

LO APEIRON: VOZ DE GRECIA CLÁSICA EN LA CIENCIA CONTEMPORÁNEA

LO APEIRON: THE CLASSICAL GREECE VOICE IN THE CONTEMPORARY SCIENCE

ROMÁN CASTAÑEDA SEPÚLVEDA¹

Artículo Revisión

Recibido 1-11-2012, aceptado 4-12-2012, versión final 10-12-2012

RESUMEN: Se analiza el paralelo entre *lo apeiron*, designado por Anaximandro como *arche* cósmico y las concepciones sobre el universo derivadas de los desarrollos científicos, particularmente del siglo XX. Este análisis sugiere la vigencia del pensamiento de Anaximandro, quien lo promulgó hace 26 siglos.

PALABRAS CLAVE: apeiron, indeterminación, infinito, multiverso.

ABSTRACT: The parallelism is analysed between *lo apeiron*, proposed as the cosmic *arche* by Anaximander, and the universe conceptions derived from the scientific developments, particularly along the 20th-century. It suggests that the Anaximander's thought is valid at the present, in spite of its promulgation by him 26 centuries ago.

KEYWORDS: apeiron, uncertainty, infinite, multiverse.

1 IONIA

“Amé esa lengua por su flexibilidad de cuerpo bien adiestrado,
su riqueza de vocabulario donde, a cada palabra,
se siente el contacto directo y variado de las realidades,
y porque casi todo lo que los hombres han dicho de mejor
lo han dicho en griego.”
(Yourcenar, 2002)

Jonia está 26 siglos lejos. Fue Grecia recostada desde su litoral oriental hasta el occidental de Anatolia, atravesando el Egeo de isla en isla. Egipto era el imperio y acaso los cantos de Homero ya habían sido escritos; Roma era apenas una promesa en manos de los etruscos, capaces de hacer ciudades con acueductos, empleando herramientas de bronce y de hierro. De ella, sólo pedazos de difusos recuerdos llegaron a nuestras playas: antiguo pueblo indoeuropeo que se estableció en Grecia central durante el 2º milenio AC. Su brillo no sobrevivió al imperio de Roma. Pocos saben ahora cuando su Halicarnaso dejó de ser griega. Los actuales habitantes de Anatolia la llaman Bodrum, vocablo extraño al esplendor helénico que apenas se adivina en lo que queda de la tumba de Mausolo, cantada como una de las siete maravillas de la antigüedad. Su Éfeso, también en Anatolia, albergó otra de esas siete maravillas: el templo de Artemisa. Occidente la recuerda más como enclave de primeros cristianos, seres de actitud visceral y de respuesta vandálica frente a lo que no

¹Escuela de Física, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, A.A. 3840 Medellín, Colombia.
rcastane@unal.edu.co

repitiese lo que creían haberle escuchado a su dios, que por la hermosa visión del cambio de uno de sus hijos más sabios: Heráclito.

Mileto también contempló el Egeo desde Anatolia. Sus maravillas no fueron arquitectónicas: fueron mentes, anteriores a la de Sócrates, preocupadas por *la realidad*, convencidas de que su naturaleza (*arche*) era aprehensible por la razón (*logos*). Espíritus plantados en el origen mismo del pensamiento científico de occidente, comprometidos con la recuperación del mundo para el hombre, por encima de lo divino y de lo sobrenatural. Sorprende que semejante distancia entre esa tierra de Prometeos y nosotros se reduzca casi a nada, desde la perspectiva de la ciencia del conocimiento. Sorprende que el eco fragmentario de sus voces inquietara a nuestros pensadores y hacedores, como si hubiesen hablado ayer, incluso hoy mismo. Nuestros adelantos tecnológicos más complejos y sofisticados confirman el carácter fundamental e inamovible de su cosmogonía y su cosmología, haciéndolos aparecer como productos de circunstancias afortunadas del hacer. Y nos hacen volvernos hacia esas voces porque, a pesar de que haya tomado 26 siglos realizarlos, incluso aunque su florecimiento haya ocurrido prácticamente en el último de esos siglos, ¿no fueron los jonios quienes, con su inderrotable *logos*, intuyeron su naturaleza arquetípica?



Figura 1: Grecia en tiempos de Ionia: 1. Países dóricos, 2. Países jónicos, 3. Países eólicos, 4. Principales rutas terrestres (Fuente: imagen libre en internet).

Jonia está aquí. Con sus preguntas fundamentales, con su dinámica racional, que desarrolla el pensamiento oponiendo conjeturas y refutación, con su humanismo laico. Los milesios no nos dejan olvidar los *arches* cosmogónicos, los elementos arquetípicos, modelos primarios de los entes del universo.

2 REALIDAD Y RACIONALIDAD

*“Es así como yo veo las cosas, como creo que son.
Traten de mejorar mi enseñanza”*

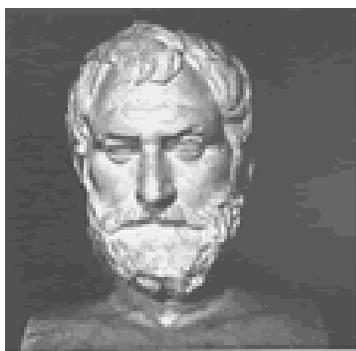
Thales
(Popper, 1979)

Dicen que, de haber existido la escuela filosófica de Mileto, Thales (¿640?-546 AC) fue su fundador, y quizá el primero en responder la pregunta fundamental *¿de qué están hechas las cosas?* desde lo más humano: la razón, motor de la *discusión crítica*, mecanismo por excelencia de perfeccionamiento de las tesis filosóficas. La historia da por cierto que los discípulos de la escuela jónica criticaron a sus maestros, una generación tras otra. ¿Una falta de respeto? ¿Un acto de deslealtad? ¿Una manifestación de desamor? Todo lo contrario, si es que estas categorías tuvieron significado en Jonia: la discusión crítica es un abrazo al hombre en la tierra, dejando a dios en su olimpo; es fruto del compromiso racionalista de que nuestro conocimiento es hipotético, conjetural, nacido del cerebro y no del dogma ni de la revelación. De ahí que sea la discusión crítica el único camino viable para ampliarlo.

¿La observación y la experimentación? Su validez resulta de su utilidad (en términos de argumentos aportados) para la crítica de las teorías. En Jonia, occidente se hace conciente de que el conocimiento avanza oponiendo conjeturas y refutaciones. No duró mucho: dos, tres siglos a lo sumo. Se conjetura que su corta vida se debió al auge de la doctrina aristotélica de la *episteme*, con su conocimiento seguro y demostrable. Pero fue revivida en el Renacimiento, en particular por Galileo Galilei (1564-1642), y su práctica ha llegado hasta nosotros: *“Aquellos pensamientos no venían en una formulación verbal [...] Rara vez pienso en palabras. El pensamiento llega y, sólo después, puedo intentar expresarlo con palabras”* comentó alguna vez Albert Einstein (1879-1955) refiriéndose a sus artículos del año dorado de 1905, en los que “se limitó a argumentar teóricamente la existencia de los *cuantos de luz* por razones estéticas” (Hawking, 2003). Debió mantener esta actitud a lo largo de su vida, porque en el ocaso afirmó: *“... Cuán errados están los teóricos que creen que la teoría ocurre por inducción de la experiencia. Aún el gran Newton no pudo superar este error ... No hay método inductivo que pueda conducir a los conceptos fundamentales de la física”*.

Señalando un camino de independencia más que de rebeldía frente a los dioses y lo sobrenatural, Thales consagró al agua como el *arche* del cosmos, la sustancia arquetípica de aún aquellos entes del entorno, en los que la presencia del agua no es evidente, como las rocas y las arenas del desierto (Popper, 1979):

“La tierra se apoya en el agua, sobre la cual flota como un barco, y cuando decimos que hay un terremoto es porque la tierra es sacudida por el movimiento del agua”



Thales (¿640?-546 AC)



Anaximandro (¿626?-547 AC)



Anaxímenes (¿588?-524 AC)

Figura 2: (Fuente: imágenes libres en internet)

Thales no sólo fue filósofo. También astrónomo y matemático. A pesar de la curiosa coincidencia entre su conjetura de la tierra flotante sobre el agua y la teoría de la deriva de los continentes, actualmente vigente; entre su propuesta del agua como fundamento de todos los seres y la necesidad del agua para albergar la vida que conocemos, establecida por la biología moderna (incluso, los seres vivos albergan altas proporciones de agua en sus organismos); Thales probablemente sea mejor conocido por uno de sus teoremas, que establece proporciones entre lados correspondientes de triángulos rectángulos semejantes. El impacto de este teorema en ciencia y tecnología, a través de los siglos, es irrefutable, comenzando con la medida de la altura de las pirámides faraónicas realizada por Thales con la única ayuda de un bastón (Guedj, 2000).

Jonia sigue aquí. Anaximandro (626?-547 AC) es su segundo sabio, discípulo y pariente de Thales, catorce años más joven. La tradición indica que tuvo una personalidad fascinante: alguien con quien se podría haber charlado durante horas sobre cualquier cosa. Muere poco después del maestro, quien debió conocer su oposición a la idea de un cosmos acuoso (Popper, 1979):

“La tierra... no está sostenida por nada, sino que permanece inmóvil debido a que está a igual distancia de todas las otras cosas. Su forma es... como la de un tambor. Nosotros caminamos sobre una de sus superficies planas, mientras que la otra se encuentra del lado opuesto”

Sin embargo, no hay en las fuentes históricas rastros de discordia, querrela o cisma entre ellos. Esta idea, completamente ajena a hechos de la observación (la referencia al tambor es una analogía, empleada apenas como recurso para facilitar la explicación) es una de las más audaces, revolucionarias y portentosas de la historia del pensamiento: precursora de las teorías de Aristarco, Copérnico y, de alguna manera, también de la teoría de gravitación de Newton (Popper, 1979). Y no porque le faltara el meticuloso arte de la observación, que aprendió muy probablemente de quien se dice fue su maestro. La tradición le atribuye el descubrimiento de la oblicuidad de la eclíptica, la invención de aparatos para determinar horas y estaciones, la construcción de una esfera celeste y el trazo de un mapa-mundi, utilizado por viajeros griegos; incluso, señala de soslayo que creyó en la evolución del hombre a partir de una criatura acuática. Era una especie de Alexander von Humboldt de su época (Bochner, 1966).

¿Reprochó el discípulo al maestro el tipo de *arche* que escogió? De haberlo hecho, no podría considerarse un ejercicio de crítica racional digna de un milesio, sino un mero deseo de competencia. Su discurso crítico tuvo una motivación muy diferente: la estructura misma de la conjetura cosmogónica de Thales. Apelar a un *soporte cosmogónico* tiene dos debilidades: por un lado arriesga una regresión infinita (¿Cuál es el soporte del *Okeanos*, que es el soporte de la tierra? ¿Cuál es el soporte del soporte del *Okeanos*? ¿Cuál...) que impide alcanzar el *arche*, y por otro, la fisura de alguno de los eslabones de la regresión acarrearía el derrumbe de todo el edificio conjetural. Aunque Anaximandro termina proponiendo un *arche* diferente al de su maestro, no llega a él negando el carácter arquetípico del agua, sino planteando una estructura conjetural independiente del concepto de *soporte cosmogónico*. De hecho, idea una conjetura basada en la existencia de simetrías internas del cosmos, y aplica el principio de que donde no hay diferencia no puede haber cambio. Eso lo lleva a imaginar la estabilidad de la tierra como producto de su equidistancia de las otras cosas.

Tal vez la misma crítica de regresión infinita (¿De qué está hecha la tierra? ¿De qué está hecha el agua que forma la tierra? ¿De qué...) lo conduce a su *arche*: la sustancia arquetípica del cosmos es *lo apeiron* (*το απειρον*: lo informe, lo indefinido, lo indeterminado, lo ilimitado, lo infinito. Un arquetipo de naturaleza abstracta, cuya existencia es posible por un ejercicio racional, que le confiere al hombre un papel protagónico para asegurar la existencia plena de la realidad.

La mitología griega nos dice que el hombre, representado en sus dioses, es un indefinible, no por carecer de contenidos sino porque él encierra todos los contenidos.

(Ibarbo, 2003).

¡Osado Prometeo! Su ¿discípulo? Anaxímenes (¿588?-524 AC) retornaría a la objetivación, al menos al sentido común. ¿Crítica a Anaximandro? ¿Temor a los dioses? ¿Nostalgia de Thales? Anaxímemes consagró el *aire* como *arche* cósmico: en su infinitud, el aire genera la realidad por mecanismos de condensación y rarefacción; así, la estabilidad de la tierra se debe a su planitud, que la hace cubrir como una tapa el aire que está debajo de ella; de modo que la tierra está suspendida en el aire como la tapa de una olla lo puede estar sobre el vapor. Anaxímenes es un ecléctico, un sistematizador, un empirista, un hombre del sentido común. De los tres grandes milesios, él fue quien menos ideas nuevas y revolucionarias aportó, el menos dotado filosóficamente (Popper, 1979). Ya no importa. Su respuesta cosmogónica no reviste más interés del que le confiera la historia de la filosofía. Tampoco importan la del mismo Thales ni la de Anaximandro, aunque sea ésta última la que nos ha convocado a reflexionar. Lo que no disminuye en importancia es la pregunta cosmogónica misma; y Jonia parece despertar de su latencia de 26 siglos, para inspirar o, al menos, respaldar con su testimonio, las respuestas de los científicos del siglo 20. Werner Karl Heisenberg (1901-1976) parece hermanarse con Anaximandro, no sólo por su célebre *principio de indeterminación*, que le mereciera el premio Nobel de Física de 1932, sino desde los fundamentos filosóficos de la Física Cuántica (Heisenberg, 1975):

‘Al principio era la simetría’; esto es algo, sin duda, más acertado que la tesis de Demócrito ‘Al principio era la partícula’. Las partículas elementales encarnan las simetrías, son aquellas las representaciones más sencillas de estas, pero, no son más que una consecuencia de las simetrías.

Para ambos, el *arche* es un concepto abstracto, insustancial si se quiere, cuyo origen racional no sólo es evidente: es una condición para asegurar la existencia plena de la realidad. Heisenberg no es el único de los científicos modernos importantes que ve el cosmos desde esta perspectiva. Una de las pocas declaraciones filosóficas aventuradas por Wolfgang Ernst Pauli (1900-1958) (Heisenberg, 1974):

Emergiendo de un centro interior, la psique parece moverse extrovertidamente en los cuerpos del mundo, en los que hay algo automático para realizar todos los acontecimientos de modo que el espíritu influya en este mundo de los cuerpos tranquilamente y vaya produciendo con sus ideas los cambios de este mundo.

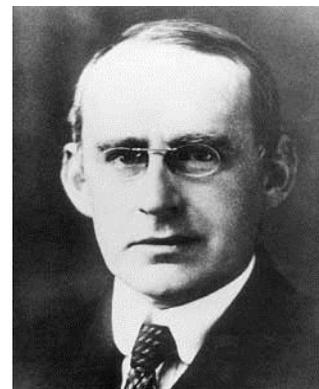
confirma, quizá de manera más poética, la apreciación de Sir Arthur Stanley Eddington (1882-1944) “*The mind has but regained from nature that which the mind has put into nature*” (Eddington, 1959).



Werner Karl Heisenberg (1901-1976)
Premio Nóbel de Física 1932

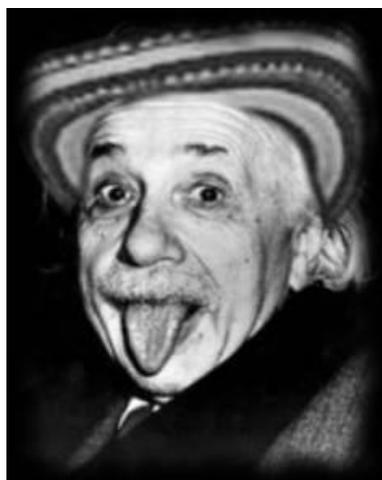


Wolfgang Ernst Pauli (1900-1958)
Premio Nóbel de Física 1945



Sir Arthur Stanley Eddington
(1882-1944)

Figura 3: (Fuente: imágenes libres en internet)



Albert Einstein (1879-1955)
Premio Nóbel de Física 1921



Niels Henrik David Bohr (1885-1962)
Premio Nóbel de Física 1922

Figura 4: (Fuente: imágenes libres en internet)

También la hermenéutica aplicada a los experimentos con los que escrutamos el micro-mundo nos recuerda al célebre milesio, como por ejemplo el de la detección del neutrino: “... *there is little reason to be convinced by this experiment that the neutrino exists apart from the theory and experiments that define it.*” (Adler, 1989). Elevar la *teoría* a la categoría de condición para la existencia de una partícula elemental como el neutrino es involucrar la racionalidad humana como condición para la plena existencia de la naturaleza (De la Torre, 1997):

Elementary particles exist in a context; if the context were to break, their existence would be seriously questioned... A context consists of a specific theoretical structure and specific experimental arrangements... Physical reality is, to some extent, a construct of our own; mathematics is innate to this constructive process; and we construct physical reality so that it complies with mathematics... Mathematics is systematically used in the construction of contexts for physical problems. In this manner, we see that mathematics is essential to the very existence of many elementary particles and, in general, is an indispensable condition of physical reality.

Tal función de las matemáticas está íntimamente relacionada con la noción de *simetría* a la que aludiera Anaximandro, de manera menos elaborada pero no menos precisa que la muy posterior de Heisenberg. Esta concepción es más compleja, sin duda, que la de la realidad objetivable, consagrada en el *realismo natural* de Einstein y colaboradores (Einstein et al, 1935), cuyas raíces surgen del atomismo de Demócrito de Abdera (¿460?-370 AC):

Any serious consideration of a physical theory must take into account the distinction between the objective reality, which is independent of any theory, and the physical concepts with which the theory operates. These concepts are intended to correspond with the objective reality, and by means of these concepts we picture this reality to ourselves... Every element of the physical reality must have a counterpart in the physical theory... The elements of the physical reality cannot be determined by a priori philosophical considerations, but must be found by an appeal to results of experiments and measurements.

Una es la realidad objetivable como una es su verdad. Es importante advertir que el uso de la palabra *picture* como verbo en esta cita precisa el mecanismo de incorporación de la realidad por el sujeto (*to ourselves*): ese mecanismo es visual; la estructura conceptual debe apuntar a una noción de realidad equivalente, o al menos similar, a una percepción visual. Esta advertencia es fundamental para comprender por qué Einstein y colaboradores encuentran razonable el criterio “*If, without in any way disturbing a system, we can predict with certainty (i.e. with probability equal to unity) the value of a physical quantity, then there exists an element of physical reality corresponding to this physical quantity.*” En efecto, la percepción visual permite juzgar una escena sin intervenir en ella, y a través de ese juicio se establecen puentes conceptuales para su comprensión. En este contexto, los experimentos aparecen como maneras depuradas de ver fenómenos físicos que, sin perturbarlos, permiten comprenderlos. En tanto percepción visual, esa comprensión se antoja independiente de formulaciones verbales, como el mismo Einstein lo expresó en una cita anterior. No obstante, no es una expectativa ingenua, esto es desprovista de elementos conceptuales, los cuales le son determinados por la escena vista. Por el contrario, la vista del sujeto expectante está “armada” de conceptos con los que las teorías operan, y así él intenta establecer las correspondencias necesarias para levantar un *icono conceptual* de la escena en su mente. Ello explica la anterior crítica de Einstein al método inductivo.

El *arche* de tal realidad no podría ser *lo apeiron*, pues al ser objetivable debe estar hecha de sustancias arquetípicas determinadas, de comportamiento formalizado. En contraste, la intervención de la racionalidad en la generación de la realidad hace que ésta última dependa del sujeto pensante, confiriéndole una doble indeterminación: por un lado, la inherente a la percepción (y concepción) de la realidad por el sujeto pensante y, por otro, la derivada de la multiplicidad de realidades, fruto del ejercicio racional. Para Anaximandro, nuestro propio mundo es apenas uno de una infinidad sin límites en el espacio y en el tiempo; y en él, los cambios más evidentes – el día y la noche, los vientos y el tiempo atmosférico, las estaciones, el cambio de la siembra a la cosecha y el crecimiento de las plantas, los animales y los hombres – se hallan vinculados con el contraste de temperaturas, con la oposición entre lo caliente y lo frío, entre lo seco y lo húmedo: “Los seres vivos provienen de la humedad evaporada por el sol” (Popper, 1979). Otra vez el ilustre hijo de Jonia está a un paso de nuestra espalda.

Aunque la *Escuela de Copenhague*, dirigida por el célebre Niels Henrik David Bohr (1885-1962) tuvo más similitudes con la escuela pitagórica que con la jónica, sus respuestas cosmogónicas hacen recordar las de Anaximandro (Bohr, 1935):

“From our point of view we now see that the wording of the above mentioned criterion of physical reality proposed by Einstein, Podolsky and Rosen contains an ambiguity as regards the meaning of the expression “without in any way disturbing a system” [...] there is essentially the question of an influence on the very conditions which define the possible types of predictions regarding the future behaviour of the system. [...] Indeed the finite interaction between object and measuring agencies conditioned by the very existence of the quantum of action entails –because of the impossibility of controlling the reaction of the object on the measuring instruments if they are to serve their purpose- the necessity of a final renunciation of the classical idea of causality and a radical revision of our attitude towards the problem of the physical reality [...] Indeed we have in each experimental arrangement suited for the study of proper quantum phenomena not merely to do with an ignorance of the value of certain physical quantities, but with the impossibility of defining these quantities in an unambiguous way.”

Su diferencia fundamental con el realismo natural es la sentencia “*without in any way disturbing a system*”, premisa básica del criterio de realidad física de Einstein y colaboradores, la cual es consistente con la acepción de la palabra *picture* como mecanismo de incorporación de la noción de realidad, en términos de iconos conceptuales de fenómenos vistos sin perturbarlos. No basta con “ver”: es absolutamente necesario “tocar”, y con ello es inevitable “perturbar el sistema”. Bohr no lo expresa con un verbo sino con la frase sustantiva “*interaction between object and measuring agencies*”. Más aún, el resultado de ese *tacto* es inherentemente indeterminado, porque está condicionado por la existencia probada del *quantum* de acción, fundamento del *principio de indeterminación* de Heisenberg. Es audible el eco de Jonia, de la voz de Anaximandro nombrando el *arche* del cosmos con un sustantivo neutro, nominador de todo lo real: *lo apeiron*.

3 LO APEIRON

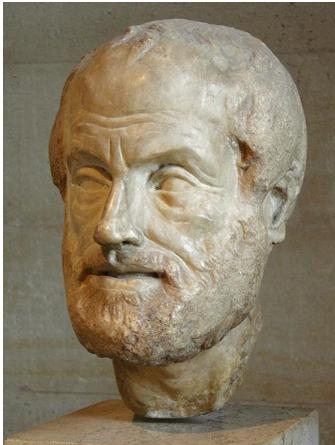
A diferencia de los *arche* de ¿su maestro? Thales (el agua) y de ¿su discípulo? Anaxímenes (el aire), *lo apeiron* no parece ser una sustancia exterior al ser humano y perceptible por los sentidos, sino un principio racional y abstracto, del cual, sin embargo, devienen los *gónimos*, puntos de origen de los atributos opuestos de la realidad (cálido/frío, húmedo/seco, etc), cuya dinámica da origen al cosmos (Popper, 1979):

“Los seres vivos provienen de la humedad evaporada por el sol. De lo caliente y lo frío surgen los vapores y vientos del cambio en el cosmos”

Los referentes actuales de *lo apeiron* son conceptos de difícil comprensión y significados, en cierta medida, disímiles: lo informe, lo ilimitado, lo infinito, lo indeterminado, lo indefinido. La dificultad en estos referentes comienza en el hecho de que no señalan lo que *lo apeiron* ha de ser, sino lo que de plano no puede ser: sea lo que fuere no tendrá forma ni límites fundamentales, no será finito y no tendrá atributos determinables o definibles. Tal vez porque, en potencia, *lo apeiron* habrá de reunir todas las formas posibles, todos los límites imaginables, todas las extensiones y todas las cualidades presentes en el universo. En efecto, *lo apeiron* deberá ser siempre idéntico a sí mismo, aun cuando de su movimiento y su dinámica aparezcan los contornos que delimitan y las formas que diferencian “porque el crecimiento y la decadencia ocurren por necesidad, en pago y retribución de injusticias inusuales estimadas por el tiempo” (Bochner, 1966).

Y fue esta naturaleza la que llamó la atención de Aristóteles (384-322 AC) unos siglos después. El filósofo se le acerca, con la cautela que despiertan las ideas de naturaleza oscura. Aristóteles intentó aclararla, señalando *lo apeiron* como predecesor de la idea físico-ontológica de *infinitud*: ¿Sería su quinto *arche* cósmico, el incommensurable que todo lo abraza, el *éter*, una primera manifestación física de *lo apeiron*? No se convenció. ¿Desconfió de la sombra racional de *lo apeiron*, de la necesaria presencia del hombre para asegurar plenamente la existencia de la realidad? Teofrasto de Ereso (372-287 AC), su discípulo y “heredero” en la *Escuela Peripatética*, erudito con fama de intelectual y hombre de mundo, disculpó a Anaximandro por su costumbre de expresarse poéticamente y con modos pintorescos. A pesar de esto, inventó máximas intercalando frases suyas con las del gran milesio.

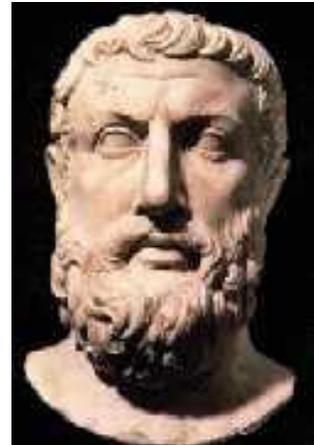
Lo que parece claro es que, si el milesio alguna vez elaboró una teoría sobre *lo apeiron*, ésta no llegó como tal a Aristóteles, y menos trascendió hasta nosotros. De Jonia, sólo ecos de una palabra ¡Y el vacío de significados y de usos hace tan atractiva la especulación! Permitámonos la licencia de acercarnos a Anaximandro a nosotros mirando a Jonia desde hitos de la Física no imaginados por Aristóteles. Sin duda sólo haremos conjeturas, pero ¿no fue acaso enseñanza de los milesios usar a plenitud esta facultad?



Aristóteles (384-322 AC)

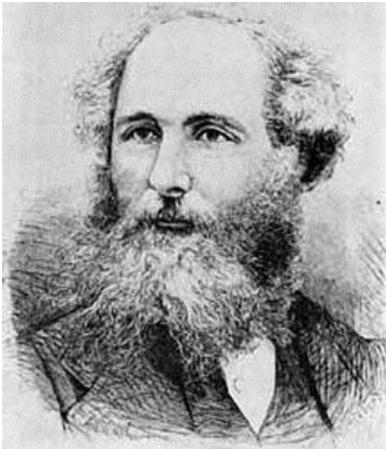


Teofrasto de Ereso (372-287 AC)



Parménides de Elea (¿540? - ¿? AC)

Figura 5: (Fuente: imágenes libres en internet)



James Clerk Maxwell (1831-1879)



Jules Henri Poincaré (1854-1912)



Heinrich Rudolph Hertz (1857-1894)

Figura 6: (Fuente: imágenes libres en internet)

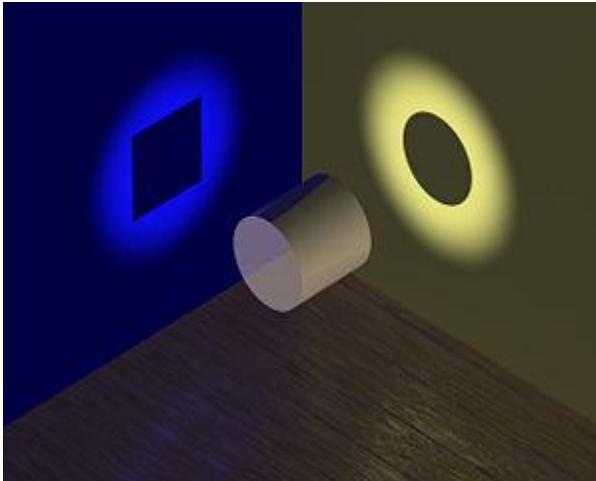
El primero fue resultado de la convicción de James Clerk Maxwell (1831-1879) de que los atributos electromagnéticos del cosmos debían cumplir una simetría matemática que no se reflejaba en las leyes del electromagnetismo. La formalización matemática de esa simetría lo condujo a predecir la existencia física de ondas electromagnéticas, que imaginó como

“una ondulación transversal del mismo medio que produce la electricidad y el magnetismo”

Ondas del *éter luminífero*. Su poema final, escrito en 1865, tiene cuatro versos líricos; no los vio convertirse en épicos cuando Heinrich Rudolph Hertz (1857-1894) descubrió las ondulaciones del éter luminífero en 1888. Sin embargo, todos sus contemporáneos creyeron en la existencia de ese

medio fino, continuo e incommensurable, que todo lo llena; y se negaron hasta el final a desecharlo
 ¿Reminiscencia del éter aristotélico? ¿de *lo apeiron* de Anaximandro?

Poco antes de morir, Maxwell propuso una manera de averiguar la velocidad del sistema solar respecto al éter luminífero y determinar el *movimiento absoluto*. Tampoco conocería los resultados. En 1881, Albert Abraham Michelson (1852-1931), realizó su propuesta. Obtuvo que la tierra se mantenía estacionaria con respecto al éter: la velocidad de la luz no sufría perturbaciones debidas a la presencia del éter luminífero. Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928) se resistió: señaló errores de cálculo. En 1887, junto con Edward William Morley (1838-1923), Michelson fue más cuidadoso: el experimento de interferencia luminosa, realizado con un dispositivo ideado por él, confirmó el resultado. Tomó tiempo aceptarlo. En 1900, Jules Henri Poincarè (1854-1912) señaló por primera vez: “¿Nuestro éter realmente existe? Yo no creo que observaciones más precisas nos puedan revelar algo más que desplazamientos relativos”.



Representación conceptual de la dualidad onda-partícula



Príncipe Louis Victor Pierre Raymond
 7º Duque de Broglie (1892-1987)
 Premio Nóbel de Física de 1929

Figura 7: (Fuente: imágenes libres en internet)

Pero la voz definitiva se levantó en 1905. No fue la de Poincarè. A los 26 años no tenía el aura de los sabios, ni siquiera disponía de estrado o claustro. Pocos escucharon, pero escucharon los precisos. El espíritu de Demócrito habló a través de ella:

“La introducción de un “éter luminífero” resultará ser superflua, puesto que el punto de vista que habrá de desarrollarse aquí no necesitará un “espacio estacionario absoluto” [...] “La luz siempre se propaga en el espacio con una velocidad definida c , la cual es independiente del estado de movimiento del cuerpo emisor”

Y después, que la luz estaba hecha de partículas inmateriales que chocaban contra la materia como si fuesen bolas de billar. Su nombre: Albert Einstein. Sus corpúsculos fueron medidos y sus colisiones con cuerpos materiales, registradas con aparatos. A pesar del triunfo, reconoció la

grandeza de Maxwell que creía en el éter luminífero y construyó la belleza de la Electrodinámica exigiendo el cumplimiento de una simetría matemática. Aunque las barreras de la historia sean infranqueables, imaginemos con deleite que ese reconocimiento es la venia del espíritu de Demócrito al de Anaximandro, y a través de él, al de Parménides (¿540? - ¿? AC), fundador de la *Escuela de Elea*, casi contemporáneo de Anaximandro, y quien dijera en su poema: “El Pensamiento y el Ser se refieren a la misma cosa”. *Lo apeiron* no nos abandona. Y tal vez regrese con fuerza en la idea de un éter gravitacional necesario para explicar la densidad de masa cósmica y la evolución del universo. Tal vez.

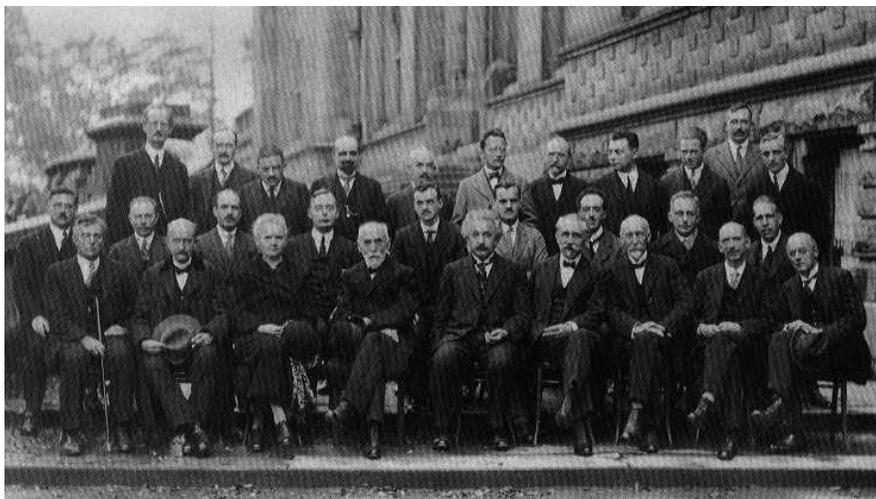


Figura 8: 5º Conferencia Solvay, Octubre de 1927 (Fuente: imágenes libres en internet)

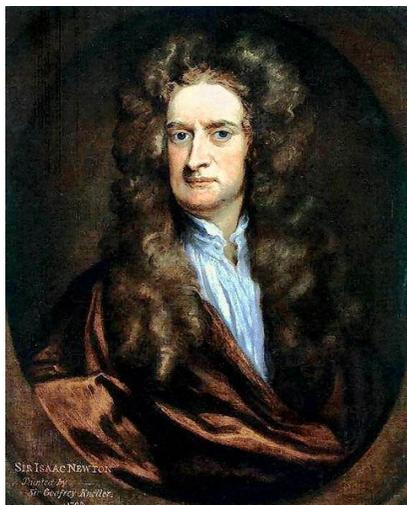
Exploremos el segundo hito persistiendo en el encanto de la especulación, sin olvidar que lo que digamos no estuvo en boca de Anaximandro: son medidas atrevidas de nuestros conceptos empleando el metro de *lo apeiron*, como suponemos que Anaximandro quiso definirlo. 1924, el Príncipe Louis Victor Pierre Raymond 7º Duque de Broglie (1892-1987) culminó su tesis doctoral *Recherches sur la théorie des quanta* (Investigaciones sobre la teoría de los *quanta*), tras la búsqueda de una simetría, pero ahora en el comportamiento de entes físicos: si se había demostrado que los rayos X podían comportarse como corpúsculos y también como ondas, las partículas materiales, los electrones por ejemplo, debían también presentar ese mismo comportamiento dual. Su resultado fue tomado con escepticismo, pero el aporte de proporcionar un principio axiomático del que se deducía con elegancia la ley de las órbitas atómicas que Bohr había postulado, lo hizo muy atractivo. De hecho, Einstein expresó “*I believe that it involves more than a mere analogy*” luego de leer la disertación del príncipe Louis Victor. Unos meses antes Einstein confirmó definitivamente su apreciación de que el comportamiento de la radiación electromagnética era dual, al leer un trabajo inédito de Satyendra Nath Bose (1894-1974), en el que deducía la fórmula de radiación de Planck aludiendo a la radiación contenida en una cavidad en términos de corpúsculos que configuran un gas bajo una ley estadística específica. Einstein tradujo el trabajo al alemán y recomendó su publicación a la prestigiosa revista *Zeitschrift für Physik*. Dicha ley estadística se

conoce en la actualidad como *estadística de Bose-Einstein*. Aunque faltaba una década para su artículo de 1935 con Podolsky y Rosen, los trabajos de Bose y de Broglie tuvieron para Einstein un valor de realidad que tal vez no le proporcionó el resultado del experimento de dispersión de rayos X por electrones, realizado en 1923 por Arthur Holly Compton (1892-1962), en el que los rayos X, cuya difracción ondulatoria había sido reportada como resultado experimental por Max Theodor Felix von Laue (1879-1960) hacia 1912, se comportaban como partículas. El *efecto Compton* mereció el premio Nóbel de Física de 1927. Durante la 5ª Conferencia Solvay (Octubre de 1927), Einstein comentó que de Broglie estaba en el camino correcto para la construcción de una interpretación adecuada de la Física Cuántica “Ha levantado una punta del gran velo” dijo. La existencia física de las ondas de materia de De Broglie fue demostrada en 1927, en experimentos independientes de difracción de electrones, por Clinton Joseph Davisson (1881-1958) y George Paget Thomson (1892-1975), quienes por tal motivo compartieron el premio Nóbel de física de 1937.

Esta simetría, llamada *dualidad onda-partícula*, develada por el ejercicio de la razón que mira experimentos es una manifestación de lo indeterminado del comportamiento de los entes del microcosmos, base fundamental del universo. *Lo apeiron* de Anaximandro aparece en la sustancia misma del cosmos. En efecto, en este contexto los términos onda y partícula son empleados para designar estados de un mismo ente, a los que se accede por causa de agentes externos (medio, instrumentos de medida, mecanismos de observación), pero los atributos asociados a dichos términos no sólo son disímiles entre sí sino excluyentes. *Onda* se refiere al movimiento oscilatorio puro (un fenómeno esencialmente inmaterial aunque implique oscilación de medios materiales) que se propaga en regiones extendidas del espacio, donde se superpone a otras ondas que se encuentren oscilando allí, dando lugar a una onda resultante, cuya estructura está determinada por el patrón de interferencia de las ondas superpuestas; además, antes de ingresar a la región de superposición, cada onda se propaga igual a como lo hará después de abandonarla. Por su parte, *partícula* aduce a entes materiales, tan pequeños como corpúsculos subatómicos o tan grandes como estrellas, en todo caso representables por puntos (en el sentido matemático), que se desplazan a lo largo de trayectorias específicas, cumpliendo un *principio de exclusión*: dos o más partículas no pueden ocupar simultáneamente la misma posición en el espacio, de modo que si se encuentran, colisionarán de manera inevitable, lo que cambiará su manera de moverse. Resumiendo, las partículas son entes localizables, numerables e impenetrables, mientras que las ondas son todo lo contrario. Por lo tanto, reunir ambos conjuntos de atributos en un mismo fenómeno nos aproxima, desde una perspectiva contemporánea a *lo apeiron* de Anaximandro, enunciado a veces de manera demasiado escueta: “*la dualidad onda-partícula es un concepto de la mecánica cuántica según el cual no hay diferencias fundamentales entre partículas y ondas: las partículas pueden comportarse como ondas y viceversa.*” (Hawking, 2001).

Para indagar en un tercer hito, tomemos *lo apeiron* en su noción de *lo indeterminado*, manteniendo el contexto de las ciencias naturales al que, según el susurro que nos llega, hubo de dedicarse el milesio. Por esa razón, miremos el rol de *lo indeterminado* en física antes que en matemáticas, y su extensión a los sistemas complejos, como son los biológicos. 1726. Sir Isaac Newton (1642-1727) enuncia las *Regulae Philosophandi* (Reglas de Filosofía) en el libro III de su *Philosophiae naturalis principia mathematica* (Principios matemáticos de Filosofía Natural) (Blanché, 1972):

- No se deben admitir otras causas que las necesarias para explicar los fenómenos.
- Los efectos del mismo género deben siempre ser atribuidos, en la medida en que sea posible, a la misma causa.
- Las cualidades de los cuerpos que no son susceptibles de aumento ni disminución y que pertenecen a todos los cuerpos sobre los cuales se pueden hacer experimentos, deben ser miradas como pertenecientes a todos los cuerpos en general.
- En la filosofía experimental, las proposiciones sacadas por inducción de los fenómenos deben ser miradas, a pesar de las hipótesis contrarias, como exacta o aproximadamente verdaderas, hasta que algunos otros fenómenos las confirmen enteramente o hagan ver que están sujetas a excepciones.



Sir Isaac Newton (1642-1727)



Pierre Simon conde Laplace (1749-1827)

Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947)
premio Nóbel de Física 1918

Figura 9: (Fuente: imágenes libres en internet)

Desde entonces, los físicos fueron rigurosos, casi hasta el fanatismo, en la aplicación de estas reglas, no sólo para desarrollar su ciencia sino para excluir de ella a las reflexiones que no las siguieran, tildándolas de no-científicas. El principio de causalidad, expresado en ellas, no da lugar a incertidumbre, y su mecanismo de verificación y validación experimental no da cabida a indeterminaciones. De hecho, Pierre Simon conde de Laplace (1749-1827), de quien Jean Baptiste Joseph barón de Fourier (1768-1830) dijera: "*nació para profundizar y perfeccionarlo todo (...) hubiera acabado con la ciencia del cielo si esta ciencia pudiera ser acabada*", formuló el siguiente principio de *Determinismo Físico* (Laplace, 1819):

"Podemos mirar el estado presente del universo como el efecto del pasado y la causa de su futuro. Se podría condensar un intelecto que, en cualquier momento dado, conociera todas las fuerzas que animan la naturaleza y las posiciones de los seres que la componen. Si este intelecto fuera lo suficientemente vasto para someter los datos al análisis, los podría condensar en una simple fórmula de movimiento de los grandes cuerpos del universo y del átomo más ligero. Para tal intelecto nada podría ser incierto, y el futuro así como el pasado estarían frente sus ojos"

En lugar de referir este *intelecto* como el del Gran Arquitecto Universal, al que tal vez Laplace reverenció, la historia lo denominó irónicamente el *demonio de Laplace*, y Heisenberg simplemente lo omite, al reducir la anterior cita a una sentencia lacónica (Heisenberg, 1975): "*Si la posición y el*

impulso de una partícula en un momento dado y todas las fuerzas que actúan sobre ella son conocidas, entonces su movimiento para todo instante pasado y futuro podrá ser conocido a través de las ecuaciones de la mecánica”.

Es comprensible: en la Física no hay cabida para divinidades, como lo profesaron también los milesios. No sólo porque todos los géneros divinos no son más que criaturas del hombre, sino porque los descubrimientos de la Física Moderna, especialmente la Física Cuántica y el principio de indeterminación prueban que la existencia de el *vasto intelecto*, al que se refiere Laplace, es en principio imposible.

Tampoco *lo apeiron* tuvo cabida en el *Realismo Natural*, uno de cuyos órganos vitales es, precisamente, el *Determinismo Físico*. Sin embargo, este dique comenzó a romperse un siglo después a punta de historias eventuales: el concepto de *quanta* de energía, introducido en 1900 por Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947) para dar cuenta del espectro de radiación del cuerpo negro, y merecer así el premio Nóbel de física de 1918; la explicación del efecto fotoeléctrico por Einstein en 1905, aplicando las ideas de Planck, por la que obtuvo el premio Nóbel de Física de 1921; el efecto Compton y las ondas de materia; desde entonces, la luz ha sido un efluvio de *quanta* de energía, como tal vez lo hubiera querido Newton, como tal vez lo soñó Demócrito de Abdera; hasta la masa gravitacional se hizo atributo de la luz, como lo propuso Einstein en 1915-16 con su famosa fórmula relativística, cuya evidencia experimental fue reportada en 1919 por Sir Arthur Stanley Eddington, como resultado de las observaciones astronómicas durante un eclipse total de sol. Estas historias parecen atravesadas por un *arche* cósmico informe, en tanto la forma no es sustancial sino eventual, ilimitado puesto que es sustancia de todo lo posible en el cosmos, indefinido en principio, pues lo que admite definición son sus manifestaciones. ¿*lo apeiron* como naturaleza física del cosmos?

El golpe al *Determinismo Físico* de Laplace ocurrió en 1927. Werner Karl Heisenberg afirma que es un principio de la naturaleza la imposibilidad de determinar con precisión absoluta las condiciones que aseguran el determinismo de Laplace. En palabras de Einstein, Podolsky y Rosen (Einstein et al, 1935): “*In quantum mechanics in the case of two physical quantities described by non-commuting operators, the knowledge of one precludes the knowledge of the other.*” Este comportamiento indeterminado, develado también por un puro ejercicio racional, fue criticado en ese artículo: “*Then either (1) the description of reality given by the wave function in quantum mechanics is not complete or (2) these two quantities cannot have simultaneous reality*”, crítica respondida por Bohr (Bohr, 1935): “*... there is essentially the question of an influence on the very conditions which define the possible types of predictions regarding the future behaviour of the system[...] Indeed the finite interaction between object and measuring agencies conditioned by the very existence of the quantum of action entails [...] the necessity of a final renunciation of the classical idea of causality and a radical revision of our attitude towards the problem of the physical reality*”. El *Principio de Indeterminación de Heisenberg* ha sido confirmado una y otra vez por los experimentos y ha debido ser tenido en cuenta en los desarrollos tecnológicos del siglo XX. De hecho, Max Ernst Born (1882-1970) propuso que la piedra angular que formaliza la descripción física de los entes cuánticos, la *función de onda* sólo informa sobre la probabilidad de su comportamiento, la cual además cambia en el momento de la medición *a causa del acto de medir*. Por esa interpretación (también de orden racional), Born recibió el premio Nóbel de física de 1954.

La pesadumbre de Einstein es atávica, muy similar quizá a la que pudo causar el insigne milesio cuando proclamó *lo apeiron* como *arche* del cosmos: la indeterminación causa una conmoción epistemológica, que en los científicos alcanza dimensiones espirituales: "*All my attempts to adapt the theoretical foundations of physics to this knowledge failed completely. It was as if the ground had been pulled out from under one, with no firm foundation to be seen anywhere upon which one could have built*" puntualizó Einstein. Por su parte, Erwin Rudolf Josef Alexander Schrödinger (1887-1961) no renunció a su jocosa ironía. Dos años después de recibir su premio Nóbel de física (1933) publicó un ensayo en tres partes, titulado *The present situation in quantum mechanics*, en el cual plasmó una burla famosa al indeterminismo: *La paradoja del Gato*. La idea de la parodia es simple y consta de los siguientes elementos: (i) una partícula cuántica que puede optar, con igual probabilidad, por uno de dos comportamientos posibles pero excluyentes, (ii) un "aparato de medida" que registre el comportamiento de la partícula y (iii) un "observador consciente" que constata la medida realizada por el aparato.

Schrödinger suspendió la espada de Damocles sobre la *Escuela de Copenhague* al plantear las preguntas: ¿qué pasa con el aparato de medida antes de que el observador consciente constata su resultado? ¿Flotará indeciso sobre los estados excluyentes que debió medir? Para justificarlas propuso el siguiente "dispositivo diabólico", que ha sido descrito en configuraciones más simples o más refinadas con el paso del tiempo (Gribbin, 1995): *Encerrar un gato en una caja sin ventanas, junto con una fuente radiactiva débil y un detector de partículas radiactivas que comandara un dispositivo letal para el gato. La fuente se activaría sólo durante un minuto, tiempo necesario para que pudiera o no emitir una partícula con igual probabilidad. Pasado este tiempo, la fuente se apagaría*. Obviamente, como la caja está cerrada, no es posible saber si el gato continúa vivo o murió a consecuencia de la emisión de la partícula. Pero, la *Interpretación de Copenhague* va más allá: la determinación del estado del gato no está limitada por el hecho de que la caja esté cerrada, sino por la presencia de un *observador consciente externo* que la abra y mire adentro. En ese momento y sólo en ese momento, el gato morirá por acción del dispositivo letal o continuará viviendo.

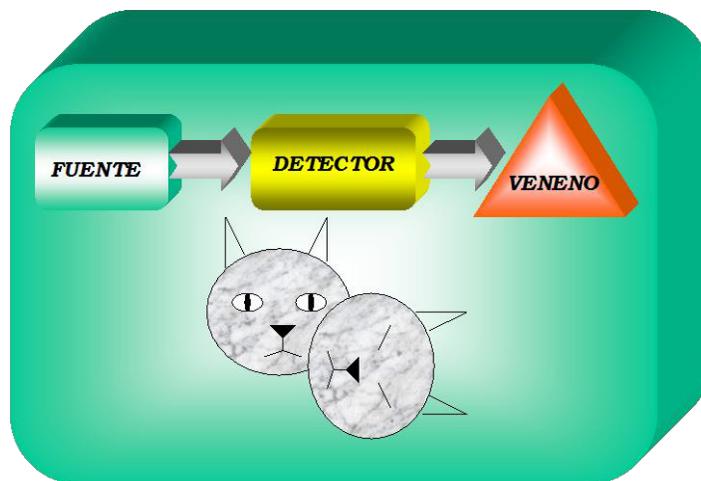


Figura 10: Dispositivo diabólico propuesto por Schrödinger (Fuente: realización propia)

Esta interpretación tiene dos peculiaridades, puestas en evidencia por la irónica parodia de Schrödinger: (i) La suspensión del gato entre sus estados de vida o muerte (entrelazamiento de estados excluyentes) antes de la constatación: ¿otro tipo de indeterminación? (ii) La necesidad de conciencia, ligada a la procedencia exterior del observador que constata finalmente el estado del gato. A pesar de la deliciosa mezcla entre lo pintoresco y lo agudo de la crítica de Schrödinger, el entrelazamiento de estados ha sido corroborado experimentalmente, incluso, en las llamadas *interacciones no-locales*, criticadas como predicciones no-físicas por Einstein. Ni Albert ni Erwin vivieron para verlo: la tecnología requerida apenas fue alcanzada en la década de 1970.

La solución a la paradoja del gato fue tan inesperada como la paradoja misma, aunque reafirmó *lo apeiron* como *arche* cósmico. En su tesis doctoral (1957), Hugh Everett III propuso lo que hoy se conoce como la interpretación de los Múltiples Universos (*the many-world interpretation*) o del Universo Enramado (*the branching-universe interpretation*). Su fundamento es muy simple: cada vez que se intenta hacer una medida disyuntiva, el universo se divide en dos copias exactas, en un proceso de *bifurcación* análogo a la meiosis de las amebas. Así, habrá un universo disponible para la ocurrencia de cada una de las dos partes de la disyunción.

Surge entonces una pregunta crucial: ¿cómo es posible que no advirtamos dicha estructura de árbol? La respuesta se basa en el principio de *Incompatibilidad Cuántica*, propuesto por Robert Griffiths (Carnegie-Mellon University) y Roland Omnès (Universidad de París XI): "*Once a split has occurred, the two branches have no way of being aware of each other.*" En otras palabras, cada que se realice una medición cuántica, el universo adquiere tantas ramas cuántos posibles resultados tenga la medición. En cada una de las ramas habrá un observador registrando la medida correspondiente, sin enterarse de que hay otros observadores, en las demás ramas, haciendo lo mismo. En consecuencia, cada observador estará convencido que su medición y su universo particular es lo único que existe. Como señaló el físico Paul Davies, *lo apeiron* de Anaximandro, formalizada al estilo del siglo 20 es "*cheap in assumptions, but expensive on universes!*" (Gribbin, 1995).

¿Cuántas ramas podría tener el árbol del cosmos? Si tomamos el momento del *Big-Bang*, con sus 10^{80} partículas cuánticas observables, como punto de partida, y aceptamos una división cada segundo en los 10^{10} años que han transcurrido desde el *Big-Bang*, tendríamos hoy la nada despreciable cantidad de $10^{10^{12}}$ universos rama. Un conjunto de realidades más extenso que cualquiera de nuestras selvas tropicales húmedas. Si Anaximandro hubiera sospechado semejante cifra, tal vez hubiera sonreído: ¡*lo apeiron* es en verdad incierto e infinito!

Pero, ¿dónde se encuentran estos universos? ¡Aquí y Ahora! (*now here*) responden los cosmólogos, mirados con suspicacia por los físicos, a pesar de que la respuesta es consistente con el principio de Incompatibilidad Cuántica. Más que un *universo*, el cosmos es un *multiverso*. Los físicos también han desarrollado su propia visión del multiverso, a partir de conceptos básicos diferentes al de bifurcación. Por ejemplo, el concepto de *historia* como descripción probable de la evolución de un sistema cuántico, introducido por Richard Feynman (1918-1988, premio Nóbel de Física de 1965) a partir de los trabajos de Paul Adrien Maurice Dirac (1902-1984, premio Nóbel de Física de 1933). Con base en este concepto, el premio Nóbel de física de 1969, Murray Gell-Mann, y sus

colaboradores desarrollaron la interpretación de las Múltiples Historias (*the many-histories interpretation*), interpretación de las Historias Consistentes (*the consistent histories interpretation*) o interpretación de las Historias Decoherentes (*the decoherent histories interpretation*), que encarna la visión del multiverso desde la física.

Sin embargo, Gell-Mann establece una distancia con la idea original de Everett, para quien los 10^{10^2} universos rama son igualmente reales. En cambio, a las múltiples historias se les asignan probabilidades de ocurrencia, de suerte que no conducen a universos paralelos igualmente reales: el *now here* de Everett se transforma en el *nowhere* (ninguna parte) de Gell-Mann. Por último, es muy importante no confundir historias *no compatibles* con historias *falsas*. La Incompatibilidad Cuántica implica que la obtención simultánea de información sobre la ocurrencia de dos o más Historias Consistentes no tiene sentido, sin que ello signifique que tales historias sean falsas. En otras palabras, siempre será posible llevar a cabo experimentos correspondientes a cada Historia Consistente, pero, no es posible realizar experimentos para "pillar" al tiempo dos o más de tales historias.

La indeterminación como atributo del universo y la razón como condición de existencia de la realidad continuaron fortaleciéndose. A finales del siglo XX una nueva ciencia comenzó a abrirse paso, convocando a científicos de todas las disciplinas: la *complejidad*. Tal vez la mayor motivación para su desarrollo haya sido la comprensión misma de la vida desde la escala molecular. Una empresa nunca antes emprendida por la humanidad: "*El mundo del quark lo tiene todo para dar cuenta de un jaguar rondando en la noche*" escribió el poeta chino-americano Arthur Sze.

Entre sus impulsores destaca Gell-Mann, quien plantea que los aciertos de esta nueva ciencia dependen tanto de la *indeterminación* como del compromiso de ser *consistentes con la realidad*, un compromiso de la razón, tal vez incluso, de la conciencia. En efecto, se debe responder a preguntas específicas, a través de la aplicación de un conjunto de reglas simples y de un procedimiento aleatorio iterativo. La respuesta *consistente con la realidad* es un resultado referenciable en el universo que dio origen y sentido a la pregunta. Llama la atención la coincidencia de esa pauta con el procedimiento de los oráculos. Sin duda alguna, nadie intentaría develar una respuesta científica interpretando el hexagrama elaborado con los resultados de lanzar tres monedas al aire, a la luz del oráculo chino conocido como *I Ching* o Libro de las Transformaciones. Sin embargo, no es su oscura eficacia adivinatoria lo que lo hace digno de mención en este contexto, sino su similitud con la pauta operativa de *la complejidad*.

Los 64 hexagramas del *I Ching* se obtienen a través de una regla binaria elemental. Partiendo de dos elementos gráficos,  y , se trata de construir símbolos apilando seis de estos elementos, es decir, $2^6=64$ símbolos. El significado otorgado a cada hexagrama, aunque justificado por la milenaria cultura china y arraigado como una convención ritual tras innumerables generaciones, es arbitrario pero fijo. En consecuencia, la función referencial de tal alfabeto simbólico está bien definida y establecida socialmente. La construcción de contextos que le dan sentido operativo se basa en la selección de uno o más de tales símbolos, a través de un procedimiento tan azaroso como la repetición del lanzamiento simultáneo de tres monedas. Más aún, la eficacia referencial del contexto construido, esto es, el sentido de la secuencia completa de hexagramas

seleccionados, depende significativamente del consultor. La simplicidad de las leyes subyacentes es un rasgo distintivo de la totalidad de la empresa de *la complejidad*, que abarca desde el estudio de las partículas elementales que conforman la materia hasta el auge y caída de las culturas humanas, pasando por la evolución de las especies y el advenimiento del pensamiento creativo. El flujo de información ocurre en doble vía: hacia el sujeto que interroga y, al tiempo, hacia el oráculo interrogado. Por eso, la complejidad depende del contexto, es decir, no solo de lo descrito sino también de quién o qué lo describe.

El objeto de estudio de la complejidad son los sistemas complejos adaptativos: sujetos evolutivos, cuyos procesos se basan en el manejo de información de sí mismos y de su entorno para seleccionar el comportamiento óptimo de supervivencia, en términos de permanencia y reproducibilidad. El paradigma que los representa no es un “centro nervioso” sino una *membrana*, es decir, una estructura distribuida (no localizada) y de naturaleza dual: separa y une, define lo interior y lo exterior. Independientemente de su especie, estos sistemas tienen la facultad de realizar, en mayor o menor grado, acciones que constituyen la base misma de la *inteligencia*: (i) Memorizar, (ii) Identificar o reconocer, (iii) Reconstruir, (iv) Completar y (v) Modificar. A raíz de esta facultad, la elección de un comportamiento es inherentemente impredecible y autónomo, con una implicación que aumenta tal indeterminación: la mutabilidad. Así, la máxima aproximación a la respuesta de un *sistema inteligente* en un momento dado es probabilística; además, la retroalimentación sobre los parámetros definitorios del sistema, cambiando de algún modo su naturaleza. Este proceso corresponde a lo que usualmente se denomina *aprendizaje*, y es la causa de que las probabilidades asociadas al comportamiento de un *sistema inteligente*, incluso los distintivos que permiten identificarlo y caracterizarlo, cambien luego de cada experiencia o elección.

Justo en este punto, volvamos la mirada a Jonia. El *arche* cósmico, si es que podemos nombrarlo, es por tanto indeterminado. La carga de evidencias es inobjetable. A la distancia de 26 siglos, el milesio eximio, Anaximandro, proclama *lo apeiron* como el *arche* del cosmos. Pero al fin de cuentas Anaximandro: ¿qué es *lo apeiron*?

Referencias

- Adler, C. G. (1989), Realism and/or physics. *American Journal of Physics*, **57**: 878-882.
- Blanché, R. (1972), El método experimental y la filosofía de la física. Breviario 223, Fondo de cultura económica, México.
- Bochner, S. (1966), El papel de la matemática en el desarrollo de la ciencia. Alianza Universidad, Madrid.
- Bohr, N. (1935), Can quantum mechanical description of physical reality be considered complete?. *Phys. Rev.* 48: 696-702.

- De la Torre, L. (1997), Math is key to identifying source of 'strange foot-print'. *Physics Today*, 50: pg. 15.
- Eddington, A. (1959), *Space, time and gravitation*. Harper & Row, New York.
- Einstein; Podolsky, A. B. and Rosen, N. (1935), Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?. *Physical Review* 47: 777-780.
- Gribbin, J. (1995), *Schrödinger's kittens and the search of reality*. Little Brown and Company, Boston.
- Guedj, D. (2000), *El teorema del loro*. Anagrama, Barcelona, 537 p.
- Hawking, S. (2001), *El universo en una cáscara de nuez*. Crítica, Barcelona, 69.
- Hawking, S. (2003), *A hombros de gigantes, 2^o ed.* Crítica, Barcelona, 1135 p.
- Heisenberg, W. (1974), *Más allá de la física*. Biblioteca de autores cristianos, Madrid.
- Heisenberg, W. (1975), *Diálogos sobre la física atómica*. Biblioteca de autores cristianos, Madrid.
- Ibarbo, J. (2003), *Incertidumbre y objetividad en el conocimiento*. Editorial π , Medellín.
- Laplace, P.S. (1819), *Essai Philosophique sur les Probabilités*. H. Reims, Bruxelles.
- Popper, K. (1979), *El desarrollo del conocimiento científico. Conjeturas y refutaciones*. Paidós, Buenos Aires, 178 p.
- Yourcenar, M. (2002), *Memorias de Adriano*. Planeta, 273 p.