

Ampliando las fronteras del reduccionismo

Deducción y sistemas no lineales ¹

José Luis Calabrese

I. INTRODUCCION

“Escribir no tiene nada que ver con significar, sino con deslindar, cartografiar, incluso futuros parajes” dice Déleuze en *Rizoma, Mil Mesetas*. Esta versión geométrica del lenguaje que parece eximirnos de cargar el pesado fardo de los significados previos a lo que decimos, nos enfrenta sin embargo, con el difícil problema de las formas y sus múltiples interconexiones. Y Déleuze continúa: *“Las líneas de fuga en el rizoma remiten constantemente unas a otras. Por eso nunca debe presuponerse un dualismo, una dicotomía, ni siquiera bajo la forma rudimentaria de lo bueno y lo malo”*. La naturaleza rizomática contrasta con la de árbol, porque ésta última remite siempre a un origen o raíz de la cual se derivan los demás elementos por dicotomía. *Ni la raíz pivotante ni la raíz dicotómica entienden de multiplicidad*. Y es que no se accede a lo múltiple por un camino de dualidades, ni siquiera por un camino que admita ramificaciones triples, cuádruples..., lo múltiple requiere de la vuelta hacia atrás, de la recurrencia, del retroceso para devolverse por otro camino.

Desde los orígenes del pensamiento filosófico y científico podemos rastrear un *reduccionismo gnoseológico* según el cual en el ejercicio del conocer ordenamos los conceptos por medio de

¹ Este artículo fue presentado en el Segundo Coloquio de Colonia, Uruguay, “Interpretación, hecho, imagen, relato”, en Octubre de 1996.

criterios dicotómicos, como lo bueno y lo malo de la ética o lo verdadero y lo falso de la lógica o la materia y el espíritu de la metafísica. El hombre aprendió que al “separar” se hace una gran economía de recursos, se ahorran esfuerzos para pensar las cosas de este mundo y de todos los mundos que pudiera imaginar, y así, seducido por tan maravilloso descubrimiento, se dedicó a poner límites aquí y allá, y construyó un mundo de “objetos conectados por sucesos”, y separó los objetos entre sí, primero en dos grandes vertientes dicotómicas a las que llamó “materia” y “espíritu”, luego en clases y subclases, y separó el objeto del suceso y así, en un supremo esfuerzo de génesis de todas las cosas, construyó los sustantivos y los verbos del lenguaje, los unos para designar objetos, los otros para designar sucesos, y conectó los unos y los otros mediante relaciones a las que llamó proposiciones lógicas. El objeto es entonces “aquello que no cambia” y el movimiento es “el cambio”, tal como la piedra que cae es siempre piedra en tanto que la caída se interpreta como un suceso, algo que le ocurre a la piedra. En la filosofía clásica hay una línea esencialista, de principios, donde las cosas que pueblan el mundo se derivan unas de otras a través de causalidades claramente establecidas que el intelecto debe descubrir y analizar. Una filosofía de *arké*, ese punto de partida no reductible, tronco fundamental del que se derivan las ramas, y de éstas otras ramas que se ramifican a su vez.

Las ideas de Kuhn introducen elementos nuevos en esta epistemología *arké*-arborescente, al establecer una diferencia entre “ciencia normal” y “revoluciones científicas donde se rompen los paradigmas imperantes”. Sin negar que las rupturas kuhnianas representan un punto de vista interesante para pensar la ciencia, si reemplazamos la geometría arborescente por la rizomática, constatamos que en esta última la discontinuidad está en todas partes y puede haber mini rupturas en cualquier punto. En una tal composición no se necesita hablar de cambios de paradigmas, simplemente porque no hay paradigmas, a menos que denominemos de este modo a regiones de cierta regularidad en que la continuidad reinante da la apariencia de un decurso sin sobresaltos.

La idea de un pensamiento múltiple que no reconoce principio (*arké*) ni finalidad (*telos*), que transcurre sin plan ni rumbo predeterminados, que no tiene zonas especiales a las que haya

que asociar (por ejemplo) con rupturas porque todas las zonas son especiales incluyendo las grietas y las mesetas, es más apropiada al objetivo de este trabajo que es el abordaje del reduccionismo para proponer un *reduccionismo menos reduccionista* en el caso en que seamos capaces de dar sentido a una expresión de apariencia tan contradictoria. Esto indica que reconocemos que pensar es siempre “pensar en algo” puesto que intentar “pensar en todo” conduce al estallido por la insoportable presión de innumerables infinitos, de ahí que el reduccionismo aparece como inevitable o inherente al pensar. Pero también creemos que es deseable (y quizá mostremos que es también posible) ampliar las fronteras del enfoque reduccionista con la esperanza de encontrar un *reduccionismo más potente* que nos muestre nuevos parajes, nuevas líneas de fuga, aquéllas que se muestran más elusivas a la comprensión porque siempre están más allá de todas las fronteras. Creemos y esperamos mostrar en lo que sigue que al tratar con sistemas no lineales desde una perspectiva epistemológica abrimos una ventana sobre la multiplicidad.

II. EL TRIPLETE REDUCCIONISTA: TEORIA, EXPERIENCIA Y MODELO

Proponemos abordar el esquema reduccionista de la ciencia en tres niveles, el de la teoría, el de la experiencia y el de los modelos, formando un triplete de relaciones que trataremos de exponer.

Las teorías científicas implican en su misma formulación un reduccionismo al que llamaremos *reduccionismo teórico o primer reduccionismo* y que se refiere a: (1) la necesidad de crear nuevos conceptos u “objetos teóricos”, y (2) al establecimiento de relaciones entre esos objetos y también con otros objetos teóricos preexistentes. A modo de ejemplos de objetos teóricos y sus teorías correspondientes podemos mencionar la *fuerza y la trayectoria* en la *mecánica de Newton*, el *inconciente* en el *psicoanálisis* o las *especies* en la teoría de la *evolución de Darwin*². Ya se trate del

² Queremos reservar la denominación de “objetos teóricos”, a los objetos de la ciencia, para diferenciarlos de los objetos de la filosofía o los objetos del arte. Sin dejar de considerar los

átomo o del inconsciente, el solo hecho de concebirlos implica un corte que practicamos en el Universo, una “disección reduccionista” mediante la cual aislamos una parte de él, desestimando sus posibles conexiones con el resto, y al hacerlo la transformamos en algo finito para poder abordarla y construir predicados sobre ella.

Alfred Tarski pretende demostrar que se puede trabajar con la idea de verdad objetiva si se la asimila a “concordancia con los hechos”. Sin embargo los hechos experimentales a que acude la ciencia en sus ejercicios de verificación o refutación de teorías, no son sino un remedo de los hechos que se producen en el mundo real. Y es que los “hechos” de que trata la ciencia son “hechos de laboratorio”³, los cuales constituyen una reducción a veces demasiado extrema de los “hechos del mundo real”. A esto le llamaremos *reduccionismo experimental o tercer reduccionismo*.

Pero hay una razón más sutil para dudar de la afirmación de Tarski y es el hecho de que aun cuando se pudiera prescindir del reduccionismo experimental asegurando que las variables que se toman en cuenta para el experimento son “tan próximas como se quiera” a las variables que afectan el hecho equivalente en el mundo real, hay un reduccionismo intermedio entre los dos anteriores al cual denominaremos *reduccionismo modelístico o segundo reduccionismo*. Para aplicar una teoría a un sistema real

innumerables puentes que puede haber entre ellos, parece conveniente (por poner un ejemplo) considerar que las *mónadas* de Leibnitz pertenecen a una clase distinta de la clase a la que pertenece el *átomo* de Bohr. La propuesta de Deleuze y Guattari (*Qu'est ce que c'est la Philosophie*) reserva la denominación de *conceptos* para los objetos de la filosofía, mientras que llama *functores* a los de la ciencia y *perceptos* a los del arte.

³ Aquí hablamos de “laboratorio” en sentido amplio, como el ámbito que permite observar las consecuencias empíricas de los objetos teóricos. Con su habitual pragmatismo Carnap en *Testability and Meaning* expresa que *no hay diferencia entre hechos empíricos y hechos teóricos; sólo hay hechos que son aceptados por todos los expertos en un determinado dominio y otros hechos que suscitan debate*. Gianni Vattimo (*Más Allá de la Interpretación*) va más lejos y sostiene que *no hay hechos, sólo hay interpretaciones*.

y producir consecuencias observacionales no es suficiente con disponer de una formulación consistente y clara sobre las hipótesis generales de la teoría, sean éstas leyes matemáticas o enunciados lingüísticos. Se debe además efectuar *simplificaciones modelísticas* acerca del sistema en sí, sin lo cual, salvo en casos muy simples, no se podría extraer ninguna consecuencia testable. Y esto vale para teorías tan distintas como el psicoanálisis o la mecánica de Newton. Así como bajo la misma teoría psicoanalítica encontramos distintos modelos sobre la mente, el de Freud, el de Klein, el de Lacan o el de Bion, bajo la teoría de Newton “podemos” encontrar diversos modelos lineales y no lineales. ¿Podemos? No. En realidad estamos obligados a desarrollar modelos para poder vincular las teorías con los hechos. ¿Acaso podría alguien vincular directamente algún hecho con la fuerza (Newton) o con el inconsciente (Freud) sin acudir a modelos que nos acerquen las teorías con los hechos? Sólo las teorías de bajo poder explicativo no requieren de modelos ya que son ellas mismas modelos, a veces muy reducidos, que operan a un nivel muy circunscripto. Pertenecen a esta categoría muchas de las teorías descriptivas, como por ejemplo, la teoría del flujo turbulento en tuberías, cuyos enunciados no son sino generalizaciones empíricas de fuerte base inductiva. En cambio las teorías de “fuerte contenido epistemológico”, o sea aquéllas que por su alcance y generalidad son capaces de abrir perforaciones en lo desconocido mostrando nuevos caminos para pensar, son también polos generadores de modelos que emergen de la fuerza creativa originaria y se esparcen en el territorio virgen de las cosas todavía no pensadas, como visagras operativas que vinculan las teorías con sus aplicaciones empíricas.

El no reconocimiento de este reduccionismo lleva a pensar que es posible *reducir las teorías unas a otras ad infinitum o, lo que es lo mismo, que dos teorías se fusionen en una tercera que las contiene a ambas*, y se suele llamar reduccionismo (siendo ésta una acepción del término algo distinta a la que empleamos en este trabajo) al mecanismo por el cual una teoría puede ser expresada en función de los objetos teóricos de otra; en su versión más extrema esta epistemología lleva a creer que es posible por ejemplo reducir la psicología a la biología, ésta a la química, y ésta a la física, y que por último todas las teorías físicas pueden ser reducidas a una única teoría unificada sobre las partículas. Si

bien no negamos la posibilidad de reducir unas teorías a otras en algunos casos, no creemos que esto pueda ser aceptado en general. Veamos.

Sea A una teoría que se pretende reducir a otra teoría B . A menos que se acepte un mundo determinista en su versión fuerte, los objetos a estudiados por A deben haber evolucionado a partir de los objetos b estudiados por B con una cierta probabilidad $p(a|b)$, o sea la probabilidad condicional de que exista a dado que existe b . Un ejemplo es la probabilidad de que existan seres vivos dado que existe un mundo material inanimado. Hay que remarcar que sólo para un determinismo fuerte esa probabilidad puede ser uno, ya que dadas las condiciones iniciales en B y alguna ley de transformación, podría predecirse con exactitud el advenimiento de los objetos a . En un mundo donde el azar juega un rol esencial (y no solamente como la medida de nuestra ignorancia) esas probabilidades deben ser bastante bajas si nos referimos a los objetos que existen realmente. Supongamos ahora que la teoría B se pretende reducir a otra teoría C cuyos objetos son c . Nuevamente los b deben existir gracias a una transformación de los c con una probabilidad también baja $p(b|c)$. Por carácter transitivo la teoría A debe ser reducible a la C con la probabilidad $p(a|c) = p(a|b) \cdot p(b|c)$, la cual es mucho más baja que las probabilidades individuales. Esto muestra que el reduccionismo (en el sentido de reducir teorías de un ámbito a otro), sólo es compatible con una posición que implica un determinismo extremo que dudosamente pueda aplicarse al mundo real. Explicaremos ahora los casos en que sí puede funcionar este reduccionismo; la mecánica de Newton es sin duda reducible a la de Einstein (que opera a un nivel más básico); en tiempos recientes se ha logrado la conjunción del electromagnetismo con la teoría nuclear débil para constituir la nueva teoría electrodinámica; parece también posible que la electrodinámica se fusione con la teoría nuclear fuerte en lo que se conoce como teoría cromodinámica, y hasta es posible que la teoría atómica, la mecánica cuántica y la gravitación sean un día reducidas a una teoría unificada más fundamental. Pero, esto no nos autoriza a afirmar que *toda* teoría será algún día reducida a una única y fundamental teoría de todas las cosas. No tenemos problema en aceptar la reductibilidad de las teorías en el caso en que traten de un mismo objeto teórico (mecánicas de Newton y Einstein) o de objetos teóricos muy próximos (electromagnetis-

mo, electrodinámica y cromodinámica). Esta misma propiedad constituye lo que podríamos denominar *sub-espacios reduccionistas* que representan ámbitos donde las probabilidades condicionales de transformación de unos objetos en otros son elevadas.

III. TEORIAS, MODELOS Y HECHOS EN FISICA Y ECONOMIA

La física lleva ya tres siglos de teorías *reversibles y continuas*. Reversibles porque son simétricas respecto de una reversión en el tiempo ya que no distinguen entre futuro y pasado⁴. Continuas porque predicen sobre objetos teóricos continuos como las *trayectorias*, los *campos* y las *funciones de onda*, que deben estar definidos en todo momento y lugar. Son reversibles y continuas tanto teorías deterministas como las dinámicas de Newton y de Einstein y el electromagnetismo de Maxwell, como la indeterminista mecánica cuántica. El reduccionismo modelístico dominante, que es *lineal, de variables separables e integrables*, facilitó la predicción del futuro y contribuyó a forjar el ideal clásico de que las buenas teorías son aquéllas que permiten anticipar los hechos. Al compás de los éxitos que han acompañado a la ciencia física bajo este reduccionismo, y que van desde la predicción de eclipses y nuevos planetas, hasta el colapso gravitacional, las partículas subatómicas y el mismo big-bang, se va conformando el pensamiento epistemológico y se van sucediendo distintas visiones de mundo. En tal sentido es nuestra impresión que lo fundamental del pensamiento epistemológico que conocemos hoy se ha desarrollado bajo la influencia del reduccionismo modelístico de la física lineal y está impregnado de esa impronta modelística.

El éxito predictivo de la ciencia clásica conduce primeramente a una visión de un mundo positivista y determinista donde la probabilidad es una medida de nuestra “falta de conocimiento”, o sea de lo que nos falta aún por conocer pero que ciertamente un día conoceremos. Esta idea del “azar por ignorancia”⁵, alcanza su

⁴ La única excepción de teoría irreversible es el segundo principio de la termodinámica que postula que los sistemas evolucionan sólo en el sentido en que aumenta su entropía, estableciendo así una flecha en el tiempo que rompe la simetría entre pasado y futuro.

⁵ En su versión extrema, de la mano de Carnap y el Círculo de Viena, el positivismo intenta reducir el pensamiento al pensamiento científico y éste al pensamiento basado en la

máxima expresión en el demonio de Laplace, aquel personaje que conoce las condiciones iniciales de todas las partículas del Universo con infinita precisión y que es capaz de aplicar todas las leyes de la naturaleza para predecir el estado de todas las cosas un segundo después, un siglo después y así durante toda la eternidad, así se trate del momento angular de un electrón o de la quinta sinfonía de Mahler. Imposible no deleitarse ante la sublime belleza de este singular demonio determinista, más aún al pensar que nace como consecuencia de un acto de extrapolación epistemológica de las ideas de Newton, Kepler y Galileo, en todas las direcciones posibles y de manera tan incontenible que se atreve a desafiar todos los límites de la cordura para proponernos un mundo donde el futuro es tan sólo una mera función del hoy.

Con Boltzmann se abre paso un tipo de indeterminismo estadístico-descriptivo que nos conduce al “azar por niveles” y propone que un sistema puede ser determinista en un nivel e indeterminista en otro, tal como el movimiento impredecible de las 6.06×10^{23} moléculas contenidas en un mol de gas dan como resultado una presión y una temperatura bien determinadas: hay pues indeterminación en el nivel molecular (o microscópico) y determinismo en el nivel macroscópico, en una suerte de relatividad que hace depender el conocimiento del mundo del nivel en que lo analizamos.

El indeterminismo cuántico, de la mano de Plank, Heisemberg y Bohr, al establecer el principio de incertidumbre que impide conocer simultáneamente la posición y velocidad de las partículas sub-atómicas, introduce el “azar por esencia” que cambia la visión del mundo en favor de un indeterminismo más fundamental, pero al costo de introducir un nuevo personaje: el famoso y nunca bien comprendido *observador*, nuevo demonio que lleva ya sesenta años de controvertida existencia, y cuya acción puede resumirse en que entre lo virtual y lo real, siempre media un acto de observación. Pero hay que aclarar, en contra de una difundida interpretación subjetivista, que el observador cuántico no crea el hecho observado sino que desencadena un mecanismo que vincula lo virtual con lo real, y que este mecanismo es aleatorio e

inducción, estableciendo que los únicos enunciados que tienen sentido son aquéllos que tratan de elementos que pueden relacionarse con la observación.

independiente del observador. El observador tiene sin embargo un rol activo que nada tiene que ver, como se malinterpreta a veces, con introducir su propia subjetividad, sino con “seleccionar el hecho a observar”; a partir de aquí es el sistema cuántico el que sufre un cambio de estado aleatorio de acuerdo con las leyes sobre la función de ondas (ley de Schrödinger) que gobiernan el proceso. Desde entonces el “azar por esencia” se asocia indisolublemente al fenómeno del conocer y esto se disemina hacia todas las ciencias y también a la filosofía; el hombre ya no puede ignorar que el conocimiento implica azar, tanto en la selección del hecho o fenómeno a observar (o pensar) como en la reacción del sistema ante el acto mismo de la observación (o del pensamiento). Personalmente pensamos que un personaje tan indispensable, de cuya extrapolación epistemológica es posible inferir que nada existiría en este mundo si no es observado, tendrá que desaparecer un día, pero eso sí, el vacío dejado por semejante demonio deberá ser llenado por conceptos de una fuerza equivalente⁶.

En economía, llevamos cincuenta años de reduccionismo modelístico estocástico-gaussiano. Un modelo estocástico (del griego *Stokhos* = dar en el blanco) consiste en la combinación aditiva de dos componentes: una determinista y otra aleatoria de manera que el resultado de sumar las dos es indeterminista, a causa de la componente aleatoria, pero reconoce una tendencia que se manifiesta a través del tiempo gracias a la componente determinista. Esta propiedad de tener una tendencia determinada se utiliza para hacer predicciones de tipo estocástico, es decir, que se proyecta hacia el futuro una banda de probabilidades dentro de la cual, se cree, deberán encontrarse los valores esperados con una alta probabilidad. El valor observado no será exactamente igual al valor predicho sino que diferirá de él en más o en menos, pero se confía que en un conjunto suficientemente grande de predicciones y observaciones, las diferencias negativas compensarán exactamente a las diferencias positivas puesto

⁶ Prigogine sostiene que en su propuesta de reformulación de la teoría cuántica en términos de probabilidad (y no ya en términos de función de onda) el observador desaparece naturalmente dando paso a la irreversibilidad y al caos cuántico. Lo atractivo de su planteo, se complementa con la propuesta de extender la mecánica clásica y la mecánica relativista a los sistemas inestables y caóticos, donde el concepto de trayectoria sería reemplazado por el de probabilidad (*La Fin des Certitudes*, 1996).

que no hay una preferencia de la perturbación aleatoria por “ser superior” ni por “ser inferior” a la componente determinista. Se dice entonces que la componente aleatoria *sigue una ley gaussiana*⁷. Un ejemplo clásico de la economía es la predicción del *consumo de bienes y servicios* de una sociedad en la medida que aumenta su ingreso disponible. La teoría de Keynes permite establecer que cuanto más aumenta el producto bruto de esa sociedad (y en consecuencia más aumenta el ingreso disponible), el consumo, que no es sino una de las componentes de ese producto, también aumentará. Hay entonces una relación funcional estocástica entre el consumo y el producto según la cual $\text{consumo} = \text{función}[\text{producto}] + \text{perturbación aleatoria}$, y a esa relación se la denomina *propensión marginal al consumo*⁸. En relaciones de este tipo se basan los modelos de predicción macroeconómica de una sociedad y también toda una pléyade de modelos de predicción sectoriales entre los que se destacan los modelos de predicción de demanda y oferta de energía de un país o región.

Más recientemente, frente a la evolución del capitalismo en su fase financiera comenzó a aparecer el interés por los *aspectos financieros de la economía*. El mercado financiero también es un ámbito en evolución, y después de una primera etapa de fuerte concentración en pocas manos (principalmente los bancos), fue adquiriendo un perfil de más y más dispersión hasta llegar al momento actual (1996) en que la gran mayoría de las transacciones económicas son realizadas por *fondos impersonales* llamados *portafolios*, de tal manera que el dinero prácticamente no se mueve sino que lo que realmente circula por las redes comunicacionales del mundo son *bytes de información* bajo la forma de órdenes de compra y órdenes de venta.

⁷ Carnap se sentiría parcialmente reivindicado ya que podría afirmarse que un modelo gaussiano, si bien no exige que el mundo es uniforme, sí equivale a suponer que *las no uniformidades del mundo se distribuyen simétricamente* de modo que el apartamiento de la regularidad es indiferente a la dirección en que las irregularidades se producen. Habrá por lo tanto la misma probabilidad de que la irregularidad se produzca “hacia la izquierda, hacia la derecha, hacia arriba o hacia abajo, o hacia cualquier lado”.

⁸ En términos más estrictos, Keynes afirma que la *propensión marginal a consumir*, que es igual a la derivada del logaritmo del consumo respecto del logaritmo del producto, es mayor que cero y menor que uno (John Maynard Keynes, *The General Theory of Employment, Interest and Money*, New York, 1936).

Verdad o mito, el problema de la predicción que desvela al hombre desde tiempos inmemoriales y que lo llevó a concebir ese personaje todo poderoso que fue el demonio de Laplace, el mismo hombre que aprendió a predecir eclipses y encontrar nuevos planetas de la mano de Newton y Galileo, a calcular la amplitud del campo electromagnético de la mano de Maxwell, a predecir el estado de un gas a partir de unas impredecibles moléculas de la mano de Boltzman y Einstein, a aceptar que hay infranqueables límites en la predicción de la mano de Heisemberg, Schroedinger y Plank, a equivocarse en la predicción del esquivo comportamiento macroeconómico de la mano de Keynes y Friedman, ese mismo hombre en fin, intenta la última aventura de la predicción: predecir los precios de los activos financieros que día a día son objeto de innumerables transacciones. Para ello necesitará franquear las fronteras de antiguos reduccionismos y al mismo tiempo construir nuevas fortalezas reduccionistas.

El primer abordaje importante al problema de efectuar predicciones sobre variables financieras parte del modelo estocástico según el cual hay una componente determinista más una componente aleatoria que es gaussiana porque las tensiones que cada operador provoca hacia la suba del precio (al emitir órdenes de compra) son equilibradas por las tensiones hacia la baja provocadas por otros operadores (al emitir órdenes de venta). Además en la medida que los intervalos de tiempo en que se practica el análisis predictivo aumentan, la dispersión entre las tensiones a la baja y las tensiones a la suba es mayor. A partir de estas hipótesis se tienen todos los elementos para plantear modelos matemáticos que relacionan el precio del activo financiero con la tasa de interés del mercado, la rentabilidad esperada y la dispersión o volatilidad observada en ese precio en el pasado reciente. Los trabajos de Ito en 1951 y de Black y Scholes en 1973 dieron una respuesta al inversor que quiere cubrirse frente a las incertidumbres del mercado posicionándose en opciones financieras para armar un portafolio de cobertura “libre de riesgo” en el caso que tan arriesgado concepto tenga sentido. Como quiera que sea el problema de la cobertura o *hedging* en un mundo incierto es el punto central de la ciencia financiera de hoy.

Podemos hacer un paralelo entre los casi trescientos años de reduccionismo modelístico lineal en la física con los cincuenta años de reduccionismo modelístico estocástico-gaussiano en la

economía. Ambos requieren un modelo de mundo donde las cosas suceden con proporcionalidad, de manera que a pequeñas (grandes) causas corresponden pequeños (grandes) efectos. Se admite el indeterminismo y lo inesperado si las teorías así lo requieren, pero siempre manteniendo relaciones de equilibrio entre las partes del sistema. Ambos ofrecen la visión de un mundo predecible, si bien no siempre en forma absoluta, al menos aceptando una incertidumbre controlada, pero siempre un mundo inteligible, separable en objetos que sufren cambios discernibles, donde la razón clásica de Platón, Aristóteles y Kant tiene un rol fundamental para develarnos las leyes y relaciones que vinculan sus partes.

Lo notable es que tanto éxito predictivo fue posible dentro del mismo reduccionismo modelístico en que reinan la linealidad y la separabilidad de causas y efectos. Sin embargo ¡habrá que esperar hasta la teoría del caos para saber por qué no podemos predecir con razonable seguridad si lloverá mañana! Para ello habrá que ampliar las fronteras del reduccionismo modelístico lineal.

IV. AMPLIANDO EL REDUCCIONISMO MODELISTICO: IRRUPCION DE LA NO LINEALIDAD

Hace unos treinta años se comenzó a comprender que los reduccionismos modelísticos que reinaron en la física durante trescientos años y en la economía durante cincuenta años, y que tienen en común la linealidad y la separación causal de las variables, mostraban signos de agotamiento.

Los sistemas caótico-deterministas mantienen el mismo reduccionismo teórico de la física clásica (que es determinista), pero emplean un reduccionismo modelístico no lineal, aunque también determinístico. Esto basta, por ejemplo, para que la trayectoria de un péndulo no lineal muestre una estructura tan extraña que se denomina precisamente *atractor extraño*. Tomaremos, adaptándola un poco, la definición que da de este objeto teórico Charles Ruhla (*L'Horizon des Particules*). *Un atractor extraño es una región del espacio⁹ donde se acumulan pero sin*

⁹ El espacio al que nos referimos aquí no es el ordinario sino el *espacio de fases*, noción introducida por Boltzman para analizar un sistema gaseoso de n moléculas, cada una de las

*tocarse nunca las innumerables trayectorias de un sistema con pocos grados de libertad, que tiene gran sensibilidad a las condiciones iniciales y comportamiento caótico. La estructura mil-hojas (structure feuilleté en la terminología del autor) corresponde a una geometría fractal, tal como si fuera un pastel de hojaldre. Para ciertas condiciones de los parámetros el péndulo siempre termina en el atractor pero es imposible predecir cuál trayectoria seguirá puesto que un cambio en la (digamos) milonésima cifra decimal de la posición o velocidad iniciales puede hacer que siga trayectorias que se apartan infinitamente!*¹⁰. Una estructura fractal se corresponde con un cúmulo de imágenes aparentemente indiscernibles pero que al fijar la atención en un punto, éste se organiza en un patrón que reproduce la totalidad de la estructura tal como un efecto zoom, y este proceso puede repetirse ad infinitum por medio de nuevos zoom dentro de otro zoom (*embeded zoom effects*). Hoy se sabe que el caso del péndulo no lineal es similar a muchos otros sistemas físicos a los cuales les son aplicables las teorías de la física determinista. Obsérvese que en el caso del péndulo siguen siendo válidas las leyes correspondientes a la teoría de Newton, de manera que estamos dentro del mismo reduccionismo teórico imperante en los últimos tres siglos. Lo que ha cambiado sin embargo es el reduccionismo modelístico, o sea la forma de modelar el sistema para poder aplicar esas leyes y se ha encontrado que con modelos no lineales, las teorías deterministas del siglo diecisiete y dieciocho dan resultados impredecibles. Recientes investigaciones muestran que el sistema solar, que fue durante siglos el caso paradigmático de la predicción en la ciencia de Galileo, Newton y Einstein, ¡puede ser un sistema caótico y no puede asegurarse su estabilidad en un tiempo suficientemente prolongado! Todos estos casos en que teorías que resultan en leyes deterministas cuando son aplicadas a sistemas que obedecen a modelos no lineales dan comportamientos impredecibles, se engloban bajo la denominación de *teoría del caos* y para diferenciar de otros casos caóticos, se denomina *caos determinista*.

cuales se identifica por su posición x,y,z en el espacio ordinario y por sus momentos p_x, p_y, p_z .

¹⁰ Esta característica de los sistemas caótico-deterministas se suele denominar “efecto mariposa”.

En economía y en finanzas la onda expansiva de la no linealidad llega en fecha reciente, si bien lo hace con tanta fuerza que hoy día los temas de investigación preferidos tienen que ver con la predicción de series de tiempo bajo condiciones que cuestionan los presupuestos del modelo estocástico-gaussiano. Al respecto, dice Chris Roger en su reciente paper *Stochastic Analysis and Mathematical Finance: se trata de superar el esquema de Black-Scholes que asume que el logaritmo del precio de una acción está modelado por un movimiento browniano de dispersión constante, que la tasa de interés es constante, que los mercados son perfectos y que la acción puede ser comprada y vendida sin costo alguno*. Sabido es que si se observa una serie de tiempo en intervalos anuales, se nota cierta dispersión que se traduce en un gráfico tipo electrocardiograma; si ahora se la observa en intervalos mensuales, las fluctuaciones se hacen más numerosas, y si ahora las observamos en base semanal, diaria, horaria..., aumentan aún más las fluctuaciones. Es como poner un zoom y agrandar los efectos locales al igual que si se observa con un zoom la costa de Gran Bretaña, se descubre una estructura fractal. El punto es ver si esa fractalización puede ser responsable de comportamientos caóticos y, eventualmente, conduciría a descubrir atractores extraños y quizá, a las leyes deterministas subyacentes. Para LeBaron (*Chaos and Nonlinear Forecastability in Economics and Finance, octubre 1994*), la mayoría de los resultados no han sido aún contundentes sobre la presencia de caos en las series económicas y financieras. Hay otros autores que consideran en cambio que ya hay casos concretos de caos estocástico en algunos sistemas económicos y financieros. Como quiera que sea la fractalización de series de tiempo en busca de atractores extraños y comportamiento caótico es uno de los campos más dinámicos de la ciencia económica actual.

Stephen Kellert en *In The Wake Of Chaos* plantea una hipótesis inquietante en el sentido de que los sistemas caóticos no hacen uso del método hipotético-deductivo. En efecto, la presencia de atractores extraños no es una consecuencia deducible de la mecánica de Newton ni de la mecánica de Einstein, ni del electromagnetismo de Maxwell ni de ninguna teoría. Kellert sostiene que aún en principio es imposible deducir rigurosamente el patrón de comportamiento de un sistema caótico a partir de las simples leyes que lo gobiernan. Ni siquiera se pueden ofrecer pruebas

experimentales rigurosas acerca de la hiper-sensibilidad a las condiciones iniciales ni sobre la existencia de los atractores, sino que éstos y otras propiedades pueden aparecer (o no) en el curso de un experimento numérico.

V. CONSECUENCIAS EPISTEMOLOGICAS

Retomemos la apreciación de S. Kellert en el sentido de que el método deductivo tiene poco que ver con el estudio de tales sistemas. ¿Por qué es así?

Desde su mismo nombre, la teoría parece encerrar una contradicción lógica ya que se afirma que un sistema puede ser a la vez caótico (o sea indeterminista) y determinista, con lo cual nos enfrenta ante un esquema que nos obliga a superar la dualidad con que tradicionalmente hemos abordado el problema. Ya no podemos sostener que un sistema es determinista o bien que es indeterminista ¡sino que ambas categorías no se excluyen sino que se interpenetran y combinan dando lugar a posibles comportamientos múltiples! Así, leyes deterministas combinadas con modelos no lineales también perfectamente deterministas conducen a un comportamiento curioso, de manera que para ciertos valores de los parámetros el sistema se comporta en forma determinista con todas las características de regularidad, reversibilidad y predictibilidad propias de esos sistemas, mientras que para otros valores de esos mismos parámetros el sistema puede evolucionar hacia un atractor extraño o hacia una bifurcación¹¹, sin que se pueda precisar en cuál estado final se encontrará, siendo por lo tanto indeterminista. Por otra parte no hay la menor posibilidad de deducir la presencia de atractores o bifurcaciones a partir de las leyes deterministas, sino que al combinar esas leyes con una modelización no lineal, es dicha combinación la que puede o no exhibir comportamiento caótico, pero casi nunca dicho comportamiento resulta de un razonamiento lógico sino de experimentos de exploración numérica sobre un número enormemente grande de cálculos. Los sistemas caóticos no se ajustan al

¹¹ Una bifurcación es un punto en que el estado del sistema puede seguir dos trayectorias distintas para la misma variable causal, o sea que una causa puede tener más de un efecto sin que se pueda anticipar cuál será por el solo uso de la lógica.

método hipotético-deductivo, y no porque el método falle sino porque simplemente no pueden formularse conclusiones que se deriven de las premisas en términos de lógica proposicional. Sólo podemos plantear un modelo y luego dejarnos llevar por los imprevisibles caminos del cálculo numérico mediante computadoras y tratar de interpretar las *imágenes* que aparecen para inferir patrones de comportamiento.

El profundo sentido epistemológico que se deriva del estudio de los sistemas no lineales es que la dicotomía determinismo-indeterminismo es apenas una visión simplificada de un aspecto más complejo del Universo, el cual remite a un concepto múltiple para el cual el lenguaje no parece ofrecer palabras adecuadas; multi-determinismo, multi-indeterminismo, multi-determinismo-indeterminismo, son apenas pálidas nociones para expresar la idea de un sistema que se comporta alternativamente como determinista o como indeterminista según la configuración de parámetros que lo determina.

Y es que la no linealidad introduce un nuevo tipo de indeterminismo al que podríamos denominar “azar múltiple”, tal que el sistema puede comportarse alternativamente como determinista y como indeterminista, de donde surge el comportamiento caótico, o sea algo que puede dar cualquier tipo de comportamiento, incluyendo el determinismo liso y llano, sin que sea posible anticipar por medios lógicos qué resultado se obtendrá. Sólo se puede simular (en computador) una gran cantidad de estados del sistema y a partir de composición de imágenes obtener un patrón que puede contener (o no) caos determinista, caos cuántico o caos estocástico, según el tipo de reduccionismo teórico de las teorías de origen. Tampoco es adecuado decir que en un sistema caótico la predicción es imposible, sino que lo que cambia es el sentido clásico de la predicción; ya no se trata de una *predicción de hechos* que puedan ser testeados con el método experimental sino que es mejor hablar de *predicción de imágenes o patrones*. Siendo el clima un sistema altamente no lineal de fuerte comportamiento caótico, es posible que nunca se pueda predecir el hecho puntual “lloverá mañana”, pero el patrón de comportamiento climático que agrupa un gran número de hechos con distinta probabilidad de ocurrencia sí puede ser objeto de una predicción en la medida en que mejor se conozcan las leyes y modelos termodinámicos que gobiernan la atmósfera. Asimismo, la infor-

mación asimétrica de que disponen los operadores en el mercado financiero introduce perturbaciones no lineales que se apartan del modelo estocástico-gaussiano y debilitan la predicción estocástica clásica. En una reciente comunicación de McCann y Kalman (*A Neural Network Model for the Gold Market, 1994*), los autores informan acerca de un modelo no lineal exitosamente entrenado para predecir el patrón del precio del oro, sobre todo los puntos de cambio de tendencia (*turning points*), que son cruciales para los activos financieros. Como ocurre en otros casos similares y sin que se sepa bien por qué, el modelo se degrada después de tres meses.

VI. AMPLIANDO EL REDUCCIONISMO TEORICO

Lo que llevamos expuesto hasta aquí vale dentro del mismo marco teórico de trescientos años de teorías reversibles y continuas, no sólo para la física y la economía, sino para toda la ciencia, y hemos mostrado que al levantar la barrera de los reduccionismos modelísticos separables, sean éstos lineales y deterministas de la física clásica, o lineales e indeterministas de la física cuántica o estocástico-gaussianos de la física estadística, la economía y las finanzas, aparecen el caos, la impredecibilidad y la fractalización, y se relativiza el método hipotético-deductivo como método científico. ¿Pero qué pasaría ahora si se ampliara ese reduccionismo teórico, o sea si las teorías dejaran de ser reversibles y continuas? Hay por lo menos dos programas de investigación en marcha.

Por un lado tenemos el *Programa de Prigogine* que propone reelaborar todas las teorías en términos estadísticos e irreversibles, que se validen lejos del equilibrio, poniendo de manifiesto la asimetría entre pasado y futuro, renunciando a objetos teóricos tan familiares como las trayectorias y los campos, que serían reemplazados por sus descripciones probabilísticas. En ese esquema la probabilidad se transformaría en algo mucho más esencial que lo que se conoce actualmente como tal, revelándonos fenómenos que serían imposibles ni siquiera de describir al nivel microscópico. Además, promete Prigogine, el observador cuántico desaparece. Pero el tiempo se constituye en una entidad fundamental, y cual reminiscencia de trascendentalismo kantiano,

¡está por encima de todas las teorías ya que debe preceder toda existencia! El big-bang es un “hecho que sucede dentro del tiempo”. *El tiempo precede a la existencia.*

Por otra parte el *Programa de Hawking y Penrose* se empeña en adentrarse en la estructura más íntima del espacio-tiempo buscando sus puntos singulares, precisamente allí donde reinan la inconmensurabilidad y la infinitud, allí donde las mismas leyes de la ciencia colapsan irremediablemente ¡poniendo un límite infranqueable a nuestra comprensión! En este programa el big-bang aparece como “el hecho más singular de todos”, tanto que en él se crearon el espacio y el tiempo. De este modo “el nacimiento del tiempo es un hecho que sucede dentro del big-bang”. *El tiempo procede de la existencia.*

No sabemos cuál de los dos programas será más apto para anticipar la ciencia y la epistemología del futuro, ni siquiera si alguna combinación de ellos o algún programa alternativo logrará mejores resultados. Pero sí creemos que deberemos transitar por parajes hoy inexplorados, y estar preparados para disolver nuestras ideas actuales, incluyendo la presente exposición, en otras interpretaciones, otros hechos, otras imágenes y otros relatos... al igual que las líneas de fuga siempre recurrentes del rizoma.

AMPLIANDO LAS FRONTERAS DEL REDUCCIONISMO

GLOSARIO

Rizoma: Tallo subterráneo que emite raíces y tallos aéreos y que tiene una apariencia compleja. Deleuze lo utiliza como opuesto a la raíz dicotómica, que es aquella que procede por ramificación simple. La raíz rizomática en cambio procede por ramificación múltiple.

Arké: Prefijo que remite al origen o principio como en arquetipo. Doctrinas filosóficas que ponen de relieve los principios fundamentales de los que se derivan las cosas.

Hedging (=Cobertura): Es un término de la moderna ciencia financiera y significa que en un mundo incierto donde la predicción es imposible, la manera de gestionar el riesgo asociado al valor futuro de un activo (real o financiero) es cubriéndose mediante opciones (por ejemplo put, call o sus combinaciones) pagando una prima por esa cobertura.

Fractal: Es un objeto geométrico cuya dimensión es fraccionaria (por ej. $2/3$, $5/8$, 2.09) y que tiene la propiedad de que cualquiera de sus partes tiene la misma estructura que el todo. Un ejemplo de objeto fractal es un árbol: si se observa una pequeña porción de sus ramitas superiores se ve que éstas se ramifican de la misma manera que lo hacen las ramas más grandes y el tronco.

Movimiento Browniano: Es todo movimiento al azar en todas direcciones que tiene la propiedad de que en la medida que transcurre el tiempo se dispersa de manera tal que la desviación respecto de la posición promedio es proporcional a la raíz cuadrada del tiempo transcurrido. Este modelo se ha utilizado para analizar desde los movimientos de las moléculas de un gas hasta las subas y bajas de los precios bursátiles.

Caos Cuántico: Es una extensión del concepto de caos determinista a los sistemas cuánticos. Muchos sistemas clásicos (=no cuánticos) expresados por leyes deterministas exhiben caos (por ejemplo, exhiben hipersensibilidad a las condiciones iniciales) pero sus contrapartes cuánticas no muestran esa propiedad. Por lo tanto no se debería hablar de caos cuántico sino de “mecánica

cuántica de aquellos sistemas clásicos que manifiestan caos”. Como este término resulta un poco largo, se lo ha reemplazado por “caos cuántico”.

Caos Estocástico: Es una extensión del concepto de caos determinista a los sistemas estocásticos (o sea aquéllos que se describen mediante distribuciones de probabilidad). La idea es que la misma probabilidad estaría sujeta a un proceso caótico y por lo tanto no se puede saber si el fenómeno subyacente es probable o improbable y en consecuencia se estaría frente a un cambio de dinámica.

RESUMEN

Identificamos la actitud reduccionista que gobernó la ciencia durante trescientos años en la idea de que “en el separar está el comprender”, y mostramos que esa epistemología funciona bien en tanto se trate de sistemas lineales. La irrupción de la no linealidad conmueve este principio hasta el punto de que el propio método científico basado en la lógica deductiva se vuelve irrelevante, según la tesis de S. Kellert. Discutimos la necesidad de nuevos modelos que superen la vieja dicotomía entre determinismo y azar y mostramos dos programas posibles para abordar la ciencia del futuro, uno en la perspectiva de Prigogine, en que “el tiempo precede a la existencia”, y otro en la de Hawking-Penrose, en que “el tiempo procede de la existencia”.

SUMMARY

We identify the reductionist position prevailing in science for three hundred years with the sentence “splitting is understanding”, and show that such epistemology works as long as linear systems are dealt with. The outburst of non-linearity puts this principle at stake insomuch as the scientific method based on deductive logic becomes irrelevant, as shown by S. Kellert. We discuss the need for new models overcoming the old chance-determinism dichotomy and present two different programs to think of science in the future: the one in the perspective of

Prigogine holding that "time precedes to existence", the other following Hawking-Penrose views whereby "time proceeds from existence".

RESUME

On identifie la position réductionniste qui a régi le domaine de la science pour trois cent ans avec l'idée que "pour comprendre il faut scinder", et on soutient qu'une telle épistémologie ne fonctionne que dans la linéarité. L'irruption de la non-linéarité ébranle ce principe jusqu'au point où la même méthode scientifique basée sur logique déductive reste dépourvue de sens, d'après S. Kellert. On discute sur la nécessité de nouveaux modèles au delà de l'ancienne dichotomie entre déterminisme et hasard et on évoque deux programmes bien différents pour faire face à la science du futur: l'un, dû à Prigogine, prétend que "le temps précède l'existence"; l'autre, dans la perspective de Hawking et Penrose, propose que "le temps procède de l'existence".

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (Laboratorio dell'Immaginario Scientifico SISSA- ISAS). *Caos e Complessità*. Nápoles, Tessere, 1996.
- BAKER, G. L. Y GOLLUB, J. P. *Chaotic Dynamics*. Cambridge, Cambridge University Press, 1990.
- DÉLEUZE G. Y GUATARI F. *¿Qué es la filosofía?* (Traducción de Thomas Kauf.) Barcelona, Ed. Anagrama, 1993.
- GAMBOA DE RIVERO, R. *Exposición Histórica de la Filosofía*. Bogotá, Fundación para la Educación Integral, Mattos Ltda., 1992.
- HAWKING, S. Y PENROSE, R. *Cuestiones Cuánticas y Cosmológicas*. (Traducción de José Moreno, José Luis Rosales y Manuel Sánchez Ron.) Madrid, Editorial Alianza, 1992.
- HAWKING, S. *Inizio del Tempo e Fine della Fisica*. (Traducción del inglés de, Gianna Milano y Daniel Canarutto.) Milán, Arnoldo Mondadori Editore, 1992.
- KELLERT, S. H. *In the Wake of Chaos - Unpredictable Order in Dynamical Systems*. Chicago, University of Chicago Press, 1993.
- KUHN, T.S. *La Estructura de las Revoluciones Científicas*. (Traducción de Agustín Contin.) México, Fondo de Cultura Económica, décima reimpresión, 1993.

AMPLIANDO LAS FRONTERAS DEL REDUCCIONISMO

- POPPER, K. *Conjeturas y Refutaciones -El Desarrollo del Conocimiento Científico*. (Traducción de Néstor Míguez.) Barcelona, Paidós, 1983.
- PRIGOGINE, I. *La Fin des Certitudes-Temps, Chaos et les Lois de la Nature*. París, Ed. Odile Jacob, 1996.
- *Die Gesetze des Chaos*. (Traducido del francés por Friedrich Giese.) Frankfurt, Insel Verlag, 1998.
- RUHLA, CH. *La Physique du Hasard*. París, Liaisons Scientifiques Hachette, 1989.
- STROGATZ, S. H. *Nonlinear Dynamics and Chaos*. Massachussetts, Addison Wesley Publishing Company, 1996.

Descriptores: Ciencia. Epistemología.

José Luis Calabrese
Lafinur 3020, 9°
1425 Buenos Aires
Argentina