, el emerger de la indeterminación como lo he planteado.

Al contrario de Popper, yo no tomo partida por uno u otro lado de la dicotomía, sino que en mi visión interpretativa está inmersa la idea de complementariedad. Quiero aclarar que al ser la mía una propuesta interpretativa de la realidad, estaría más relacionada con el azar ontológico producto intrínseco de la naturaleza, el mismo con el cual Wagensberg omitió enfrentarse cuando cambió la discusión de 'realidades' a 'actitudes' científicas.

La triada determinista actúa como un todo en sentido holístico (el todo es distinto de la suma de las partes), constituyéndose como la identidad del sistema. Este 'todo' no puede verse como algo estático, la triada determinista es dinámica, evolutiva, histórica; el tiempo, al contrario que en el mundo clásico, tiene una flecha temporal y la evolución de los sistemas está marcada por el desarrollo de procesos irreversibles.

El actuar evolutivo de la identidad de los sistemas como triada determinista, incluye, como se vio, sistemas físico-químicos y sistemas biológicos que están alejados del equilibrio; de no ser así, los primeros estarían inertes y los segundos muertos.

La estructuración de la propuesta dentro de la aproximación termodinámica de Prigogine permite rescatar conceptos como creatividad y pluralidad. Incluidos los dos conceptos en el punto de bifurcación, que es cuando se presentan las nuevas soluciones (alternativas). En este punto es importante destacar que el sistema no es un ente pasivo, sino que en parte (y en sentido metafórico) realiza una "elección" de la alternativa a seguir, porque su identidad, como triada determinista, influye también (junto con la fluctuación) en la solución que prevalecerá.

Es importante recalcar que la propuesta incluye transacciones energéticas, aspectos colocados a un lado en el mundo clásico y en las otras propuestas analizadas. La propuesta reconoce los costos energéticos de la

dinámica evolutiva del sistema y las restricciones en cuanto a alternativas termodinámicamente accesibles.

Soy consciente que los devenires energético (entrópico), histórico y estructural de los sistemas involucran organizaciones jerárquicas y procesos de registros de información. Tanto que, “la destrucción de gradientes al servicio del trabajo es necesariamente un proceso informativo” (Wicken, 1987), y que en la visión de Taborsky (2001), la forma no es otra cosa que energía codificada. Sin embargo, por cuestiones del enfoque del artículo, estos aspectos no fueron analizados a profundidad.

Así pues, queda sentada la propuesta del emerger puntual de la indeterminación en el seno de la triada determinista (estructura, historia y entropía), como un nuevo aporte a la interpretación de la realidad y al entendimiento del devenir evolutivo de los sistemas físico-químicos y biológicos.

AGRADECIMIENTOS

A Eugenio Andrade, Juan Carlos Vega y Hernán Burbano Orjuela por sus sugerencias y lectura crítica del documento.

- 1 La simplicidad se refiere al enfoque adoptado por la ciencia y no a la realidad del mundo que, al contrario, muestra ser complejo.
- 2 Para mayor explicación de la refutación en el sentido fuerte ver Karl Popper, *El universo abierto* pp. 75-78.
- 3 Para leer el argumento físico con mayor profundidad ver Karl Popper, *El universo abierto* pp. 78-85 y Peter Landsberg, "La búsqueda de la certeza en un universo probabilístico", en Wagensberg, J., ed. *Procesos al azar*. pp. 26-29.
- 4 Ver K. Popper, *El universo abierto* pp. 91-100.
- 5 Sobre el teorema de incompletitud, Luis Bolaños parafrasea a Jeremy Campbell: "El descubrimiento de Gödel significa que la lógica, las matemáticas y tal vez otros tipos de conocimiento son más ricos de lo que en cualquier momento se podrá describir y definir exhaustivamente... Por encima de cierto nivel de complejidad, existen límites intrínsecos a un sistema lógico si este es coherente. Siempre habrá afirmaciones ciertas que no podrán mostrarse ni que son ciertas ni que son falsas dentro de los confines del sistema, utilizando sus axiomas y reglas. Salirse del sistema original, ensancharlo añadiéndole nuevos axiomas o reglas podrá hacer demostrable el planteamiento, pero dentro de este más vasto metasisistema habrá otros planteamientos que no podrán demostrarse sin nueva expansión, y así hasta el infinito. Nunca será posible completar perfectamente una cosa". Si se logra la coherencia falla la completitud, y si se consigue es a costa de la coherencia, nada puede ser al mismo tiempo coherente y completo. Ello sugiere que en cada coyuntura histórica existen limitaciones inevitables al conocimiento y generadoras de sorpresas, ya que todo es más rico que su definición. (Bolaños, 2000).
- 6 En *La lógica de la investigación científica*, Karl Popper realiza una crítica al método inductivista. Dentro de su análisis resalta la importancia de un criterio de demarcación entre la ciencia empírica y la metafísica. A Popper no le satisface el criterio de demarcación propuesto por los inductivistas que exige "que todos los enunciados de la ciencia empírica sean susceptibles de una decisión definitiva respecto a su verdad y a su falsedad" (Popper, 1962). Por esta razón, propone a la falsabilidad como criterio de demarcación, en sus propias palabras "sólo admitiré un sistema entre los científicos o empíricos si es susceptible de ser contrastado por la experiencia. Estas consideraciones nos sugieren que el criterio de demarcación que hemos de adoptar no es el de la verificabilidad, sino el de la falsabilidad de los sistemas. Dicho de otro modo, no exigiré que un sistema científico pueda ser seleccionado, de una vez para siempre, en un sentido positivo, pero sí que sea susceptible de selección en un sentido negativo por medio de contrastes o pruebas empíricas: ha de ser posible refutar por la experiencia un sistema científico empírico" (Popper, 1962).
Entonces, existen enunciados falsables y no falsables. Los primeros son científicos y los segundos no. Cuando un enunciado es falsado quiere decir que la experiencia demuestra que existen sucesos a los cuales el enunciado no es aplicable.
- 7 "La calidad de la energía, o su capacidad para producir un trabajo útil, varía. Durante cualquier proceso químico o físico, la capacidad de la energía para producir trabajo se pierde irremisiblemente. La *exergía* es una medida de la capacidad máxima de un sistema energético para producir trabajo útil a medida que procede a equilibrarse con su entorno" (Schneider y Kay, 1999).

BIBLIOGRAFÍA

- Andrade, E. (2000), *Los demonios de Darwin. Semiótica y codificación biológicas*. Bogotá: UNIBIBLOS.
- Andrade, E. (2002), "The organization of nature: semiotic agents as intermediaries between digital and analog informational spaces," *Semiosis, Evolution, Energy Development* 2(1): 56-84. Disponible en internet: <http://www.library.utoronto.ca/see/seed>.
- Bolaños, L. (2000), "Una propuesta metodológica posmoderna: heterogeneidad tecnológica, interculturalidad y defensa de la biodiversidad y los ecosistemas". Disponible en internet: <http://www.geocities.com/Eureka/Office/4595/postmodern.html>
- Bronowski, J. (1979), *El ascenso del hombre*. Bogotá: Fondo Educativo Interamericano.
- Capra, F. (1982), *The Turning Point*. Glasgow: Flamingo.
- Capra, F. (1996), *The Web of Life*. London: Flamingo.
- Gould, S. J. and Lewontin, R. C. (1979), "The spandrels of San Marco and the Panglossian paradigm: a critique of the adaptationist programme," *Proceedings of the Royal Society of London* 205: 581-598.
- Gould, S. J. (2000), "El cuadro de la historia de la vida", en J. Brockman (ed.), *La tercera cultura*. Barcelona: Tusquets, pp. 47-68.
- Landsberg, P. T. (1996), "La búsqueda de la certeza en un universo probabilístico", en J. Wagensberg (ed.), *Procesos al azar*. Barcelona: Tusquets. pp. 19-33.
- Llinás, R. (2001), *I of the Vortex: From Neurons to Self*. Cambridge: MIT Press.
- Ludwig, G. (1996), "Microsistemas, macrosistemas y determinismo", en J. Wagensberg, (ed.), *Procesos al azar*. Barcelona: Tusquets, pp. 41-51.
- Maturana, H. y Mpodozis, J. (1992), "Origen de las especies por medio de la deriva natural o la diversificación de los linajes a través de la conservación y cambios de los fenotipos ontogénicos", *Departamento de Biología, Universidad de Chile, Publicación ocasional* 46:1-48.
- Popper, K. R. (1962), *La lógica de la investigación científica*. Madrid: Tecnos.
- Popper, K. R. (1996), *El universo abierto. Un argumento a favor del indeterminismo. Post Scriptum a La lógica de la investigación científica*. Vol. II. Madrid: Tecnos.
- Prigogine, I. (1997), *¿Tan solo una ilusión? Una exploración del caos al orden*. Barcelona: Tusquets.
- Sagan, C. (1988), *Cosmos*. Barcelona: Planeta.
- Salthé, S. N. (2002), "The natural philosophy of entropy," *Semiosis, Evolution, Energy Development*, 2(3): 29-41. Disponible en internet: <http://www.library.utoronto.ca/see/seed>
- Schneider, E. D. y Kay, J. J. (1999), "Orden a partir del desorden", en M.P. Murphy y A.J. O'Neill (ed.), *La biología del futuro. ¿Qué es la vida? Cincuenta años después*. Barcelona: Tusquets. pp. 221-238.
- Taborsky, E. (2001), "The internal and external semiotic properties of reality," *Semiosis, Evolution, Energy Development* 1(1): 1-17. Disponible en internet: <http://www.library.utoronto.ca/see/seed>
- Van Gogh, V. (1995), *Cartas a Theo*. Bogotá: Norma.
- Wagensberg, J. (1988), *Ideas sobre la complejidad del mundo*. Barcelona: Tusquets.
- Wagensberg, J. (1999), "Complejidad e incertidumbre", *Mundo Científico*, mayo: 41-60.

Wicken, J. (1987), *Evolution, Thermodynamics, and Information: Extending the Darwinian Program*. Citado en Salthe, S. N. (2002), "The natural philosophy of entropy," *Semiosis, Evolution, Energy Development* 2(3): 29-41. Disponible en internet. <http://www.library.utoronto.ca/see/seed>