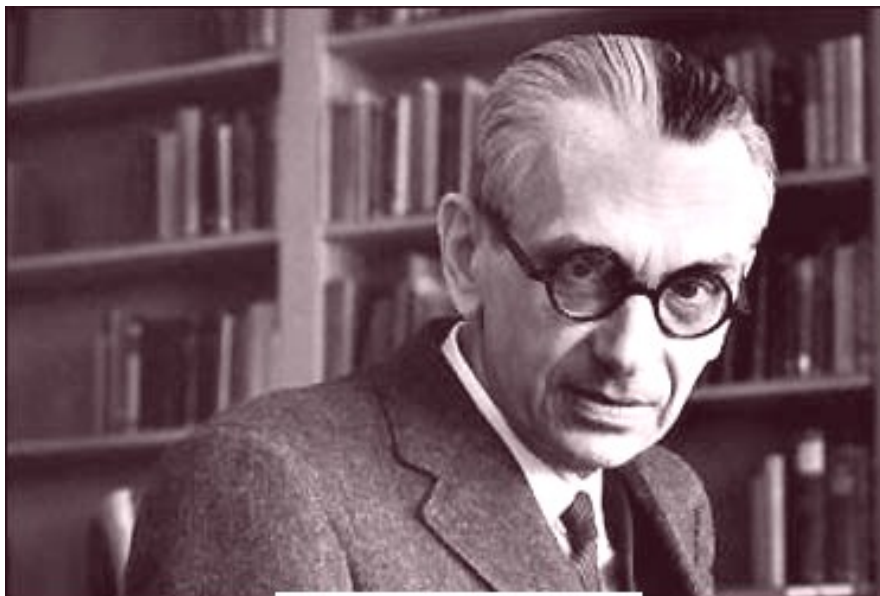


Repercusiones godelianas.

Este artículo pretende contestar lo más eficaz y sencillamente posible la siguiente pregunta, basada en los estudios profundos del Génesis: ¿Qué repercusiones tienen los descubrimientos acerca de las limitaciones de la ciencia humana?



Kurt Gödel

Desde la época de los grandes pensadores griegos de la antigüedad hasta la segunda mitad del siglo XX, la ciencia y la tecnología humanas han experimentado subidas y bajadas alternativas, a nivel particular en un principio (según la potencia cultural en auge o declive) y a nivel más global en tiempos modernos. Pero desde la Edad Moderna en adelante, la eclosión del conocimiento científico se ha dado de forma expansiva y exponencial, abarcando cada vez más sectores sociales de la humanidad y acelerando sus descubrimientos. Este aumento vertiginoso del saber técnico ha producido una especie de enajenamiento en el ámbito de la ciencia, toda vez que ésta ha quedado deslumbrada a causa de su propia potencialidad extrovertida y se ha olvidado de sí misma, es decir, de analizarse a sí misma.

Sin embargo, la omnipresente y prolífica plaga de las paradojas nunca ha cesado de atormentar a los constructores de modelos interpretativos y teorías, por lo que hacia la segunda mitad del siglo XX se hizo completamente necesario atender a estos inconvenientes. Se observó que las paradojas solían atacar al edificio científico a partir de los fundamentos, de manera que para resolverlas era necesario analizar concienzudamente dichos fundamentos y remodelarlos, esto es, dotarlos de mayor inmunidad contra esta plaga. Y así, entonces, el mundo científico se vio obligado a hacer autorreferencia teórica, es decir, a estudiar minuciosamente el derrotero de la ciencia con métodos también científicos, pero adaptados a este tipo de investigación. Surgió así la denominada "metaciencia", o el estudio científico de la ciencia como fenómeno u objeto cambiante.

Pues bien, en medio de este nuevo desarrollo y en muchos sentidos vanguardista dentro del mismo, se encuentra la figura de Kurt Gödel. Sus trabajos metacientíficos permiten atisbar el inicio de un interesante camino de investigación científica que puede aclarar qué es lo que es realmente la ciencia y cuáles son sus fronteras o limitaciones: cuáles son las capacidades de la ciencia y cuáles son sus incapacidades.

Son muchas las repercusiones del trabajo de Gödel. La única condición para su aplicación es contar con un sistema de razonamiento basado en un conjunto finito de axiomas. A esta descripción responden todas las ramas de las matemáticas, la física y la astronomía, así como muchos planteamientos de la filosofía y la lingüística. Sin embargo, y relajando la condición de rigurosidad, podría extenderse a las ciencias sociales, la economía, la psicología, la sociología, la teología y la historia, e igualmente a la ética y la moral; si bien hay que decir que la aplicación en dichos casos no gozará del rigor de su origen, y se puede llegar a

conclusiones falsas, pero también es verdad que siempre es posible adoptar una terminología y una fundamentación más exactas para las ramas del conocimiento que todavía contienen conceptos ambiguos y poco refinados.

La limitación que el teorema de Gödel nos descubre supuso un duro golpe al formalismo y logicismo matemáticos que, hasta entonces, trataban de alcanzar lo que resultaría ser inalcanzable. Ésta es pues su primera y más directa repercusión.

Repercusiones matemáticas.

Peano, Boole, De Morgan, Hilbert, Gentzen y otros dieron por sentado que para cualquier proposición bien construida del sistema matemático habría de existir o bien una demostración de ella o bien una demostración de su contraria, porque en matemáticas no hay ningún "ignoramos". El sistema matemático es un sistema formal, es decir, un conjunto de símbolos carentes de significado y que lo adquieren mediante una serie de convenciones previas o axiomas. La demostración de este hecho, que no se ponía en duda, fue el objetivo principal de los trabajos de Hilbert.

El teorema de Gödel constituyó un duro golpe para esa concepción clásica, donde la naturaleza de la verdad matemática se suponía que era la demostrabilidad, pero no es así. Demostró los límites de los sistemas formales: La matemática siempre contendrá verdades indecidibles, siendo por tanto inagotable. El método axiomático resulta finitamente fecundo.

Como dijo Morris Kline, uno de los formalistas de la época, "El fenómeno de la incompletitud constituye un importante defecto, ya que entonces el sistema formal no es adecuado para demostrar todas las afirmaciones que podrían serlo correctamente (sin contradicción) dentro del sistema". También, Herman Weyl apostilló, en 1949: "Ningún Hilbert será capaz de asegurar la consistencia para siempre; hemos de estar satisfechos de que un sistema axiomático simple de matemáticas haya superado hasta el presente el test de nuestros elaborados experimentos matemáticos... Una matemática genuinamente realista debería concebirse, en parangón con la física, como una rama de la interpretación teórica (especulativa o teórica) del único mundo real y debería adoptar la misma actitud sobria y cautelosa que manifiesta la física hacia las extensiones hipotéticas de sus fundamentos".

Repercusiones físicas.

Por su cercanía a las matemáticas y después de ésta, la física, tan cuidadosamente axiomatizada, es la más afectada por el teorema de Gödel. Los físicos han comprendido a la fuerza que sus mayores limitaciones no serán económicas o tecnológicas, ni siquiera las asociadas a la capacidad humana. Su mayor limitación radica en que nunca alcanzarán solución a todos los problemas que puedan plantearse, ya que todo sistema racional de conocimientos es esencialmente incompleto.

Para entenderlo mejor consideremos que la física no existe a parte del universo, sino que forma parte de él y su objeto es modelizarlo o representarlo teóricamente. El hombre también forma parte del universo. Dado que tanto el sistema teórico como sus creadores humanos forman parte del universo, parece permisible afirmar que el universo trata de hacer un modelo de sí mismo. Por tanto, una pequeña parte del universo (el hombre y su sistema teórico) tratan de modelar una realidad completa (el universo). Se trata, pues, de un claro ejemplo de autorreferencia, y como tal adolece de una paradoja: el modelo como parte del universo tendría que ser mayor que el universo que pretende modelizar. Pero, ¿es lógico aceptar que una parte es mayor que el todo?

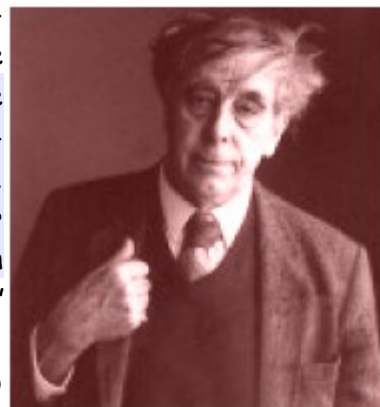
Junto al teorema de Gödel surgen una serie de otros teoremas cuya totalidad impone una gran limitación sobre el alcance del conocimiento científico. Muere por tanto el ideal, u objetivo esencial de la



ciencia en sí, consistente en establecer un sistema axiomático que explique los fenómenos de la naturaleza o universales. Pero todo esto, para algunos teóricos, sólo supone el descubrimiento de limitaciones que existen en la lógica formal que empleamos para llegar a las verdades más profundas, ya sea en física, matemáticas o cualquier otra disciplina. Por lo tanto, los investigadores más optimistas creen que éstas no son limitaciones contra la ciencia en sí, sino más bien adjudicables a la forma en que la observamos. No deberían constituir, por lo tanto y según ellos, una fuente de desánimo total sino más bien una llamada de atención, un desafío y una invitación a la cautela.

Inteligencia Artificial.

John R. Lucas, filósofo de Oxford, ha interpretado los trabajos de Gödel como una prueba inequívoca de que en los sistemas matemáticos existen proposiciones indemostrables dentro de los propios sistemas, y que sin embargo son evidentemente verdaderas. Argumenta: "Cualquier formalismo S que contenga PA es tal que al razonar sobre él, podemos establecer la existencia de una fórmula verdadera con respecto a la interpretación estándar de S pero indemostrable en S . Por tanto, esa fórmula será aceptable desde nuestro punto de vista, por ser verdadera, pero inaceptable para S -por ser indemostrable-, con lo que ningún cálculo será capaz de encapsular las habilidades formales del ser humano" (ver Nota siguiente).



John R. Lucas

Lucas, por tanto, concluía que la capacidad de nuestro entendimiento sobrepasa a la del computador. El computador emplea únicamente algoritmos, es decir, series de precisas normas que definen los pasos a seguir para resolver un problema o demostrar la veracidad de una proposición. Pero no existe ningún algoritmo capaz de demostrar determinadas proposiciones que sin embargo nosotros percibimos como ciertas. De esta manera, el conocimiento de esas verdades no puede ser de orden algorítmico. En consecuencia, como los computadores funcionan únicamente sobre la base algorítmica, no somos computadores.

NOTA:

La expresión PA significa literalmente "Peano's axioms" (axiomas de Peano) y se refiere a un conjunto de axiomas o postulados aritméticos establecidos por Giuseppe Peano en el siglo XIX, los cuales se han utilizado prácticamente sin cambios en diversas investigaciones matemáticas, incluyendo cuestiones acerca de la consistencia y completitud de la aritmética y la teoría de números. Son cinco axiomas, a saber:

1. El 1 es un número natural. 1 está en N , el conjunto de los números naturales.
2. Todo número natural n tiene un sucesor n^* (este axioma es usado para definir posteriormente la suma).
3. El 1 no es el sucesor de ningún número natural.
4. Si hay dos números naturales n y m con el mismo sucesor, entonces n y m son el mismo número natural.
5. Si el 1 pertenece a un conjunto K de n naturales y dado un elemento cualquiera k resulta que el sucesor k^* también pertenece al conjunto K , entonces todos los números naturales pertenecen a dicho conjunto K . Este último axioma es el denominado "principio de inducción matemática".

Hay un debate sobre si considerar al 0 como número natural o no. Generalmente se decide en cada caso, dependiendo de si se lo necesita o no. Cuando se resuelve incluir al 0, entonces deben hacerse algunos ajustes menores y queda:

1. El 0 es un número natural.
2. Si n es un número natural, entonces el sucesor de n también es un número natural.
3. El 0 no es el sucesor de ningún número natural.
4. Si hay dos números naturales n y m con el mismo sucesor, entonces n y m son el mismo número natural.
5. Si el 0 pertenece a un conjunto y dado un número natural cualquiera resulta que el sucesor de ese número también pertenece a ese conjunto, entonces todos los números naturales pertenecen a dicho conjunto.

Roger Penrose ha retomado el argumento de Lucas, y a partir de la versión del teorema de Gödel presentado por Turing y conocido como "demostración del insolucionable problema de la Detención o Para-

da de una máquina MT en proceso de cálculo" (ver Nota, a continuación), ha afirmado que ningún computador podrá jamás alcanzar al ser humano en el ámbito del razonamiento matemático, ya que el ser humano posee capacidades intuitivas "no algorítmicas", y además de ello resulta que los modelos informáticos no garantizan la resolución de todos los juicios de verdad (o razonamientos que permiten decidir entre veracidad y falsedad para un cierto enunciado o proposición, el cual trasciende las reglas dadas algorítmicamente).

NOTA:

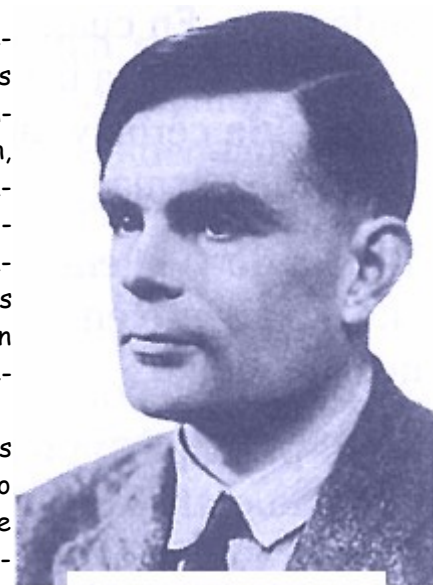
Manuel López Pellicer, licenciado en Ciencias Físicas y doctor en Ciencias Matemáticas, que ha sido Profesor Agregado de Análisis Funcional en la Universidad de Valencia y desde 1979 Catedrático de Matemática Aplicada en la Universidad Politécnica de Valencia; académico Correspondiente de la Real Academia de Ciencias desde 1989 y académico Numerario desde 1998; cuyos campos de trabajo son la Topología Conjuntista y el Análisis Funcional, con aportaciones en espacios topológicos completamente regulares, espacios vectoriales topológicos y teoría de la medida... este científico emitió un artículo, aparecido en el año 2003 en la revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (España), titulado "Matemáticas, ordenadores y el conocimiento del mundo", en el cual expone que el libro "Principia Mathematica" de Russell y Whitehead pudo motivar que Hilbert en su conferencia de 1900 propusiese encontrar un sistema lógico formal con el que se pudiese probar la verdad o falsedad de cualquier enunciado matemático. Nadie imaginó que ese sueño de Hilbert sería irrealizable, pero, tres décadas después, Kurt Gödel probó que no existe un sistema axiomático que contenga a toda la matemática. Entonces, y diez años antes de la aparición de los primeros ordenadores electrónicos, un pequeño grupo de matemáticos empezó a predecir cómo funcionarían. Uno de ellos, Alan Turing, desarrolló muchos de los conceptos que utilizan nuestros ordenadores personales.

Menos clara es la naturaleza del supuesto "ordenador" (cerebro) que tenemos en nuestra cabeza, del que se está empezando a descifrar los algoritmos empleados en los circuitos neuronales más simples. Turing, explorando el concepto de computabilidad, encontró el denominado "problema de la detención, interrupción o parada" (que esbozaremos sobre estas líneas, un poco más adelante) y probó su equivalencia con el teorema de Gödel en 1936. Lo que todavía no se sabe es por qué es imposible elaborar un sistema formal que abarque toda la matemática. Dado que las matemáticas son construcciones mentales, Roger Penrose cree que la imposibilidad se debe a la intervención de las incertidumbres de la mecánica cuántica en el funcionamiento del cerebro a nivel de las neuronas.

El resultado de Gödel y Turing no disminuye la potencia de las aplicaciones de la matemática, que con ayuda del ordenador ha dedicado mucho esfuerzo en el siglo XX a la obtención de aproximaciones numéricas de soluciones de problemas complejos. Aún siguen siendo muchos los campos actuales necesitados de ayuda con nuevos desarrollos matemáticos, pues los problemas de muchas investigaciones son demasiado complicados para resolverlos por métodos conocidos. El plegamiento de las moléculas de proteínas, formadas por miles de aminoácidos, para adoptar una forma funcional exige el desarrollo de un tratamiento sistemático dada la enorme variedad de posibilidades. También los biólogos y bioquímicos tendrán que recurrir pronto a nuevos modelos informáticos para dar sentido a la enorme masa de datos acumulados.

Recapitemos. En 1931, Kurt Gödel publicó su famoso artículo "Sobre las proposiciones formalmente indecidibles en Principia Mathematica y sistemas relacionados", que quizá sea la realización matemática más importante del siglo XX. La argumentación presentada en dicho artículo es lo que se conoce generalmente como "teorema de Gödel" y demuestra que toda formulación axiomática consistente (o coherente) de la teoría de números contiene proposiciones indecidibles: siempre habrá en ella afirmaciones verdaderas que no se pueden demostrar.

En 1937, el matemático inglés Alan Mathison Turing publicó otro artículo famoso sobre los "números calculables", basado en el Teorema de Gödel y que puede considerarse el origen oficial de la "informática teórica". En realidad, dicho artículo contemplaba la aplicación del Teorema de Gödel a la informática, o la informatización del Teorema de Gödel. El artículo introducía la denominada "máquina de Turing" (MT), una entidad matemática abstracta que formalizó el concepto de "algoritmo" y resultó ser la precursora teórica de las computadoras di-

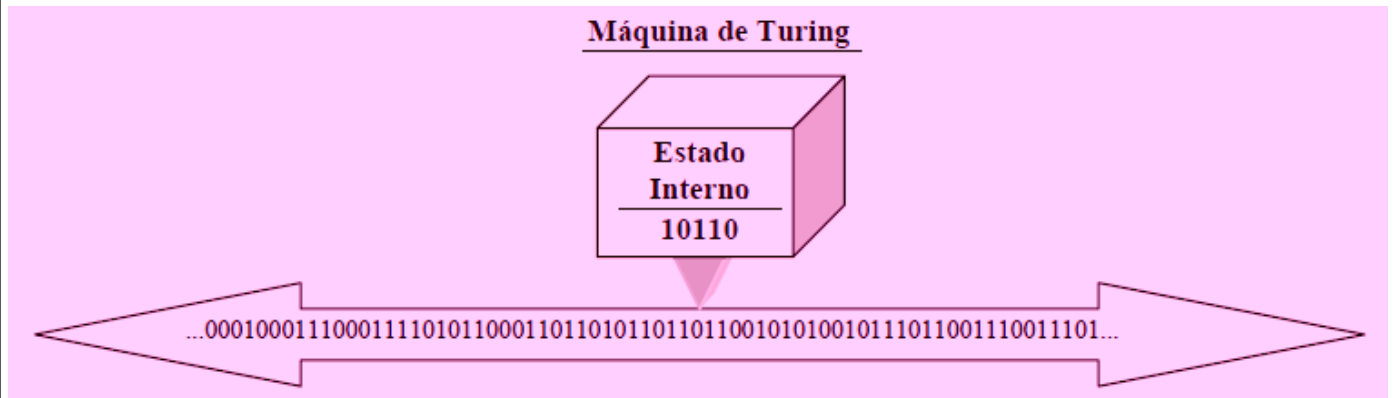


Alan Mathison
Turing (1912-1953)

giales. Pues bien, con la ayuda de esta MT abstracta Turing pudo demostrar que existen problemas irresolubles tales que ninguna MT, y por ende ningún ordenador, será capaz de resolver o solucionar jamás.

Una MT puede considerarse como una cinta infinita dividida en casillas, cada una de las cuales contiene un símbolo. Sobre dicha cinta actúa un dispositivo que puede adoptar diversos estados y que, en cada instante, lee un símbolo de las casilla sobre la que está situado. En función del símbolo que ha leído y del estado en que se encuentra, realiza las 3 acciones siguientes:

1. Pasa a un nuevo estado, imprime un símbolo en lugar del que acaba de leer y se desplaza una posición hacia la izquierda.
2. Pasa a un nuevo estado, imprime un símbolo en lugar del que acaba de leer y se desplaza una posición hacia la derecha.
3. Pasa a un nuevo estado, imprime un símbolo en lugar del que acaba de leer y se detiene o para.



El concepto de MT es tan general y potente que es posible construir otra máquina que sea capaz de simular el comportamiento de otra MT cualquiera, llamándose a dicha máquina MTU (máquina de Turing universal). Estudiando la MT, Turing demostró la existencia de un problema irresoluble: ¿Es posible construir un algoritmo que, dada una MT cualquiera, nos diga si esa MT acabará por pararse al leer cierta cinta o bien seguirá funcionando indefinidamente, moviéndose siempre hacia la derecha, la izquierda o realizando ciclos más o menos complejos?

Turing supuso hipotéticamente que el problema se puede resolver, por lo que debería ser posible construir una máquina MT* que lo resolviera. En la cinta de MT* colocamos una descripción de MT y una copia de la cinta que debe leer. Además, podemos programar MT* de manera que si MT se para entonces MT* siga funcionando indefinidamente; y por el contrario, si MT no se para entonces MT* debe pararse. Ahora bien, puesto que MT* acepta la descripción de cualquier MT, entonces a MT* le proporcionamos su propia descripción. Pero entonces aparece la siguiente contradicción: por construcción, MT* debe pararse si MT* no se para y viceversa. En consecuencia, hay que renunciar a la hipótesis de que sea posible construir MT*. Es decir, el "problema de la parada" de una MT es irresoluble.

Los teoremas de Gödel han sido ampliamente empleados para criticar las ideas que defienden la creación de una auténtica Inteligencia Artificial. Sin embargo, muchas de las teorías que echan por tierra el sueño de crear una máquina con una inteligencia que pueda rivalizar con la del ser humano no son igualmente aplicables al campo de la Vida Artificial (nota: no es lo mismo vida artificial que inteligencia artificial) sin más, a pesar de los muchos puntos en común que tienen ambos campos.

Por otra parte, el propio Gödel, en un raptó de moderación, dijo que su teorema de la incompletitud no impediría la posible creación de una mente artificial; y autores como Rudy Rucker emplean argumentos similares a los de Lucas, utilizando también el teorema de incompletitud de Gödel, para defender la posible creación de inteligencia artificial. Tales argumentos demuestran que el sólo uso de la incompletitud no sirve para convencer a ciertos teóricos de la imposibilidad de crear una inteligencia artificial. Sin embargo, el teorema de Gödel puede emplearse para restringir y cerrar muchos caminos en el campo de la Vida Artificial y de la Inteligencia Artificial.

La Vida Artificial no persigue la meta de crear una inteligencia similar a la humana (esto queda dentro del campo de la Inteligencia Artificial), sino que profundiza en el estudio de la vida en su sentido más elemental, comparando y contrastando los conceptos de "vida tal como es" y "vida tal y como podría ser". Actualmente, en el campo de la Vida Artificial existen dos opciones para la investigación y el desarrollo, a

saber:

- (1) Una de ellas considera la Vida Artificial como herramienta necesaria para estudiar el mundo natural.
- (2) La otra se centra en la idea de que se pueden diseñar programas que, ejecutados correctamente, constituyan una forma de vida por sí mismos.

NOTA:

La vida artificial (VA) es el estudio de la vida y de los sistemas artificiales que exhiben propiedades similares a los seres vivos, a través de modelos de simulación. El científico Christopher Langton fue el primero a utilizar el término a fines de los años 1980, cuando se celebró la "International Conference on the Synthesis and Simulation of Living Systems" (Primera Conferencia Internacional de la Síntesis y Simulación de Sistemas Vivientes), también conocida como "Artificial Life I" (Vida Artificial I), en los Alamos National Laboratory en 1987. En inglés también se conoce como alife, por la contracción de "artificial life" (vida artificial).

Aunque el estudio de vida artificial tiene alguna superposición significativa con el estudio de inteligencia artificial (IA), los dos campos son muy diferentes en su historia y métodos. La investigación de IA organizada empezaba temprano en la historia de calculadoras digitales, y se caracterizaba a menudo en aquellos años por un enfoque "de arriba abajo" (top-down), basado en redes complejas de reglas. Pero los estudios de vida artificial (Alife) no tuvieron un campo nada organizado hasta los años 1980 y a menudo trabajaban de forma aislada, sin cohesionar a los investigadores que hacían trabajos similares. Si en alguna ocasión éstos se preocupaban por la inteligencia, tendían a centrarse en un enfoque "de abajo arriba" (bottom-up), de conductos emergentes.

Los investigadores de vida artificial se han dividido a menudo en dos grupos principales (aunque existen otras clasificaciones posibles):

1. **Alife-fuerte:** Es la posición de "vida artificial dura o fuerte", que manifiesta que la vida es un proceso que se puede conseguir fuera de cualquier medio particular (John Von Neumann). Por su parte, Tom Ray, un ecologista que creó y desarrolló el proyecto "Tierra" (una simulación por ordenador de vida artificial), declaró paroxísticamente que su programa "Tierra" no estaba simulando vida en un ordenador sino que la estaba sintetizando.

2. **Alife-débil:** Es la posición de "vida artificial débil", que niega la posibilidad de generar un "proceso de vida" fuera de una solución química basada en el carbono. Sus investigadores intentan en cambio imitar procesos de vida para entender aspectos de fenómenos sencillos. La manera habitual es a través de un modelo basado en agentes, que normalmente da una solución posible mínima. Esto es: "no sabemos qué genera este fenómeno en la naturaleza, pero podría ser algo tan simple como...".

El campo de investigación de Alife se caracteriza por el uso extenso de programas informáticos y simulaciones que incluyen el denominado "cálculo evolutivo" (algoritmos evolutivos, algoritmos genéticos o GA - por el inglés Genetic Algorithm -, programación genética, inteligencia de enjambre, optimización de colonias de hormigas, etc.), química artificial, modelos basados en agentes y autómatas celulares o CA (del inglés Cellular Automata). A menudo todas estas ramas cognitivas se ven como subcampos de la vida artificial, además de los artículos técnicos en los temas de vida artificial que son aceptados en conferencias diversas hasta que su dominio teórico haya crecido lo suficiente para celebrar sus propias conferencias independientes.

La vida artificial es un punto de reunión para gente de otros muchos campos más tradicionales, como la lingüística, física, matemáticas, filosofía, informática, biología, antropología y sociología, en los cuales se puede hablar de enfoques computacionales y teóricos inusuales que serían controvertidos dentro de su propia disciplina. Como ámbito independiente, Alife ha tenido una historia controvertida; John Maynard Smith criticaba en el año 1995 algunos trabajos de vida artificial como "ciencia libre de hecho", y no ha recibido generalmente demasiada atención seria de los biólogos. Aun así, la publicación reciente de artículos de vida artificial en revistas ampliamente leídas, como Science y Nature, evidencia que las técnicas de vida artificial se están volviendo cada vez más aceptadas en la ciencia central, como mínimo al aportar un método que estudia la evolución.





Es interesante reflexionar en el uso que los evolucionistas quieren dar al cálculo evolutivo provisto por Alife, en un esfuerzo desesperado y postrero por consolidar su doctrina (el evolucionismo). Por su parte, parece que este tipo de cálculo (computacional) adopta la denominación de "evolutivo" por influencia del paradigma evolucionista, que es supuesto cierto "a priori" (sin el respaldo de la ciencia experimental fidedigna) por la mayoría de los intelectuales contemporáneos y evidentemente por el grueso del colectivo dedicado a desarrollar Alife.

Sin embargo, hay que hacer notar tres cuestiones. La primera es la que tiene que ver con la capacidad creativa del ser humano, presumiblemente derivada de las características con las que fue creado, pues el Génesis dice que el hombre fue hecho "a la imagen de Dios, el Creador". Por consiguiente, no sería del todo extraño que los investigadores humanos fueran capaces de dar a luz (en el marco de la tecnología computacional) algoritmos que simulan el fenómeno biológico que se denomina "vida", e incluso también extraños e hipotéticos "avatares" (en su acepción secular: cambio, fase o vicisitud) considerados como "vida artificial" sin correspondencia directa con el mundo natural conocido. Esto quiere decir que el hecho de que la inventiva humana produzca "mundos artificiales aderezados con biología evolucionista" no significa necesariamente que la realidad natural posea las mismas características evolucionistas. La inventiva computacional humana puede producir "mundos virtuales" inconexos en mayor o menor grado con el mundo natural diseñado por el Gran Creador, el Dios del Génesis.

La segunda cuestión que queremos hacer notar es la que tiene que ver con el "isomorfismo biológico", es decir, con dos estructuras biológicas compuestas por diferentes materiales entre sí pero que sin embargo tienen las mismas propiedades biológicas. Por ejemplo, las prótesis médicas que pretenden suplir los menoscabos anatómicos y funcionales de pacientes que han perdido su integridad morfológica y funcional se pueden considerar, en mayor o menor grado, como "isomorfismos biológicos". Más concretamente, cuando un individuo recibe un implante dental, de una muela que ha perdido, dicho implante tiene la finalidad de suplir al mayor grado posible la anatomía y funcionalidad de la muela perdida; por consiguiente, existe un "isomorfismo biológico" entre la prótesis molar y la muela perdida; pero dicho isomorfismo no es completo sino parcial, ya que no remeda todas las características de la pieza ósea perdida (la muela natural está irrigada por vasos sanguíneos que le confieren la capacidad de regenerar lesiones microscópicas por reposición de osteocitos muertos, cosa que no puede hacer la prótesis).

Pues bien, los evolucionistas se han empeñado en hacer creer que existe un "isomorfismo biológico" entre la vida en la naturaleza y la vida artificial evolutiva (vida virtual, computarizada, afectada por algoritmos evoluti-

vos). Sin embargo, esta creencia no está apoyada por la ciencia experimental fidedigna. La vida creada por el Sumo Hacedor no es "isomorfa" con la vida creada artificialmente por ingenieros informáticos evolucionistas. El Génesis no admite la doctrina evolucionista. El Gran Diseñador de la biosfera revela, a través del Génesis, que es un error monumental suponer que existe un "isomorfismo biológico" entre su obra creativa biológica y la obra creativa biológica (virtual) de científicos evolucionistas que utilizan tecnología computacional.

La tercera y última cuestión que queremos resaltar es la que tiene que ver con la dimensión ética y moral de la supuesta capacidad humana para crear Alife. En efecto, según se desprende del estudio del Génesis y de la demás Sagrada Escritura, los graves problemas que afectan a la humanidad actual hunden sus raíces en la gran decadencia ética y moral contemporánea, así como en una concepción errónea de las normas y principios que deben contener estas dos disciplinas. Es revelador lo que dice el Génesis, en su capítulo 2, versículos 15 a 17:

... Y Jehová Dios (el Creador) procedió a tomar al hombre y a establecerlo en el jardín de Edén para que lo cultivara y lo cuidara. Y también impuso Jehová Dios este mandato al hombre: "De todo árbol del jardín puedes comer hasta quedar satisfecho. Pero en cuanto al árbol del conocimiento de lo bueno y lo malo, no debes comer de él, porque en el día que comas de él, positivamente morirás".

Obsérvese que la única restricción dada al hombre por su Creador era la de comer del "árbol del conocimiento de lo bueno y lo malo", esto es, evitar usurpar a su Hacedor el derecho a decidir qué es bueno y qué es malo para el hombre. Así, el ser humano podía disfrutar de libertad completa para amasar por cuenta propia cualquier tipo de conocimiento (científico, cultural, tecnológico, etc.), salvo el conocimiento de "lo bueno y lo malo". ¿Y qué clase de conocimiento es el que sirve para valorar algún fenómeno como "bueno" o "malo"? ¿No es el llamado "conocimiento ético y moral", exclusivamente? Por lo tanto, se sobreentiende que el ser humano no está capacitado para alcanzar por sí mismo un conocimiento ético y moral confiable, debiendo recurrir a su Creador para obtener dicho conocimiento.

Al parecer, en prevención de que la primera pareja humana causara problemas graves a la colectividad social que pronto se desarrollaría con su propia prole, Dios puso coto al impulso latente en el hombre en cuanto a proporcionar leyes éticas y morales que regularan a la sociedad humana en ciernes, y lo hizo por medio de señalarle su incapacidad innata a este respecto, tomando como emblema el árbol del "conocimiento de lo bueno y lo malo". Recordemos que los funcionarios judiciales y los jueces establecidos por el hombre, supuestamente encargados de guardar las leyes que favorecen el orden social, dictan a veces sentencias éticas y morales en desacuerdo con la norma divina, y esto suele acarrear gravísimas consecuencias más o menos tardías. En realidad, la paz y la estabilidad de la sociedad humana organizada dependen, en buena medida, del acierto o desacierto con que la clase judicial se exprese respecto a la ética y la moral.



Por otra parte, la revista DESPERTAD del 8-2-2005, página 12, editada en español y en otros idiomas por la Sociedad Watchtower Bible And Tract, expone: «El eminente profesor y psiquiatra Robert Coles dijo en cierta ocasión: "El niño cuenta con un sentido moral interno en desarrollo. Pienso que Dios lo creó con esa necesidad acuciante de guía ética". Ahora bien, ¿quién tiene que satisfacer esa hambre y sed de orientación moral? En Efesios 6:4, las Escrituras exhortan: "Vosotros, padres, no estéis irritando a vuestros hijos, sino seguid criándolos en la disciplina y regulación mental de Jehová"».

Esto da a entender que existe una necesidad de educación moral en el niño, quien, por decirlo así, precisa recibir externamente orientación en este sentido; y son los padres, según las Santas Escrituras, los máximos responsables de proporcionar esta educación a sus hijos. Ahora bien, los padres, independientemente de lo experimentados y sabios que sean, son incapaces de dar una correcta orientación moral a sus hijos basándose sólo en sus propias ideas. Los padres necesitan primero estar duchos en la guía moral que proviene del Todopodero-

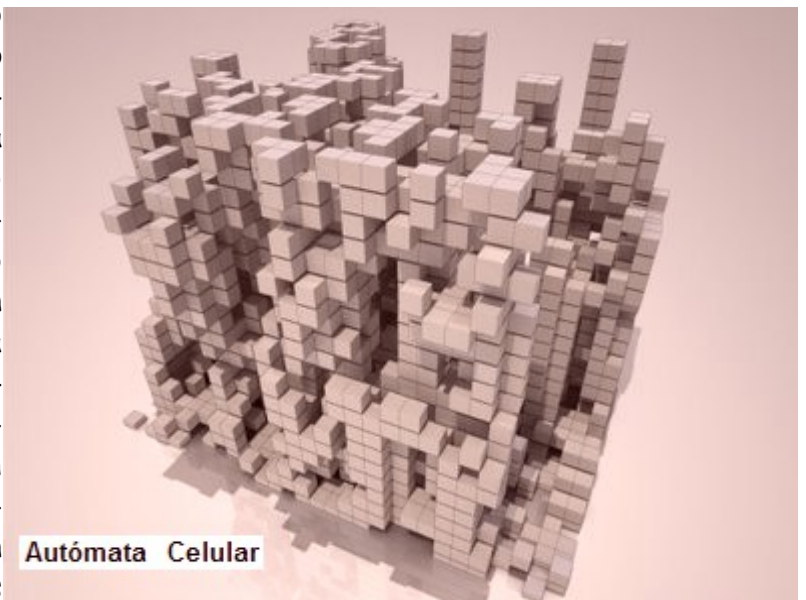
so. De otra manera, cada familia y cada individuo llegaría a tener su propio y subjetivo sentido moral particular, con el riesgo aumentante de colisiones entre diferentes puntos de vista humanos. De hecho, muchas guerras y represiones violentas han ensangrentado las páginas de la historia y se han debido fundamentalmente a choques brutales entre maneras distintas de entender la ética y la moral.

Alife supone la introducción de una potentísima herramienta en el seno de una sociedad humana tecnificada y sin valores éticos y morales fiables, por lo que su uso y abuso puede traer consecuencias calamitosas en todas direcciones. Al igual que Internet, la energía nuclear, la aviación, etcétera (todos ellos caracterizados históricamente por una desdichada explotación contraproducente), así también Alife se encamina a servir de juego perverso en manos de dioses humanos sin escrúpulos e inclinados al error y a las bajas pasiones, como bien patentiza el Génesis.

Vida artificial.

Los orígenes de Alife se encuentran alrededor de los años 1950. Uno de los primeros pensadores contemporáneos que previó los potenciales de la vida artificial, separada de inteligencia artificial, fue el prodigioso matemático e informático John Von Neumann. En el Simposio Hixon, ofrecido por Linus Pauling en Pasadena, California, a finales de los años 1940, Von Neumann dio una conferencia titulada "The General and Logical Theory of Automata" (La Teoría General y la Lógica de Automatas). Definía un "autómata" como cualquier máquina cuyo comportamiento provenía de la lógica, paso a paso, combinando información tomada desde el ambiente y la de su propia programación, y decía que con el tiempo se encontrarían organismos naturales que siguieran reglas simples similares. También habló sobre la idea de máquinas que se auto duplicaran. Presuponía una máquina - un autómata cinemático - constituida por un ordenador de control, un brazo de construcción y gran conjunto de instrucciones. Utilizando las instrucciones, que eran parte de su propio cuerpo, podría crear una máquina idéntica. Siguiendo esta idea creó (con Stanislaw Ulam) autómatas puramente lógicos, no dotados cuerpo físico sino basados en estados cambiantes en unidades celulares insertas en una red infinita.

El primer autómata celular de este cuño fue extraordinariamente mucho más complicado que posteriores autómatas celulares. Tenía cientos de miles de células que podían existir cada una de ellas en uno de 29 estados posibles, pero Von Neumann pensaba que necesitaba esta complejidad para conseguir que funcionara no sólo como una máquina auto replicante, sino también como una computadora universal tal y como la definió Alan Turing. Este computador "constructor universal" leía de una cinta de instrucciones y escribía una serie de células que podían ser activadas para dejar una copia completamente funcional del original y de su cinta. Von Neumann trabajó en su teoría de autómatas intensivamente hasta el momento de su muerte, y lo consideró su trabajo más importante en la vida.



Autómata Celular

El profesor John Horton Conway, de Cambridge, inventó el autómata celular más famoso de los años 1960. Lo denominó el "Juego de la Vida", y consiguió publicidad a través de la columna de Martin Gardner en la revista "Scientific American". Christopher Langton fue un investigador poco convencional, con una carrera académica sin distinciones que lo llevó a conseguir un trabajo programando "mainframes" para un hospital. Lo cautivó el "Juego de la Vida" de Conway, y empezó a perseguir la idea que una computadora puede emular criaturas vivas. Tras años de estudio (y un casi fatal accidente de ala delta), empezó a intentar actualizar el autómata celular de Von Neumann y el trabajo de Edgar F. Codd, que simplificó el monstruo original de 29 estados de Von Neumann a uno con sólo 8 estados. Consiguió el primer organismo

computacional auto replicante en octubre de 1979, usando simplemente un ordenador de sobremesa Apple II. Entró al programa de graduados del "Logic of Computers Group" el año 1982, a los 33 años, y ayudó a crear una nueva disciplina.

El anuncio oficial de Langton de la conferencia "Artificial Life I" fue la primera descripción de un campo en el que casi no existían avances. Como sabemos, la "vida artificial" (Alife) es el estudio de sistemas artificiales que exhiben comportamientos característicos de los sistemas vivos naturales. Es la búsqueda de una explicación de la vida en cualquiera de sus posibles manifestaciones, sin restricciones a un ejemplo particular que exista sobre la Tierra. Incluye experimentos biológicos y químicos, simulaciones por ordenador e iniciativas puramente teóricas. Los procesos que ocurren en una escala molecular, social o cósmica son objeto de investigación. El deseo final es poder extraer la supuesta "lógica" (los mecanismos automáticos) de los sistemas vivientes.

Algunos expertos opinan que la tecnología microelectrónica y la ingeniería genética pronto nos darán capacidad para crear nuevas formas de vida, tanto en silicio como "in vitro". Esta capacidad, caso de materializarse, presentará a la humanidad retos técnicos, teóricos y éticos con mayor alcance que nunca.

En 1982, el científico en computadoras Stephen Wolfram dirigió su atención a los autómatas celulares. Exploró y categorizó los tipos de complejidad que mostraban los autómatas celulares unidimensionales, y señaló cómo podían ser aplicados a fenómenos naturales como las conchas marinas y la naturaleza del crecimiento de las plantas. Norman Packard, que trabajó con Wolfram en el "Institute for Advanced Study" (Instituto para Estudios Avanzados), usó autómatas celulares para simular el crecimiento de copos de nieve, siguiendo reglas muy básicas. El animador por computadora Craig Reynolds, en el año 1987, usó de manera similar simples reglas para crear comportamientos de bandadas de pájaros en grupos de "boids" dibujados por ordenador. Sin ningún tipo de programación "de arriba abajo" (top down), los "boids" producían soluciones parecidas a los de la vida real para evadir obstáculos en su camino.



La animación por computadora ha continuado siendo un conductor comercial clave para la investigación en vida artificial, según la actividad de los creadores de películas que intentan encontrar formas más realistas y baratas de animar escenas naturales relativas a plantas vivas, movimientos de animales, movimiento del pelo y complicadas texturas orgánicas.

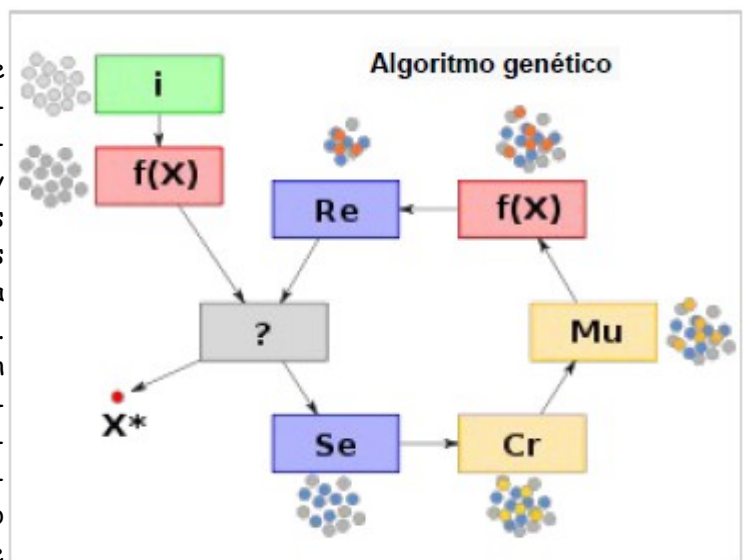
Actualmente, Alife (vida artificial) va ganando terreno entre las ciencias computacionales y parece

que en breve adquirirá identidad propia como disciplina tecnológica. De momento, sus aplicaciones más inmediatas son las siguientes:

- Sistemas complejos adaptativos, que han dado paso a una nueva generación de sistemas expertos, que son capaces de aprender y evolucionar.
- Autómatas celulares, que imitan funciones de los organismos celulares en programas complejos, aplicando el conocimiento biológico de los mismos a principios prácticos de organización en sistemas de cómputo.
- Agentes autónomos, que son cada día más usados en aplicaciones de búsqueda.
- Conocimiento de comportamientos adaptativos, para el desarrollo de robots adaptativos.
- Computación cuántica, que a través del uso de las propiedades cuánticas de los átomos y sus desplazamientos, prevé posibilitar una nueva forma de cálculos binarios.

NOTA:

Alife ha construido su metodología inspirándose fundamentalmente en la teoría evolucionista neodarwiniana (mutaciones y selección natural). Por ejemplo, en los años 1970, de la mano de John Henry Holland, surgió una de las líneas más prometedoras de la "inteligencia artificial", la de los "algoritmos genéticos". Son llamados así porque se inspiran en la evolución biológica y su base genético-molecular. Estos algoritmos hacen "evolucionar" una población de individuos sometiéndola a acciones aleatorias semejantes a las que teóricamente actúan en la evolución biológica (mutaciones y recombinaciones genéticas, así como también a una selección de acuerdo con algún criterio, en función del cual se decide cuáles son los individuos más adaptados y que sobreviven, y cuáles los menos aptos y que por lo tanto son descartados. Es incluido dentro de los algoritmos



Un algoritmo genético es un método de búsqueda dirigida basada en probabilidad. Bajo una condición muy débil (que el algoritmo mantenga "elitismo", es decir, guarde siempre al mejor elemento de la población sin hacerle ningún cambio) se puede demostrar que el algoritmo converge en probabilidad al óptimo. En otras palabras, al aumentar el número de iteraciones, la probabilidad de tener el óptimo en la población tiende a 1 (uno).

Las aplicaciones actuales de los algoritmos genéticos son las siguientes:

- Diseño automatizado, incluyendo investigación en diseño de materiales y diseño multiobjetivo de componentes automovilísticos: mejor comportamiento ante choques, ahorros de peso, mejora de aerodinámica, etc.
- Diseño automatizado de equipamiento industrial.
- Diseño automatizado de sistemas de comercio en el sector financiero.
- Optimización de carga de contenedores.
- Diseño de sistemas de distribución de aguas.
- Diseño de topologías de circuitos impresos.
- Diseño de topologías de redes computacionales.
- En Teoría de juegos, resolución de equilibrios.
- Análisis de expresión de genes.
- Aprendizaje de comportamiento de robots.
- Aprendizaje de reglas de Lógica difusa.
- Análisis lingüístico, incluyendo inducción gramatical, y otros aspectos de Procesamiento de lenguajes naturales, tales como eliminación de ambigüedad de sentido.
- Infraestructura de redes de comunicaciones móviles.
- Optimización de estructuras moleculares.
- Planificación de producción multicriteria.
- Predicción.

- Optimización de sistemas de compresión de datos, por ejemplo, usando wavelets.
- Predicción de Plegamiento de proteínas.
- Optimización de Layout.
- Predicción de estructura de ARN.
- En bioinformática, Alineamiento múltiple de secuencias.
- Aplicaciones en planificación de procesos industriales, incluyendo planificación job-shop.
- Selección óptima de modelos matemáticos para la descripción de sistemas biológicos.
- Manejo de residuos sólidos.
- Ingeniería de software.
- Construcción de horarios en grandes universidades, evitando conflictos de clases.
- Hallazgo de errores en programas.
- Optimización de producción y distribución de energía eléctrica.
- Diseño de redes geodésicas (Problemas de diseño).
- Calibración y detección de daños en estructuras civiles.

Esta tecnología, basada en las ideas de Darwin, puede ser aprovechable. Sin embargo, ello no hace del evolucionismo una correcta interpretación de la forma en que ha venido a la existencia la biodiversidad terrestre. Por ejemplo, el hecho de que las dos guerras mundiales del siglo XX hayan impulsado determinadas áreas de la tecnología hasta el límite no justifica la guerra en el interés del progreso; dichas tecnologías se hubieran desarrollado de todos modos, tal vez más lentamente pero no menos eficazmente, con otros incentivos más pacíficos y cooperadores. De la misma manera, el neodarwinismo no queda justificado debido a que su versión cibernética haya tenido muy buenas aplicaciones en muchos campos, pues su extrapolación a realidad biosférica y a la historia natural de ésta es una falacia contraproducente.

Son muchas las invenciones teóricas del hombre, pero no todas son extrapolables a la realidad. Citemos un caso importante. Consideremos el auge de las máquinas que precedió a la era de la industrialización y que ha medrado durante ella; como consecuencia surgieron las ideas mecanicistas y una filosofía llamada "mecanicismo" se impuso en el ambiente académico. El mecanicismo es la doctrina según la cual toda realidad natural tiene una estructura comparable a la de una máquina, de modo que puede explicarse de esta manera basándose en modelos de máquinas. Como concepción filosófica reduccionista, el mecanicismo sostiene que toda realidad debe ser entendida según los modelos proporcionados por la mecánica, e interpretada sobre la base de las nociones de materia y movimiento. El reloj fue durante mucho tiempo el prototipo de máquina (que por una parte liga el tiempo con el espacio que debe recorrer el péndulo o las agujas de su esfera), aparecido como el modelo de las concepciones mecanicistas de los siglos XVII hasta mediados del siglo XIX. Se trata de una metáfora radical, porque constituye no sólo un modo de entender la física de los cuerpos, es decir, lo que se llamó "mecánica moderna", sino una verdadera filosofía, o sea, una concepción del mundo en su conjunto.



El paradigma mecanicista produjo, durante tres siglos, enormes avances, tal como lo ha hecho la computación evolucionista a través de los algoritmos genéticos en campos tecnológicos. Tanto es así, que el mecanicismo generó en la sociedad la creencia de haber hallado el camino del progreso ilimitado. Además, el éxito en física del mecanicismo influenció en forma notoria otras áreas de la ciencia, tales como la economía, la biología y la sociología. Pero todo cambió en el siglo XX. A principios de dicho siglo se formularon dos teorías revolucionarias, la teoría de la "relatividad", de Albert Einstein, y la "mecánica cuántica"; y, durante su transcurso, hubo un formidable desarrollo teórico y experimental de la física de las partículas elementales, un avance sin precedentes de la cosmología y la formulación de la teoría del caos, esta última en las antípodas del mecanicismo.

El paradigma mecanicista produjo, durante tres siglos, enormes avances, tal como lo ha hecho la computación evolucionista a través de los algoritmos genéticos en campos tecnológicos. Tanto es así, que el mecanicismo generó en la sociedad la creencia de haber hallado el camino del progreso ilimitado. Además, el éxito en física del mecanicismo influenció en forma notoria otras áreas de la ciencia, tales como la economía, la biología y la sociología. Pero todo cambió en el siglo XX. A principios de dicho siglo se formularon dos teorías revolucionarias, la teoría de la "relatividad", de Albert Einstein, y la "mecánica cuántica"; y, durante su transcurso, hubo un formidable desarrollo teórico y experimental de la física de las partículas elementales, un avance sin precedentes de la cosmología y la formulación de la teoría del caos, esta última en las antípodas del mecanicismo.

En la teoría del caos se demuestra que, en muchos y frecuentes casos, los sistemas en su evolución alcanzan situaciones de inestabilidad caracterizados por cambios aleatorios totalmente impredecibles. Bajo esas circunstancias, el mecanismo de relojería del universo newtoniano es impensable y el futuro del mundo queda abierto o indeterminado, al menos para el hombre.

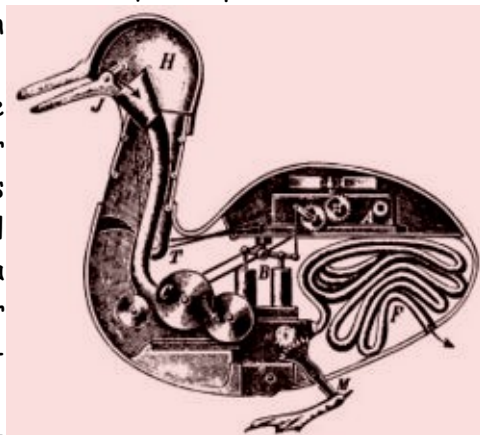
Se observa, pues, que la comunidad científica tiende a adoptar paradigmas inspirados en modelos y teorías

revolucionarios, tal como el mecanicismo o la interpretación neodarwiniana de la biodiversidad terrestre. Sin embargo, debería imponerse la cautela en la adopción de criterios de base como éstos porque las consecuencias pueden resultar lamentables. Así, el mecanicismo promovió el materialismo y la negación de toda realidad más allá de lo tangible y observable por el hombre, causando estragos en la fe que el ciudadano instruido tenía en la Sagrada Escritura; y el evolucionismo ha promovido el ateísmo y la sublimación de la "madre naturaleza" (una diosa de carácter aleatorio que produce vida a partir de la materia inerte), adormeciendo a la gente con respecto a la búsqueda de guía dada por el Creador en unos tiempos tan peligrosos como los de hoy, donde nuestro planeta corre el riesgo de ser irrecuperablemente apollado por la insensatez humana.

Repercusiones sobre Alife.

Actualmente, en el campo de la Vida Artificial (Alife) existen dos opciones para la investigación y el desarrollo tecnológico. Una de ellas considera la Vida Artificial como herramienta necesaria para estudiar el mundo natural (por ejemplo, simulando adaptaciones de individuos y poblaciones), mientras que la otra se centra en la idea de que se pueden diseñar programas que ejecutados correctamente constituyan una forma de vida por sí mismos. Pues bien, donde el teorema de Gödel puede afectar más es en esta segunda acepción del concepto Vida Artificial, y más concretamente en la idea de que se pueden crear realidades artificiales que tengan los requisitos mínimos para la creación de vida.

Para entender las restricciones que el teorema de Gödel puede imponer en el ámbito de la Vida Artificial se hace necesario conocer primero el significado del término "mecanicismo". El "mecanicismo" es un movimiento de carácter científico-filosófico que surge a partir del siglo XVII y se apodera del mundo académico, imponiendo la creencia de que el universo es explicable en términos mecánicos y se rige por procesos mecánicos. El "mecanicismo" intenta demostrar que el universo no es más que un gran sistema.



Si los físicos pudieran modelar el universo en función de las leyes físicas, la biología también podría ser modelada de acuerdo a esas mismas leyes. Según Descartes, los propios animales podrían ser considerados máquinas; y autores como Emmeche han afirmado que "un organismo no es más que una colección de átomos, una simple máquina hecha de moléculas orgánicas". A su vez, Sattler definió los seres vivos en términos mecanicistas y literalmente hizo las siguientes afirmaciones:

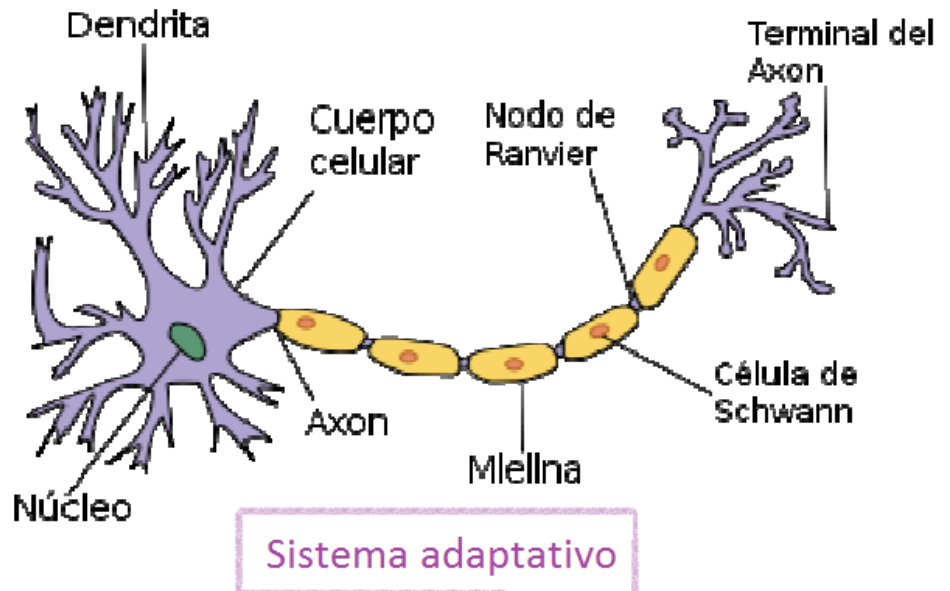
1. Los sistemas vivos pueden y deben ser vistos como sistemas físico-químicos.
2. Los sistemas vivos pueden y deben ser vistos como máquinas.
3. Los sistemas vivos pueden ser descritos formalmente. Existen leyes naturales que describen por completo los sistemas vivos.

Sin embargo, autores como Lucas y Penrose defienden la idea de que al menos en el caso de los seres humanos esto no es así, y pese a la idea que se tenía de los seres vivos como entidades físicas que se rigen por procesos mecánicos, los avances en física han hecho que esta concepción empiece a tambalearse. En lo referente a términos de Vida Artificial, la idea predominante es que puede ser descrita formalmente mediante las leyes físicas por las que se rigen los seres vivos. De los tres postulados anteriores sobre los sistemas vivos puede eliminarse el primero, ya que no van a tratarse de sistemas físico-químicos. Sin embargo, se mantienen los otros dos. Los principales términos teóricos de la Vida Artificial, en resumen, son los siguientes:

1. Los sistemas vivos pueden reducirse a las leyes descritas en los sistemas adaptativos complejos.
2. Puesto que un sistema adaptativo complejo es reducible a procesos mecánicos, debe ser posible formalizar todas las leyes que rigen en ese sistema.
3. Estas leyes pueden ser implementadas en una determinada arquitectura computacional.

El "Diccionario de filosofía" de Mario Bunge, editorial Siglo XXI de México, año 1999, página 196, expone que un "sistema" (del latín "systema", proveniente del griego "σύστημα") es un objeto compuesto cuyos componentes se relacionan con al menos algún otro componente, pudiendo ser material o conceptual. El mismo diccionario, en su página 200, explica que todos los sistemas tienen composición, estructura y entorno, pero sólo los sistemas materiales tienen mecanismo, y sólo algunos sistemas materiales tienen figura (forma). Según el "sistemismo", todos los objetos son sistemas o componentes de otro sistema.

Por ejemplo, un núcleo atómico es un sistema material físico compuesto de protones y neutrones relacionados por la interacción nuclear fuerte; una molécula es un sistema material químico compuesto de átomos relacionados por enlaces químicos; una célula es un sistema material biológico compuesto de orgánulos relacionados por enlaces químicos no covalentes y rutas metabólicas; una corteza cerebral es un sistema material psicológico (mental) compuesto de neuronas relacionadas por potenciales de acción y neurotransmisores; un ejército es un sistema material social y parcialmente artificial compuesto de personas y artefactos relacionados por el mando, el abastecimiento, la comunicación y la guerra; el anillo de los números enteros es un sistema conceptual algebraico compuesto de números positivos, negativos y el cero relacionados por la suma y la multiplicación; y una teoría científica es un sistema conceptual lógico compuesto de hipótesis, definiciones y teoremas relacionados por la correferencia (ya que todos ellos deben referirse a una misma cosa: en la teoría de conjuntos, todos los teoremas se refieren o tienen que ver con los conjuntos) y la deducción (implicación).



Los sistemas adaptativos presentan las siguientes características :

- Se adaptan automáticamente a condiciones y/o requerimientos cambiantes (no-estacionarias).
- Requieren un proceso de "entrenamiento".
- No necesitan un proceso de síntesis riguroso. Se "auto-diseñan".
- Después de entrenarse para un número de señales o patrones acotado, pueden comportarse relativamente bien ante nuevos patrones.
- Pueden repararse a si mismo, adaptándose por ejemplo a la falla de una de sus partes .
- Son más complejos de analizar que los sistemas no-adaptativos.

Un sistema adaptativo complejo (CAS, del inglés "complex adaptive system") es un tipo especial de sistema complejo; es complejo en el sentido de que es diverso y conformado por múltiples elementos interconectados; y adaptativo, porque tiene la capacidad de cambiar y aprender de la experiencia.

La expresión «sistema adaptativo complejo» (o «ciencia de la complejidad») fue acuñada en el interdisciplinario "Santa Fe Institute" por John H. Holland, Murray Gell-Mann y otros. Es a menudo usada para describir el campo académico libremente organizado que se ha desarrollado alrededor de estos sistemas. La ciencia de la complejidad no es una teoría única, ya que abarca más de un marco teórico, es sumamente interdisciplinaria y busca las respuestas a algunas preguntas fundamentales sobre los sistemas vivos, adaptables y cambiables.

Los ejemplos de sistemas adaptativos complejos incluyen el ser humano, la bolsa de valores, las sociedades de insectos y colonias de hormigas, la biosfera y el ecosistema, el cerebro y el sistema inmunitario, las células y el desarrollo embrionario, negocios de fabricación y cualquier esfuerzo de grupos sociales humanos dentro de un sistema cultural y social dado, tales como equipos de fútbol o comunidades. Hay una estrecha relación entre el campo de los CAS y la vida artificial, pues en ambas áreas los principios emergentes y de autoorganización son muy importantes.

Los teóricos, esgrimiendo la definición más reciente y genérica de vida, han llegado a la conclusión de que ésta puede ser entendida en términos de programación ejecutada en una arquitectura especial y suficientemente compleja y que cualquier programa perteneciente a ese ámbito puede ser considerado como un ser vivo. Evidentemente, esta concepción engloba a la vida artificial como caso particular, por lo que ha llegado el momento de ver cuál es la repercusión del teorema de Gödel en Alife.

John P. Sullins emplea el artículo de Steen Rasmussen titulado "Aspects of Information, Life, Reality, and Physics" y razona a partir de él. Dicho artículo presenta una serie de postulados, a saber:

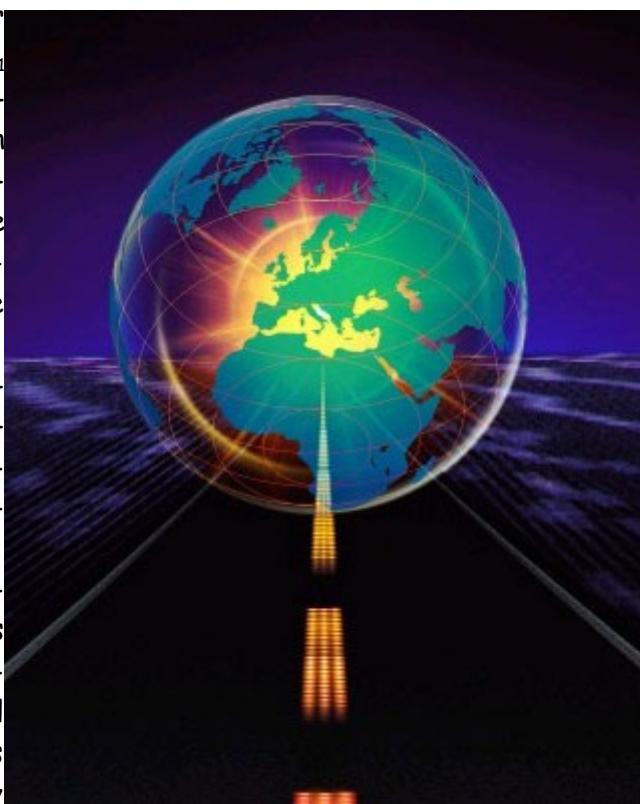
1. Una computadora universal, como la máquina de Turing, puede simular cualquier proceso físico.
2. La vida es un proceso físico, por lo que la vida puede ser simulada en una computadora universal.
3. Existen criterios que permiten diferenciar a los seres vivos de los no vivos, por lo tanto es posible determinar si un determinado proceso está vivo o no.
4. Un organismo artificial debe percibir una realidad R_2 , la cual debe ser para él tan real como para nosotros es nuestra propia realidad R_1 , pudiendo ser R_1 y R_2 la misma clase de realidad (realidades coincidentes).
5. R_1 y R_2 tienen el mismo "status" ontológico (idéntico esquema existencial, o una especie de isomorfismo de realidades).
6. Gracias al quinto postulado y al corolario extraído del segundo postulado, se puede afirmar que el status ontológico de un proceso vivo es independiente del hardware que lo soporta. En consecuencia, puesto que el status ontológico de R_1 y R_2 es el mismo, los sistemas vivos pueden crearse en un computador.
7. Es posible aprender algo acerca las propiedades fundamentales de las realidades en general y de R_1 en particular, mediante el estudio de los detalles de las diferentes R_2 's.

A partir de estos postulados, es posible suponer que se puede crear una realidad R_2 equivalente a nuestra R_1 con la condición de que las leyes físicas de R_2 sean equivalentes a las de R_1 . De ahí que los entes vivos de R_2 puedan interactuar con los de R_1 . Ahora bien, es necesario formalizar las leyes físicas de la realidad artificial R_2 , para que ésta sea capaz de soportar vida artificial. Por lo tanto, debería existir un conjunto mínimo de axiomas formales que tienen que ser empleados para crear esa física artificial.

Pero el teorema de incompletitud de Gödel, que afecta a cualquier realidad artificial, afirma que en sistemas formales axiomáticos, tales como la aritmética, existen proposiciones que aún siendo ciertas no pueden ser demostradas. Es decir, dichos sistemas serían incompletos.

Esto sugiere que las matemáticas no son formalizables, ni mucho menos mecanicistas. Por consiguiente, si las matemáticas en muchos de sus campos no son formalizables, entonces no pueden incluirse en la realidad artificial que se intenta crear. Pero esto se pudiera extrapolar más allá del campo de las matemáticas, hacia otros aspectos y "reglas" de nuestra realidad R_1 y los tales no podrían ser incluidos en R_2 . Siendo esto así, nuestra realidad y la realidad artificial no podrán tener el mismo status ontológico. Ante tal situación, el postulado número 5 de Rasmussen se viene abajo.

Semejantes desenlaces nos llevan a pensar que tal vez la vida artificial no podrá ser posible, en el sentido de que no podría equipararse isomórficamente con ninguna clase de vida de nuestra realidad R_1 , pues Gödel ha bloqueado su camino. En efecto, el fenómeno que nosotros llamamos "vida" alcanza su primera y más obligada definición en el seno de la realidad R_1 que nos acoge (o a la que nosotros pertenecemos);



por lo tanto, si una supuesta "vida artificial" de R_2 no puede interactuar indeterminísticamente (de forma no algorítmica) con la vida de R_1 : ¿de qué manera es vida dicha "vida artificial"? (No obstante, éste es un tema controversial, aparentemente no resuelto, puesto que según las Santas Escrituras existe vida espiritual en un universo anterior y diferente al nuestro, cuyos moradores son criaturas inteligentes o "ángeles", pertenecientes a una realidad R_0 diferente de la nuestra, aunque ellos sí poseen la capacidad de interactuar indeterminísticamente con R_1 y los humanos también poseen igualmente la capacidad de interactuar indeterminísticamente con R_0 ; de ahí que sea pertinente la sospecha de que la misma o parecida relación indeterminista pueda lograrse algún día entre R_1 y R_2).

Sin embargo, aunque no fuera viable crear realidades artificiales con procesos cibernéticos que actúen como entes vivos, algunos teóricos opinan que el campo de la robótica abre nuevas vías, de tal modo que pueden crearse seres vivos artificiales en nuestra propia realidad. Para ello bastaría lograr que los robots interactuaran con el medio y a la vez habría que dotarlos de la capacidad de adaptación y reproducción, con lo cual la Vida Artificial aún seguiría siendo posible, según opinan. No obstante, esta creencia no es compartida por algunos intelectuales de alto nivel porque no ven de manera alguna cómo evadir a los robots de una base algorítmica perteneciente obviamente a R_2 , la cual los obliga a actuar determinísticamente (de forma algorítmica) en R_1 .

Repercusiones lingüísticas.

La Lingüística es un área que ha sido objeto de estudio para numerosas disciplinas, desde la filosofía a la psicología, pasando por la informática. Su fin es estudiar las estructuras gramaticales y sintácticas del lenguaje. La Lingüística, pues, supone una base de comunicación. En el campo de la inteligencia artificial, por ejemplo, se pretende enseñar al computador a entender y emitir formalmente enunciados comprensibles para el hombre. Aquí entra en juego también la "semántica" (disciplina que se encarga de estudiar el significado de las palabras). Es vital, por tanto, comprender la gran importancia de la Lingüística como base para la comunicación, ya sea entre hombres o ya entre hombres y máquinas.

La base de la lingüística es una serie finita de normas que establecen de qué manera debe realizarse la comunicación; y se puede entender, por tanto, como un conjunto finito de axiomas, siendo este entendimiento el que coloca a la lingüística dentro de la hipótesis del teorema de Gödel y por tanto podemos sacarle las conclusiones que pertenecen a la tesis del mismo. Podemos concluir, por ende, que todo sistema lingüístico coherente debe contener algo que resulta indecible.

Dado que a medida que nos alejamos de la rigurosidad científica vamos relajando los requisitos para aplicar el teorema, los resultados obtenidos son pues discutibles o parcialmente aplicables. Por ejemplo, en el ámbito de la lingüística encontramos la poesía como clara excepción. La poesía no posee determinadas limitaciones, ya que permite darse contradicciones e incoherencias que son el fruto de la aplicación de numerosas figuras literarias que inexorablemente quedan fuera de la axiomatización inicial.

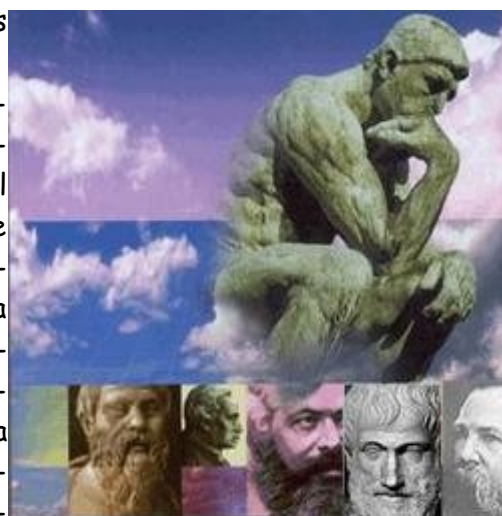
Repercusiones filosóficas.

La obra *PERSPICACIA PARA COMPRENDER LAS ESCRITURAS*, publicada en 1991 por la Sociedad Watchtower Bible And Tract en español y otros idiomas, tomo 1, página 994, bajo el término FILOSOFÍA, señala: «La palabra griega **fi-lo-so-fí-a** significa literalmente "amor a la sabiduría". En su uso moderno, el término tiene que ver con los intentos humanos por entender e interpretar, por medio de la razón y la especulación, toda la experiencia humana, las causas y los principios fundamentales de la realidad».



Según el Génesis, la humanidad se dispersó después del Diluvio y grupos tribales medraron en lugares geográficos distantes y lejanos, originando posteriores grupos nacionales e imperios. La dispersión también produjo un inevitable alejamiento de Dios y de la religión que él aprobaba (practicada por los patriarcas de la historia bíblica). Pero el interés de ciertos individuos humanos por entender la realidad y las claves de la existencia siempre debió encontrar simpatía y apoyo social, de tal manera que líderes y pensadores de todas las culturas intentaron dar una explicación más o menos coherente que satisficiera la necesidad de muchos. Los egipcios y los babilonios de la antigüedad se valieron de enseñanzas mitológicas y mágicas para calmar el hambre humana en este sentido, y consiguieron sosegar con engaños y mentiras la mente de la mayoría. Pero los griegos no se contentaron con la mitología, a la que consideraron sospechosamente engañosa y manipuladora de las masas ignorantes, sino que buscaron maneras más fidedignas de atisbar la verdad de las cosas y de los fenómenos, y se dieron cuenta de que la razón era la herramienta más poderosa que tenía el ser humano para buscar la verdad y la sabiduría. Por lo tanto, a partir de la actividad intelectual de ellos, en pro de la búsqueda de orientaciones trascendentales, surgió la Filosofía (es decir, el amor a la sabiduría).

Así, pues, la Filosofía muestra toda la apariencia de ser un sucedáneo o supletorio que tiene por objeto dar respuestas a cuestiones trascendentales que sólo la verdadera revelación procedente del Creador, y canalizada a través de la religión que él aprueba, puede proporcionar al ser humano, sin el perjuicio de llevarlo a error. La Filosofía, por tanto, es el principal subproducto acumulativo (en forma de paradigmas y teorías) de una inquietud humana persistente e insuperable, que pretende dar la mejor explicación (necesariamente especulativa) para mitigar la dolorosa frustración mental que causa la falta de respuesta a las preguntas fundamentales que acosan al hombre: ¿De dónde venimos? ¿Por qué estamos aquí? ¿Hacia dónde vamos?



Platón, el gran filósofo griego, enseñaba y creía en la existencia de un mundo sensible que podemos conocer a través de los sentidos y de un mundo de las ideas puras que sólo podemos alcanzar por medio de la razón. Para los platónicos, las verdades matemáticas, los teoremas, no son convenciones arbitrarias sino que, por el contrario, tienen una realidad exterior independiente de nuestra existencia. Según esta filosofía, el matemático no inventa ningún teorema sino que lo descubre, así que su labor se asemeja más a la de un explorador de mundos recónditos que a la de un inventor. Hoy, por supuesto, estas creencias están totalmente desfasadas.

Desde los griegos, y durante siglos, los filósofos han creído que la razón humana tiene poderes ilimitados. Leibnitz soñó con un algoritmo capaz de dilucidar la veracidad o falsedad de cualquier proposición, y la tumba del gran matemático alemán David Hilbert exhibe como epitafio la frase "Debemos saber, sabremos", que resume su confianza en la capacidad de la mente humana como instrumento de conocimiento.

Sin embargo, el fisiólogo alemán Emil du Bois había advertido acerca de "la posible ignorancia definitiva del metafísico sobre lo que está más allá de la experiencia". Las sospechas de Du Bois serían confirmadas medio siglo más tarde por Kurt Gödel, un platónico que solía dar sus caminatas vespertinas en la sola compañía de Einstein y que moriría de inanición. En un trabajo publicado en 1931, tan revolucionario como la Teoría de la Relatividad de Einstein, el joven Gödel demostró que en cualquier sistema lógico basado en axiomas y reglas de inferencia existen enunciados cuya verdad o falsedad nunca podremos decidir, basándonos en el propio sistema. Y como corolario, Gödel probó que jamás podrá demostrarse que las matemáticas estén exentas de contradicciones internas, es decir, que nadie podrá jamás probar su consistencia lógica.

La conclusión de Gödel no puede ser más desoladora ni la ironía mayor. La matemática, paradigma de la precisión humana, estará por siempre destinada a descansar sobre bases lógicas cuya consistencia se

debe aceptar más bien como un acto de fe. Para algunos teóricos esta situación se asemeja a la alegoría de Platón, donde, atados de pies y manos en la caverna, no queda más remedio que resignarse a contemplar las sombras de un mundo inexpugnable, cuyos secretos permanecerán ocultos para siempre en la más densa bruma.

La filosofía, o mejor dicho, las filosofías, son disciplinas del conocimiento que también parten de un sistema finito de axiomas básicos, por lo que igualmente deben de sujetarse a las limitaciones impuestas por el teorema de Gödel. La implicación es que cualquier sistema filosófico, sin importar su grado de complejidad, resulta incompleto. Es decir, todo sistema filosófico contiene dentro de sí mismo más ase-



veraciones verdaderas que las que puede demostrar como tales, de acuerdo con sus propias reglas. Esto significa que muchas de las verdades filosóficas nunca podrán decidirse dentro del sistema filosófico que consideremos, cualquiera que éste sea. Y aun si el sistema filosófico en cuestión se aumentara, incluyendo un número indefinido de axiomas adicionales, siempre existirán verdades que no pueden ser formalmente derivadas del conjunto aumentado.

El teorema de Gödel establece que la "verificabilidad" es un concepto más débil que la "verdad", en tanto que existen proposiciones verdaderas que no es posible verificar, sin importar la complejidad del sistema filosófico subyacente.

Para muchos pensadores, el teorema de Gödel constituye el último clavo en el ataúd de la filosofía clásica. Hubo una época en que la filosofía abarcaba todos los campos del conocimiento, pero con la llegada del método científico y el resultante auge de la ciencia, la filosofía fue perdiendo poco a poco muchos de los objetos de su estudio. La lógica, por ejemplo, que una vez llegó a ser un baluarte de la filosofía, pero hoy forma parte de las matemáticas. La lingüística, antes también del interés de los filósofos, ahora queda comprendida en la teoría de la información. Las especulaciones filosóficas sobre la mente humana, que dieron lugar al nacimiento de la psicología, hoy encuentran poderosos resultados en los trabajos de investigadores en inteligencia artificial e informática.

La filosofía, desplazada en muchos de sus territorios por la ciencia, ha tenido que ir encontrando nuevos objetos de estudio. Pero, de alguna forma, el teorema de Gödel cierra un círculo para la filosofía, completa un cerco, pues hoy un filósofo sabe de las limitaciones que el teorema de Gödel implica para su disciplina, por lo que está obligado a redefinir su objeto de estudio y termina ampliándolo para considerar nuevamente a todo el conocimiento, pero desde una perspectiva nueva, que considera ya las limitaciones impuestas por Gödel.

Curiosamente, muchos filósofos modernos encuentran campos fértiles para su disciplina en aspectos del conocimiento que también le interesaron a Gödel, a Einstein y a otros grandes pensadores por el simple hecho de que no se basan en sistemas axiomáticos finitos. Nos referimos a lo que pudiera llamarse "el misticismo". Wittgenstein, quien tuvo influencia sobre Gödel en sus años de estudiante en Viena, dijo al respecto: "Hay en efecto cosas que no pueden ponerse en palabras. Ellas simplemente se manifiestan. Ellas constituyen lo místico". El propio Wittgenstein, amigo cercano de los integrantes del Círculo de Viena, aunque no miembro del mismo, ofrece en su libro "Tractatus Logico-Philosophicus" una solución particular a los problemas tradicionales de la filosofía: "Aquello de lo que no nos es posible hablar, debemos dejarlo pasar en silencio". Wittgenstein a veces tomó posturas filosóficas que se asemejan al misticismo Zen.

NOTA:

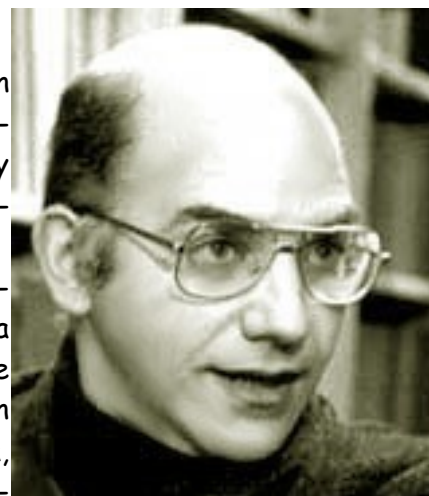
¿Será el Teorema de Gödel un indicio de que la ciencia, la especulación y la filosofía humanas, incapaces de

atisbar por sí mismas las respuestas a las preguntas fundamentales, invitan a la mente a buscar en otra dirección? ¿Qué otra dirección hay, salvo el esoterismo, la magia, la mitología y el misticismo? ¿Es ésa una dirección acertada? ¿No son las revelaciones sagradas procedentes del Creador, entre las que se encuentra el Génesis, más provechosas y fiables que el esoterismo, la magia, la mitología y el misticismo?

Repercusiones informáticas.

La prestigiosa revista "Investigación y ciencia" de julio-2003, en español, páginas 28 a 35, inserta un artículo titulado "Ordenadores, paradojas y fundamentos de las matemáticas", escrito por el reputado Gregory J. Chaitin (ver Nota a continuación), el cual, parafraseado y complementado en parte, dice lo siguiente:

«Grandes pensadores del siglo XX han demostrado que la incompletitud (la incapacidad de atisbar todas las implicaciones de una teoría) y la aleatoriedad (el hallazgo fortuito de implicaciones de una teoría, sin que medie ningún método encaminado a ello ni sea concebible a priori) medran incluso en el mundo austero de la matemática. El mundo de la informática, especialmente en sus fundamentos, contribuye su testimonio en este sentido. Todos saben que los ordenadores son aparatos muy prácticos y se han vuelto indispensables en el funcionamiento de la sociedad moderna. Pero hasta muchos informáticos han olvidado que fueron inventados para que ayudasen a aclarar una cuestión filosófica (metacientífica) concerniente a los fundamentos de la matemática.



David Hilbert, célebre matemático alemán, propuso a principios del siglo XX la formalización completa de todo el razonamiento matemático. Pero resultó imposible formalizar el razonamiento matemático en su totalidad, por lo que, en cierto sentido, su idea fue un tremendo fracaso. Mas, en otro sentido, tuvo un gran éxito, porque el formalismo ha sido uno de los grandes dones que nos ha dado el siglo XX. No para el razonamiento o la deducción matemática, sino para la programación, el cálculo y la computación.

Por otro lado, tenemos a Bertrand Russell, matemático que más tarde se hizo filósofo y luego humanista. Constituye una figura clave en metaciencia, porque descubrió algunas paradojas muy perturbadoras en la lógica misma. Es decir, halló casos en los que razonamientos en apariencia impecables conducen a contradicciones. Las aportaciones de Russell fueron fundamentales para que se difundiese la idea de que estas contradicciones causaban una crisis grave y tenían de ser resueltas de algún modo.

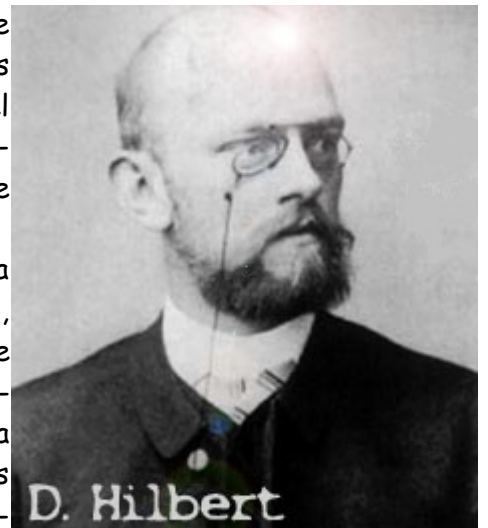
Las paradojas que Russell descubrió atrajeron mucho la atención en los círculos matemáticos, pero, curiosamente, tan sólo una de ellas acabó llevando su nombre. He aquí la denominada Paradoja de Russell: Supongamos el conjunto A cuyos elementos son todas las ideas abstractas. Es evidente que A pertenecerá a A porque A mismo es una idea abstracta. En cambio, el conjunto B de todas las bicicletas no pertenece a B, pues B no es una bicicleta. Llamaremos CLASE A al conjunto A' formado por todos aquellos conjuntos que pertenecen a sí mismos, y llamaremos CLASE B al conjunto B' formado por todos aquellos conjuntos que no pertenecen a sí mismos. Es evidente que todo conjunto concebible sólo puede pertenecer a uno y sólo uno de los conjuntos A' o B'. Por lo tanto, cabe preguntarse: ¿Pertenecerá B' a A' o no?. Si decimos que B' no pertenece a A', entonces resulta que B' pertenece a B' y por lo tanto debería pertenecer a A'. Pero si decimos que B' pertenece a A' entonces resulta que B' no pertenece a B' y por lo tanto debería pertenecer a B'.

La paradoja de Russell es un eco, en la teoría de conjuntos, de otra paradoja muy anterior, ya conocida por los antiguos griegos. Es posible desdeñar tales paradojas, considerándolas juegos de palabras sin significado, pero algunas de las más grandes inteligencias del siglo XX se las tomaron muy en serio. ¿Por qué? Tal vez porque vieron en ellas un indicio, un germen que pudiera estar contaminando áreas del conocimiento científico fuertemente atesoradas y finalmente derrumbar lo que se ha venido dando por sentado.

Una de las reacciones a la crisis de la lógica fue la tentativa de Hilbert de intentar eludirla por medio del formalismo. Él creía que, si encontramos conflictos al seguir razonamientos que parecen correctos,

la solución consiste en utilizar la lógica simbólica para crear un lenguaje artificial inmune a las paradojas y ser muy cuidadosos al especificar sus reglas, de modo que no surjan ya contradicciones. Después de todo, el lenguaje cotidiano (que fácilmente podría infectar al edificio de la ciencia) es ambiguo y no siempre se sabe con certeza cuál es el antecedente de un pronombre.

La idea de Hilbert consistía en crear para el razonamiento, para la deducción y para la matemática un lenguaje artificial perfecto. Hizo, por tanto, hincapié en la importancia del método axiomático, donde se parte de un conjunto de postulados básicos (axiomas) y reglas bien definidas para efectuar deducciones y derivar teoremas válidos. La idea de trabajar matemáticamente de este modo se remonta a los antiguos griegos, y en particular, a Euclides y su geometría, un sistema de hermosa claridad matemática.



Dicho de otro modo, era intención de Hilbert ser absolutamente riguroso en lo que se refería a las reglas del juego —las definiciones, los conceptos elementales, la gramática y el lenguaje—, de modo que hubiera un general acuerdo sobre la forma en que había de hacerse la matemática. En la práctica resultaría excesivamente laborioso utilizar un sistema axiomático tal, incómodo para desarrollar nuevos resultados o teorías matemáticas, pero su importancia desde el punto de vista filosófico (metacientífico) sería grande.

La propuesta de Hilbert no parecía demasiado espinosa. Después de todo, no hacía sino seguir las tradiciones de formalización de la matemática; seguía una larga historia de trabajos de Leibniz, Boole, Frege y Peano. Pero lo que él deseaba era recorrer el camino completo, hasta el mismísimo fin, y formalizar la totalidad de la matemática. La gran sorpresa fue que tal cosa no resultase posible. Hilbert estaba equivocado, aunque su error fue tremendamente fructífero porque había planteado una pregunta muy acertada. Al formularla creó una disciplina del todo nueva, la metamatemática, un campo introspectivo de la matemática en el que se estudia lo que la matemática puede, o no puede, conseguir.

La noción fundamental es la siguiente: en cuanto se encierra la matemática en un lenguaje artificial a la manera de Hilbert, en cuanto se establece un sistema axiomático completamente formal, podemos olvidarnos de que posee algún significado y limitarnos a considerarla un juego; sus piezas serían marcas trazadas en un papel, y la tarea consistiría en deducir teoremas de los axiomas. Claro está, si se hace matemática es porque tiene significado. Pero si se desea estudiar la matemática utilizando métodos puramente matemáticos, es necesario destilar el significado y limitarnos a examinar un lenguaje artificial con reglas absolutamente precisas.

¿Qué clase de cuestiones podríamos plantear? Por ejemplo, si se puede o no demostrar que $0 = 1$ (deseamos que no se pueda). En general, dada una proposición cualquiera A , podemos preguntarnos si es posible demostrar la veracidad de A , o bien la veracidad de la proposición contraria de A (la negación de A). Se considera que un sistema axiomático formal es completo si se puede demostrar la veracidad de cualquier A , o bien su falsedad.

Hilbert perseguía la creación de reglas tan precisas que toda demostración pudiera siempre someterse a un arbitraje imparcial, a un procedimiento mecánico capaz de afirmar "esta demostración se atiene a las reglas", o tal vez "hay un error tipográfico en la línea 4", o "eso que en la línea 4 se supone que es consecuencia de la línea 3, en realidad no lo es", etc. Ese veredicto debería ser final, sin apelación.

Hilbert realmente no pensaba que la labor humana de creación matemática hubiera de llevarse a cabo de un modo tan algorítmico, sino más bien que, si se pudiera hacer matemática de ese modo se podría utilizar la propia matemática para estudiar su alcance o poder. Y Hilbert pensó que él mismo iba a ser capaz de ejecutar tal empresa. Podemos, pues, tratar de imaginar su enorme desconcierto cuando en 1931 el matemático austríaco Kurt Gödel demostró que el plan de "rescate" de Hilbert no era en modo alguno realizable. Jamás podría ser llevado a efecto, ni siquiera en sus comienzos.

Gödel dinamitó la visión de Hilbert en 1931. Por entonces era docente en la Universidad de Viena, si bien procedía de la hoy llamada República Checa, de la ciudad de Brno en concreto, que en aquella época formaba parte del Imperio Austro-húngaro. Posteriormente, pasaría, como Einstein, al Instituto de Estudios Avanzados de Princeton, EEUU.

El descubrimiento de Gödel fue pasmoso: Hilbert estaba totalmente equivocado; no hay modo de que exista un sistema axiomático para la totalidad de la matemática en el que quede claro como el agua si un enunciado es verdadero o no. Con mayor precisión: Gödel descubrió que el plan falla aun limitándose a la aritmética elemental, es decir, a los números 0, 1, 2, 3..., y a la adición y multiplicación de estos números.

Cualquier sistema formal que trate de contener toda la verdad y nada más que la verdad respecto a la adición y la multiplicación de los números 0, 1, 2, 3,... tendrá que ser incompleto. O más bien: será, ora incoherente, ora incompleto. Por tanto, si se supone que solamente dice la verdad, entonces no dirá toda la verdad. En particular, si se supone que los axiomas y las reglas de deducción no permiten la demostración de teoremas falsos, entonces habrá teoremas verdaderos que no podrán ser demostrados.

La demostración de la incompletitud dada por Gödel es muy ingeniosa. Muy paradójica. En realidad, lo que Gödel hace es construir una aseveración que dice de sí misma: "¡Soy indemostrable!". Desde luego, hará falta muchísimo ingenio para poder construir en la teoría elemental de números —en la aritmética— un enunciado matemático que se describa a sí mismo y diga semejante cosa, pero si fuéramos capaces de lograrlo, enseguida comprenderíamos que estaríamos en un brete. ¿Por qué? Porque si el enunciado es demostrable, entonces es necesariamente falso; estaríamos demostrando resultados falsos. Si es indemostrable, como dice de sí mismo, entonces es verdadero y la matemática sería incompleta.

Hay en la demostración de Gödel muchos detalles técnicos complicados. Pero al consultar su artículo original, encontramos en él algo que se parece mucho a la programación en LISP (listas de programación). Es debido a que la demostración de Gödel comporta la definición recursiva (recurrente, reiterada o repetitiva) de una gran cantidad de funciones que operan sobre listas, y eso es precisamente lo que hace LISP. Así pues, aunque en 1931 no existían los ordenadores ni los lenguajes de programación, una mirada retrospectiva deja ver claramente un lenguaje de programación en el núcleo del artículo original de Gödel.

John von Neumann, otro famoso matemático de aquellos tiempos (que, dicho sea de paso, tuvo un importante papel en la promoción y la creación de la tecnología informática en los Estados Unidos), apreció inmediatamente el hallazgo de Gödel. Von Neumann jamás se había planteado que el proyecto de Hilbert pudiera ser erróneo. Así pues, Gödel no sólo había demostrado una inteligencia apabullante, sino que tuvo la valentía de señalar que Hilbert podría estar equivocado.

Muchos consideraron que el artículo de Gödel era absolutamente devastador. Toda la filosofía matemática (metamatemática) tradicional acababa de quedar reducida a escombros. En 1931, sin embargo, había en Europa algunos otros problemas de los que preocuparse con mayor interés: una gran depresión económica y una guerra en ciernes (la amenaza de una Segunda Guerra Mundial).

El siguiente avance de importancia tuvo lugar cinco años después (1936), en Inglaterra, cuando Alan Turing descubrió la "no-computabilidad". Recordemos que, según Hilbert, debía existir "un procedimiento mecánico" que decidiese si una demostración se atenía a las reglas o no. Hilbert no aclaró nunca qué entendía por "procedimiento mecánico". Turing, en esencia, vino a decir que se trataba de una máquina (una máquina de un tipo que ahora llamamos "máquina de Turing").

El artículo original de Turing contiene un lenguaje lo que hoy denominaríamos un lenguaje de pro-



gramación, lo mismo que el artículo de Gödel. Pero el lenguaje de programación de Turing no era un lenguaje de alto nivel, como el LISP; se trataba más bien de un lenguaje de máquina, el código "en crudo" formado por unos y ceros que se le suministra al procesador central de un ordenador. El invento de Turing de 1936 es, de hecho, un lenguaje de máquina horrible, que nadie querría utilizar hoy, porque es demasiado rudimentario.

Pero aunque las máquinas computadoras hipotéticas de Turing sean muy sencillas, y su lenguaje de máquina bastante primitivo, no carecen precisamente de versatilidad. En su artículo de 1936, Turing afirmaba que una máquina tal debería ser capaz de efectuar cualquier cómputo que un ser humano pudiese llevar a cabo.

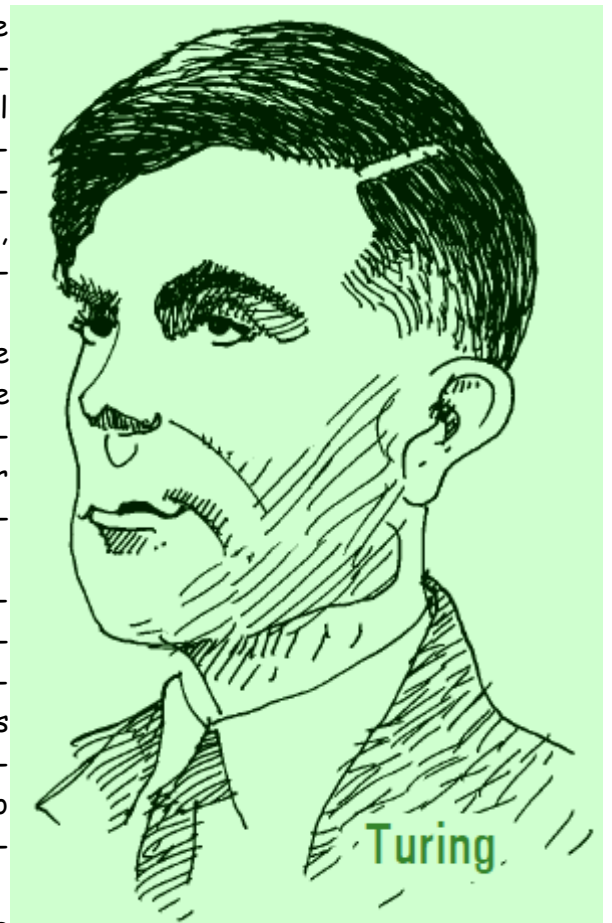
En este punto, el curso del razonamiento de Turing experimenta un violento giro: ¿Qué le sería imposible a semejante máquina? ¿Qué es lo que no podría hacer? Y Turing encuentra inmediatamente un problema que ninguna máquina de las que llevan su nombre podría resolver: el problema de la detención, es decir, decidir de antemano si una máquina de Turing (o un programa de ordenador) acabará por hallar su solución deseada y, por tanto, se detendrá.

Si se impone un límite de tiempo, este problema tiene muy fácil solución. Supongamos que deseamos saber si un programa dado llegará a detenerse en el plazo de un año. En tal caso, basta hacerlo funcionar durante un año y observar si se detiene o no. Pero lo que Turing hizo ver es que podemos encontrarnos en una dificultad muy seria si no se impone límite de tiempo, si tratamos de deducir a priori si un programa se detendrá o no, sin limitarnos meramente a hacerlo funcionar.

Veamos el asunto con más detenimiento. Supongamos posible la creación de un programa de ordenador P capaz de averiguar si un programa G , cualquiera que sea, llegará a detenerse. Llamémoslo a P , por comodidad, un "verificador de terminación". En teoría, a P le suministraríamos un programa G y emitiría una respuesta: "sí, este programa terminará," o bien, "no, este programa seguirá haciendo girar sus ruedas en un bucle infinito y nunca llegará a detenerse". Preparemos ahora un segundo programa M basado en el verificador de terminación P . Consistirá M en una modificación del verificador P de modo que, cuando se le entregue a M para examen un programa que termine, entre M en un bucle infinito. Y aquí viene la parte sutil: suministremos al nuevo programa M una copia de sí mismo. ¿Qué hará?

No olvidemos que se ha preparado el nuevo programa de verificación M de manera que entre en un bucle infinito si el programa sometido a prueba termina. Pero ahora el programa objeto de verificación es el propio programa verificador modificado M . Por consiguiente, si terminase, habría de entrar en un bucle infinito, lo que significa que no termina: una contradicción. Tampoco sirve de nada suponer lo contrario. Si el programa M no terminase, el verificador de terminación M indicaría tal hecho, y el programa M no entraría en bucle infinito, llegando, pues, a término (y terminaría, contra lo supuesto). Esta paradoja llevó a Turing a considerar que sería imposible idear un verificador M_u de terminación universal.

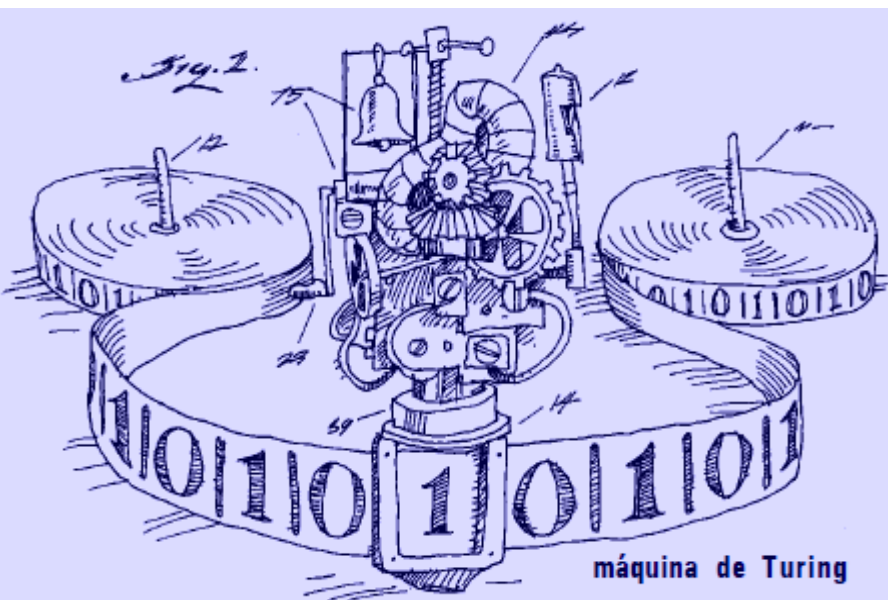
Lo más interesante es que Turing dedujo un corolario inmediato: Si no hay forma de determinar de antemano mediante cálculos si un programa va a detenerse o no, tampoco puede haber ningún modo de averiguarlo mediante razonamientos. Ningún sistema axiomático formal puede facultarnos para decidir si un programa acabará por detenerse. ¿Por qué? Porque si fuera posible utilizar a tal fin un sistema axiomático, éste nos proporcionaría los medios para calcular por adelantado si un programa se detendrá o no. Lo cual es imposible, pues se obtendría una paradoja del estilo de "Esta aseveración es falsa": Se puede crear



un programa que se detiene si y solamente si no se detiene. La paradoja es similar a la descubierta por Gödel en sus investigaciones sobre la teoría de números (Recordemos que no había dificultades mayores en el sistema que Gödel examinó que las que 0, 1, 2, 3..., la adición y la multiplicación ofrecen). La proeza de Turing consistió en demostrar que ningún sistema axiomático formal puede ser completo.

Al desencadenarse la Segunda Guerra Mundial, Turing comenzó a trabajar en criptografía y von Neumann en el cálculo de detonaciones de bombas atómicas. El mundo dejó de lado, durante un tiempo, el problema de la incompletitud de los sistemas axiomáticos.

La generación de matemáticos o de teóricos interesados en estas profundas cuestiones metacientíficas quedó prácticamente extinguida durante la Segunda Guerra Mundial. Luego vino el matemático Gregory J. Chaitin, del actual Centro de Investigación Thomas J. Watson de IBM, en Yorktown Heights, Nueva York. Éste ha sido, a lo largo de las cuatro últimas décadas, el principal arquitecto de la teoría algorítmica de la información, que inventó cuando todavía no contaba 20 años de edad. Su logro más reciente ha consistido en transformar la teoría algorítmica de la información de modo que sea aplicable a los programas informáticos reales.



A finales de los años cincuenta, Chaitin era casi un niño, pero leyó en Scientific American un artículo sobre Gödel y la incompletitud. El resultado de Gödel le dejó fascinado, aunque en realidad no pudo comprenderlo del todo; le pareció que había en él algo dudoso. En cuanto al método de Turing, consideró que profundizaba mucho más, pero todavía no se sentía satisfecho. Fue por entonces cuando se le ocurrió una curiosa idea sobre la aleatoriedad.

De muchacho también leyó mucho acerca de otra famosa cuestión intelectual, no la de los fundamentos de la matemática, sino la de los fundamentos de la física —sobre la teoría de la relatividad y la cosmología, e incluso más frecuentemente sobre la mecánica cuántica—. Aprendió que cuando las cosas son muy pequeñas, el mundo físico se comporta de una forma descabellada; en realidad, es aleatorio; es intrínsecamente impredecible. Estaba leyendo acerca de todo esto, y empezó a considerar si no habría también aleatoriedad en la matemática pura. Empezó a sospechar que ésa pudiera ser la verdadera causa de la incompletitud.

Hay un ejemplo que viene al caso en la teoría elemental de números, donde se plantean ciertas cuestiones muy difíciles. Tomemos los números primos. Si estamos interesados en su estructura de detalle, resulta que los números primos se comportan de forma muy impredecible. Es cierto que existen en ellos regularidades estadísticas. Se tiene, sea por caso, el llamado "teorema de los números primos", que pronostica con muy buena precisión la distribución media de los números primos. Pero en lo que toca a la distribución detallada de cada número primo, parece a las claras aleatoria.

Chaitin empezó, pues, a pensar que pudiera ser que la aleatoriedad inherente a la matemática proporcionase una razón más profunda para toda esta incompletitud. A mediados de los años 1960, A. N. Kolmogoroff, en la Unión Soviética, y Chaitin en EEUU, cada uno por su lado, aportaron nuevas ideas, a las que podríamos llamar "teoría algorítmica de la información", de acuerdo con Chaitin. La idea fundamental es muy sencilla: se trata, simplemente, de medir la complejidad computacional.

Chaitin encontró una de las primeras referencias a la complejidad algorítmica en un trabajo de von Neumann. Turing consideraba a la computadora como mero concepto matemático —una computadora perfecta, que jamás comete errores, que dispone de tanto espacio y tiempo como necesite—. Después de que

Turing diese a conocer esta idea, el paso lógico siguiente para un matemático consistía en calcular el tiempo necesario para efectuar un cálculo; sería una medida de la complejidad de éste. Hacia 1950, von Neumann hizo resaltar la importancia de la complejidad temporal de los cálculos; hoy es una especialidad bien desarrollada.

La idea "sui generis" de Chaitin no era estudiar el tiempo, a pesar de que, desde un punto de vista práctico, fuera muy importante, sino el tamaño de los programas informáticos, la cantidad de información que es necesario proporcionar a un ordenador para que realice una determinada tarea. ¿Por qué era esto muy interesante? Porque la noción de complejidad asociada al tamaño del programa se podría ligar con la noción de "entropía" (medida para evaluar el desorden de un sistema) de la física.

Recordemos que la "entropía" desempeñó un papel crucial en los trabajos de un famoso físico del siglo XIX, Ludwig Boltzmann, y ocupa un lugar central en la mecánica estadística y en la termodinámica. La entropía mide el grado de desorden, caos y aleatoriedad de un sistema físico. La entropía de un cristal es pequeña (pues se trata de un sistema molecular mínimamente desordenado o altamente ordenado); pero en un gas a temperatura ambiente, la entropía es alta (pues se trata de un sistema molecular altamente desordenado o muy poco ordenado).

La entropía guarda relación con una cuestión filosófica (metacientífica) de la mayor importancia, a saber: ¿por qué corre el tiempo en un solo sentido? En la vida ordinaria existe, desde luego, una gran diferencia entre la retrogradación y la progresión en el tiempo. Un vaso se rompe, pero no se recompone espontáneamente. De igual modo, en la teoría de Boltzmann la entropía tiene necesariamente que aumentar: el sistema ha de adquirir cada vez mayor desorden. Tal premisa se denomina "Segundo Principio de la Termodinámica".

Los contemporáneos de Boltzmann no conseguían ver la forma de deducir este resultado a partir de la física newtoniana. Después de todo, en un gas, donde los átomos chocan y rebotan como si fueran bolas de billar, cada interacción es reversible. Si tuviéramos algún modo de filmar una pequeña porción de gas durante un breve tiempo, no podríamos saber, al ver la película, si estaba siendo pasada hacia delante o hacia atrás. Pero la teoría de los gases de Boltzmann afirma que existe una flecha del tiempo, que un sistema partirá de un estado ordenado y acabará en un estado muy desordenado y mezclado. Existe incluso un nombre amedrentador para la situación final: la "muerte térmica".

La relación entre las ideas de Chaitin y la teoría de Boltzmann se debe a que el tamaño de un programa de ordenador es análogo al grado de desorden de un sistema físico. El programa necesario para especificar dónde se encuentran todos los átomos de un gas tendría que ser enorme; en cambio, para la descripción de un cristal no haría falta un programa tan grande, a causa de la regularidad de su estructura. La entropía y el tamaño de un programa se encuentran, pues, íntimamente relacionados.

La noción de complejidad medida por el tamaño de un programa guarda relación también con la filo-



LAS INVESTIGACIONES DE KURT GÖDEL condujeron a la concepción moderna de la aleatoriedad como propiedad tan inherente a la matemática como a la física. Albert Einstein se resistía a aceptarlo. A pesar de ello, los dos fueron íntimos amigos en sus días de Princeton.

sofía del método científico. Ray Solomonoff (un científico informático que trabajaba en Zator Company, en Cambridge, Massachusetts) propuso esa idea en 1960, en un congreso profesional; Chaitin no tuvo noticia de su trabajo hasta después de haber llegado por mí mismo, varios años más tarde, a ideas muy parecidas. Basta pensar en el principio de "la navaja de Occam": la teoría más sencilla es la mejor. Ahora bien, ¿qué es una teoría? Es un programa de ordenador para la predicción de observaciones. Y el aserto de que la mejor teoría es la más sencilla se traduce en la afirmación de que un programa informático breve o conciso constituye la teoría óptima.



¿Y si no existe una teoría concisa? ¿Y si el programa más breve capaz de reproducir un conjunto de datos experimentales es del mismo tamaño que el conjunto de datos? En este caso, la teoría no sirve de nada —es un amañío—; los datos resultarían incomprensibles, aleatorios (pues no sería posible establecer para ellos ninguna fórmula definitoria o una regularidad común). Una teoría sólo es buena en la medida en que comprime los datos hasta crear un sistema, mucho menor, de hipótesis teóricas y de reglas de deducción.

Así pues, podríamos definir lo aleatorio como lo que no puede ser comprimido (o comprendido). La única forma de describirle a alguien un objeto o un número que es completamente aleatorio consiste en exhibírselo y decirle: "Aquí lo tienes". Dado que carece de estructura o de regularidad, no existe otra descripción más concisa. En el otro extremo se encuentran los objetos o los números que poseen una gran regularidad. Podría describirse uno de ellos diciendo, por ejemplo, que consiste en un millón de repeticiones de 01. He aquí un objeto muy grande que admite una descripción muy breve.

La idea de Chaitin consistía en utilizar la complejidad, medida por el tamaño de programa, para definir la aleatoriedad. Y en cuanto se empieza a examinar el tamaño de los programas de ordenador —en cuanto se toma en cuenta la noción de tamaño de un programa o de complejidad de una información en lugar de la de complejidad determinada por el tiempo de ejecución—, se produce un fenómeno interesante: allí donde miremos, encontraremos incompletitud. ¿Por qué? Porque la primera pregunta que se hace en la teoría de Chaitin crea ya un conflicto. La complejidad de algo se mide por el tamaño del mínimo programa de ordenador que permite calcularlo. Pero, ¿cómo podremos estar seguros de que tenemos el mínimo programa? La respuesta es que no podremos. No es poco sorprendente: esa tarea escapa del alcance del razonamiento matemático».

NOTA:

Gregory J. Chaitin (nacido en Nueva York en 1947) es un matemático y científico de la computación estadounidense nacionalizado argentino. Sus padres eran inmigrantes argentinos. En 1965 regresó a Buenos Aires donde estudió matemáticas en la Universidad de dicha ciudad. Luego trabajó para IBM y como docente en la Facultad de Ciencias Exactas. Habiendo comenzado hacia fines de los años 1960, Chaitin hizo importantes contribuciones a la teoría algorítmica de la información y a la metamatemática, en particular un teorema de la incompletitud similar en espíritu al teorema de la incompletitud de Gödel.

En 1995 recibió el grado de doctor en ciencias, honoris causa, por la Universidad de Maine. En 2002 recibió el título de profesor honorario por la Universidad de Buenos Aires, en Argentina, donde sus padres nacieron y donde Chaitin pasó parte de su juventud. Está en el equipo del Centro de Investigación Thomas J. Watson de IBM y además es profesor visitante en el Departamento de Computación de la Universidad de Auckland, y en el comité internacional del Instituto de Sistemas Complejos Valparaíso.

Chaitin definió la constante de Chaitin, Ω , un número real cuyos dígitos están equidistribuidos y expresa la probabilidad de detención de un programa escogido al azar. Omega (Ω) tiene numerosas propiedades matemáticas.

ticas interesantes, incluyendo el hecho de ser definible pero no computable.

El trabajo de Chaitin en la teoría algorítmica de la información continuó con el trabajo anterior de Kolmogórov en varios aspectos. Chaitin también escribe sobre filosofía, especialmente acerca de metafísica y filosofía de la matemática (particularmente sobre asuntos epistemológicos en la matemática). En metafísica, Chaitin dice que la teoría algorítmica de la información es la clave para resolver problemas en materias como biología (obteniendo una definición formal de 'vida', sus orígenes y evolución) y neurociencia (el problema de la conciencia y el estudio de la mente). Además, en escritos recientes, defiende la posición llamada "filosofía digital". En la epistemología de las matemáticas, aclama que sus resultados en lógica matemática y en teoría de la información algorítmica muestran que hay "hechos matemáticos que son ciertos sin razón, por accidente. Son hechos matemáticos aleatorios". Chaitin propone que los matemáticos deberían abandonar toda esperanza de probarlos y adoptar una metodología cuasi-empírica.

Aunque el trabajo matemático de Chaitin es generalmente aceptado como correcto, varios matemáticos discrepan fuertemente de su interpretación filosófica. El filósofo Panu Raatikainen argumenta que Chaitin malinterpreta las implicaciones de su propio trabajo y que sus conclusiones sobre asuntos filosóficos no son sólidas. El filósofo Torkel Franzén critica la interpretación del Teorema de la incompletitud de Gödel de Chaitin y la explicación que su trabajo representa.

Chaitin es también el inventor de usar coloreo de grafos para la asignación de los registros al compilar. Chaitin entiende que la 'incompletitud' de la matemática o los 'límites de la matemática' se modificará con la aplicación de la física subatómica a las 'máquinas pensantes', gracias a que en un futuro próximo se podrán construir ordenadores con una capacidad de procesamiento de información un millón de veces superior a los actuales. Chaitin cree en una nueva filosofía de la matemática: la matemática cuasi empírica, que parte de idea de que no hay verdades inamovibles en un espacio que parecía destinado a la perennidad de los axiomas.



Conclusión.

¿Qué repercusiones han tenido, y parecen tener, los descubrimientos acerca de las limitaciones internas de los formalismos? ¿Qué relación podemos establecer entre estos descubrimientos y lo que dice el Génesis? ¿Hay alguna moraleja que se pueda desprender de todo esto?

La primera gran repercusión del teorema de Gödel ha sido la devastación de las esperanzas de alcanzar un paradigma matemático coherente, completo y global. Hemos de contentarnos, pues, con un sistema de retazos teóricos muy bien definidos y estructurados a nivel particular en el mejor de los casos, pero con la resignación de tener como telón de fondo (debido a nuestro natural y obligado modo de construir las matemáticas) la dura convicción de ser incapaces de encontrar una teoría global o un cuerpo teórico general que albergue o integre a todos esos retazos (y a otros retazos más, que ni sospechamos que existen) de una manera coherente y completa. Esto ha sido una maldición para el cientificismo matemático, cuya expectativa grandiosa ha quedado destruida.

La segunda gran repercusión ha sido el truncamiento del deseo de los físicos de hallar una teoría universal o del todo, a partir de la cual se deduzcan todas las demás partes de la física. Al igual que las matemáticas, e incluso peor, la ciencia física ha quedado condenada a permanecer como un mosaico de teorías muy bellas y eficaces en su visión particular de la realidad, por parte de cada una de ellas, pero no aglutinables en un cuerpo común que sea fiable o válido y capaz de cohesionarlas a todas.

La teoría del todo (ToE, por sus siglas en inglés: Theory of Everything) es una teoría hipotética de la Física teórica que explica y conecta en una sola todos los fenómenos físicos conocidos. Inicialmente, el término fue usado con una connotación irónica pero luego se utilizó para describir una teoría capaz de unificar o explicar a través de un modelo simple todas las interacciones fundamentales de la naturaleza. El

primer problema en producir una teoría del todo es que las teorías aceptadas, como la mecánica cuántica y la relatividad general, son radicalmente diferentes en las descripciones del universo: las formas sencillas de combinarlas conducen rápidamente a la denominada "renormalización" del problema, en donde la teoría no nos da resultados finitos para datos cuantitativos experimentales. Finalmente, un cierto número de científicos indica que el teorema de incompletitud de Gödel implica que cualquier intento de construir una teoría del todo está abocada al fracaso. Stephen Hawking fue originariamente creyente en una Teoría del Todo, pero después de considerar el teorema de Gödel concluyó que no podría ser obtenida; sobre este particular ha dicho: "Muchas personas estarán muy disgustadas si no hay una teoría última, que pueda formular un finito número de principios. Yo solía pertenecer a ese campamento, pero he cambiado mi manera de pensar" (20 de julio de 2002).

Las demás repercusiones se deducen del efecto del teorema godeliano sobre las matemáticas y la física. Tanto la ciencia teórica como la experimental, así como cualquier forma de conocimiento científico humano, deben estar tamizados por la razón y ésta no puede operar en independencia de los formalismos si en verdad quiere asegurar los resultados. Eliminar la razón del cuadro equivale a obtener conocimientos inciertos, imprecisos, no verificables, mitológicos, dogmáticos, subjetivos en grado extremo, fantasiosos, engañosos, etc. La historia de la ciencia es precisamente una lucha milenaria por depurar el error cognoscitivo e implantar un método racional y experimental que permita sacar del fango de la mentira al deseo humano de conocer la verdad acerca de la realidad.

Ante tal desenlace, cabe preguntarse: ¿Ha llegado la ciencia misma, por medio del Teorema de Gödel y de otros razonamientos similares, a descubrir lo que la sagrada escritura ya había dado a entender hace mucho tiempo: "El conocimiento humano es limitado por naturaleza"? ¿Que conexión tiene todo esto con la advertencia del Génesis: "En cuanto al árbol del conocimiento de lo bueno y lo malo, no debes comer de él, porque en el día que comas de él, positivamente morirás"? (En un próximo artículo, investigaremos dicha conexión).

