

### **III. Algunas preguntas, viejas y nuevas, acerca de la vida**

En la pieza “in silico” tuve que rastrear varias nociones para entender qué es lo importante al hacer una pieza de vida artificial, es decir, cuáles son los puntos de contacto con filosofía, ciencias, biología, cómputo y ciencias cognitivas. Al revisar estos campos de conocimiento, sus antecedentes, historia y evolución, y al ver cómo se conectan al final en la búsqueda de vida artificial, quedó claro que la pieza no consiste únicamente en crear objetos que se modifican con el paso del tiempo, sino que es más compleja y las relaciones con otras áreas de conocimiento son lo que la convierten un proyecto interesante.

#### **Antecedentes al estudio de “la vida”**

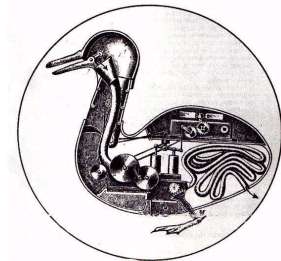
Desde la antigüedad, el hombre se ha preguntado cómo dar vida (como en el mito hebreo del Golem). Los griegos aunque partiendo de una cosmología muy distinta a la moderna, suponían que todo lo que se movía era vida. En la mitología se describen personajes artificiales que funcionan como hombres y cumplen con actividades propias al hombre (“Pigmalión y Galatea”<sup>ii</sup>, las esclavas hechas de oro y el gigante de metal hecho por Dédalo para el rey Minos). Por otro lado ya se imitaba la realidad para fines lúdicos y religiosos con autómatas<sup>[g]</sup> que reproducían la apariencia y el movimiento de seres en estatuas, mascaros y animales (jardines de pájaros mecánicos del palacio de Al-Muktadir, año 917<sup>iii</sup>) o mecanismos automáticos utilizados por los sacerdotes egipcios para impresionar al pueblo supersticioso. Los pueblos árabes refinaron los dispositivos para fines prácticos (relojes, fuentes, dispensadores).

Posteriormente, tras la quema de Giordano Bruno en 1600, y la *nueva ciencia* de Galileo, Cópernico y Kepler nació el subjetivismo, acompañado de una serie de descubrimientos (telescopio, microscopio, relojería). Con esta ruptura epistemológica, el mundo se reducía a fórmulas matemáticas y la naturaleza se convierte en un juguete mecánico. Las causas milagrosas eran reemplazadas por causas físicas que consagran el modelo mecanicista. Descartes decía

“El individuo está dividido entre su espíritu y su cuerpo simplemente conectados por la glándula pineal. El cuerpo está descentrado del sujeto y asimilado a un esquema mecanicista. Un autómatas movido por un alma” [...] “considero al hombre como un reloj compuesto de engranes y contrapesos”<sup>iv</sup>.

Junto con él, filósofos como Pascal, Leibnitz y Malebranche reflexionaban acerca de la relación mente-cuerpo. Descartes elimina la noción clásica del alma como principio de vida y movimiento, estableciendo el dualismo sustancial: los cuerpos se rigen por causas mecánicas y son incapaces de pensar y el alma es pensamiento puro y carece de extensión. Alma y cuerpo son dos sustancias de naturaleza totalmente distinta, se encuentran separados, y se comunican a través de la glándula pineal. Esta teoría causaba un problema: ¿De qué manera las afecciones de uno podían afectar al otro, cómo se comunicaban ambas sustancias? Los filósofos racionalistas intentaron resolver ese problema. El ocasionalismo de Malebranche pretendía que cada vez que se produce un movimiento en el alma, Dios interviene para corresponder el movimiento con el cuerpo. En el monismo de Spinoza, extensión y pensamiento no son dos sustancias sino dos atributos de una sustancia infinita: Dios o Naturaleza. Para Leibnitz y su armonía preestablecida, Dios establece una perfecta armonía y ambas sustancias funcionan como relojes sincronizados.

Durante el siglo XVIII, se extendió la fascinación por los autómatas, Pierre Jaquet Droz (1721-1790) y Jacques de Vaucanson (1709-1782) crean autómatas (androides) que reproducen las funciones principales de la vida, (digestión, circulación, respiración) utilizando mecanismos de relojería, hidráulicos, eólicos, poleas, y algunos engaños que fueron descubiertos más tarde.



El empirismo y el positivismo eliminaron el dualismo sustancial de Descartes descartando la noción cartesiana de sustancia.

Los filósofos empiristas del siglo XVII y XVIII, rechazan la afirmación cartesiana de que las leyes lógicas del pensamiento estén inscritas en el pensamiento desde el nacimiento, recuperando la idea aristotélica de que la mente no tiene ningún contenido inicial y que todas las ideas, inclusive las leyes de pensamiento, se adquieren a través de la experiencia, ya sea del mundo exterior o de los estados internos. Para el positivismo, postura que dominó el pensamiento europeo durante el siglo XIX, el único conocimiento es el que proviene de los hechos y a través de la experiencia sensible. El positivismo trata de extender el método de investigación de las ciencias naturales al estudio de la mente humana, formulando leyes a partir de hechos comprobables por la experiencia. Con ello, se abrió el camino para el estudio de los fenómenos mentales utilizando la metodología aplicada a los fenómenos físicos.

Más tarde apareció la termodinámica <sup>[g]</sup> y los organismos vivos se entienden como máquinas que producen calor (queman glucosa, glucógeno o almidón, grasas y proteínas y producen bióxido de carbono, agua y urea). Después, durante el movimiento vitalista a mediados del siglo XIX, aparece Frankenstein. Continúa la búsqueda por entender la creación y funcionamiento de la vida, así como la relación vida- mente. Es hasta 1815 que Lamarck instaure la biología como “ *la ciencia que engloba, todo lo que es generalmente común a vegetales y animales, así como los atributos que son propios a cada uno de esos seres sin excepción* ”. Darwin cuestionó la separación entre el hombre y el animal. El evolucionismo abre la posibilidad de que los animales también tuvieran mente. Desde la biología, Mendel, Morgan, Watson y Cricks contribuyen con los conceptos de la evolución, la genética, los cromosomas y los ácidos nucleicos. De esta manera, a partir de ver más factible la comprensión formal y

científica de la vida, la posibilidad de crear seres vivos y orgánicos se hace latente.

Actualmente la ingeniería genética, la inteligencia artificial y la vida artificial nos acercan más al objetivo, aunque aún de manera muy rudimentaria. La vida artificial es el resultado de la integración de varias disciplinas (informática, robótica, ingeniería genética, bioquímica, ciencias cognitivas), y de una pregunta a lo largo de 2500 años. ¿Cómo crear vida?

## **1. En la ciencia**

### **1.1. Orígenes de la biología como disciplina**

Aunque la palabra “Biología” sólo tiene dos siglos, la pregunta “¿Qué es la vida?” es más vieja. Para Aristóteles, es el “alma” lo que hace que un ser esté vivo. Esta alma no es más que una forma, que juega el papel de la causa final: una función. Para los materialistas como Demócrito (y más tarde Epicuro y Lucrecio) la vida es un conjunto de propiedades resultantes de la combinación de átomos materiales. Ahí inicia el enfrentamiento entre materialistas y vitalistas. Descartes con sus “animales- máquina”, cuyo problema (que no se reproducen, ni reparan solos) lleva a un nuevo impulso vitalista durante el siglo de las luces, por ejemplo Diderot. En el siglo XIX, es la “fuerza vital” de los biólogos o el “impulso vital” para filósofos como Bergson<sup>v</sup>, lo que se encarga de explicar fenómenos orgánicos así como teorías acerca de la evolución.

La biología molecular se sitúa dentro del mecanicismo y el materialismo. Explica lo vivo a través de la estructura físico- química de sus elementos y sus interacciones.

De acuerdo a la enciclopedia Wikipedia

La Biología proviene del griego bios -vida- y logía -tratado. Es una rama de las Ciencias Naturales que estudia la vida desde todos los puntos de vista: tipos y características de los seres vivos (zoología, botánica, microbiología, etc.); su estructura y su funcionamiento (bioquímica, biología molecular, celular, genética), sus relaciones con el entorno físico y biológico (ecología) y la clasificación de las especies<sup>vi</sup>. La biología estudia algunos "organismos", a pesar de que la mayoría de los biólogos no los consideren seres vivos. Estos son: virus, viroides, priones.

Para un biólogo, no existe una definición exacta de la vida, sino que es una característica común a todos los seres vivos. Los fenómenos

vitales o manifestaciones de vida son principalmente la asimilación o transformación de elementos nutritivos en diversas sustancias, la reproducción y la auto-reproducción, la reactividad, es decir, una respuesta adaptada a estímulos y la homeostasis. La vida concluye con la muerte.

Del latín *vita*, la “vida” es un concepto abstracto y por lo tanto difuso y difícil de definir, es por esto que se suele definir en contraposición a la *no vida* o lo inerte, aludiendo a las propiedades que los diferencian.

La frontera entre lo vivo y lo no vivo tampoco es clara, existen estructuras que no comparten todas las propiedades de la materia viva, como son los virus.

Dar una definición de la vida sería más cercano a una descripción intuitiva que a una ciencia exacta. Reconocemos si un objeto está vivo al verlo. Pero ningún científico aceptaría una impresión tan subjetiva.

## 1.2. ¿Qué es la vida?”

- Lo primero que llama la atención en los seres vivos es que se mueven solos- Así, Xenophano, filosofo griego del siglo 6 a.c. proclama que las rocas magnéticas tienen alma.

(anónimo)

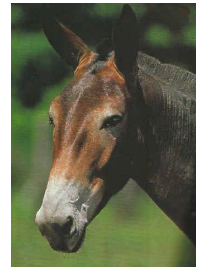
Ha habido varias definiciones que se han venido abajo. Algunos ejemplos:

**Vivo es aquello que goza de motricidad autónoma.** Esta definición no era suficientemente restrictiva, ya que fuego, agua, plantas y robots cumplen con la característica.

Vivo es aquello que genera y consume calor. El fuego anulaba esta definición.

**Vivo es aquello que posee una integración entre sus órganos.** Pero los robots diseñados antropomórficamente imitan las estructuras de interdependencia de los órganos para funcionar como un sistema.

**Vivo es aquello capaz de reproducirse.** La noción de reproducción hace llamado a varios comentarios. Se aplica indistintamente a bacterias, plantas o animales. Suelen utilizarse la mula o el ceburro, como contraejemplo, pero esto es un error porque pertenecen a una especie estéril, son individuos que descienden de padres distintos y esto modifica el funcionamiento de los órganos reproductivos. La “especie” se conserva sólo si continúa mezclándose con individuos de la misma especie.



Algunas definiciones más recientes:

**(Definición fisiológica)** Un organismo vivo es aquel capaz de llevar a cabo funciones tales como comer, metabolizar, excretar, respirar, moverse, crecer, reproducirse y responder a estímulos externos.

Sin embargo existen máquinas que cumplen muchas de ellas, y bacterias quimiosintéticas <sup>[g]</sup> que no necesitan respirar.

**(Definición metabólica)** Un organismo vivo es aquel que intercambia sustancias con el medio circundante sin alterarse, es decir, que puede reconstruir su propia sustancia orgánica a partir de energía, moléculas, o iones provenientes del medio ambiente.

**(Definición bioquímica)** Un organismo vivo contiene información hereditaria reproducible codificada en los ácidos nucleicos los cuales controlan el metabolismo celular a través de unas moléculas (proteínas) llamadas enzimas que catalizan o inhiben las diferentes reacciones biológicas.

Esta definición es de las más precisas, pero sólo incluye la vida a base de carbón y excluye vida en químicas que no conocemos o en el campo cibernético (hecho que aún no se demuestra)

**(Definición genética)** Un organismo vivo es todo sistema capaz de evolucionar por selección natural. Muchos biólogos no aceptan esta definición ya que incluye a los virus dentro de los seres vivos y esto abriría la puerta a introducir algún virus informático polimórfico que incluyera algún tipo de algoritmo de evolución darwiniana.

**(Definición termodinámica)** Un organismo vivo es aquel que constituye un sistema de entropía <sup>[g]</sup>. Esta definición es la mejor y más completa hasta ahora. Surge de la nueva y mejor comprensión del universo que se ha tenido en este último siglo y se basa en el segundo

principio de la termodinámica: la entropía del universo, o desorden del sistema, siempre aumenta. El aumento de orden en un sistema vivo no incumple el principio ya que ello se hace siempre a expensas de un incremento de entropía en el universo. Por lo tanto, la vida formaría parte también de los llamados “sistemas complejos.”

Gracias a los trabajos de Ilya Prigogine la Biofísica proporciona una comprensión general de los fenómenos de la vida a partir de los procesos alejados del equilibrio. Desde estas teorías, la vida consiste en mantenerse alejado del equilibrio termodinámico, es decir, en el desorden máximo. Para ello, un sistema vivo debe ser capaz de interactuar con su entorno para disipar la entropía que produce (a esto se le llama sistema disipativo). La vida evoluciona desarrollando formas infinitas de disipar la entropía. Dado que disipar entropía significa producir desorden en el entorno, el principio de supervivencia de Darwin, resulta ser una noción acertada del principio de disipación de entropía.

**Algunos otros aspectos a tomar en cuenta son la clonación y la *autopoiesis*.** <sup>[g]</sup>

La clonación (ej. “Dolly”), la fecundación *in vitro*, la generación de bacterias, virus y vacunas son procesos sintéticos de elementos orgánicos, por lo tanto es posible producir organismos. La vida artificial por su lado, no pretende producir individuos orgánicos. Podemos sin embargo definir un equivalente más abstracto de “metabolismo”.

Esto es la idea de *autopoiesis*. El término proviene de las palabras griegas *auto* y *poiesis*, que significan *si-mismo* y *producción* y connota el objeto que posee la cualidad de crearse por si mismo, mantener su estructura y regenerarse. La *autopoiesis* caracteriza toda unidad construida por una organización de partes más o menos



constante independientemente de los cambios del entorno. No solamente su organización interna mantiene la unidad del conjunto, sino también tiene la capacidad de recrear su propia estructura dinámica a pesar de la influencia de circunstancias externas que pudiesen arrastrar a su separación. Vemos que se trata allí de una noción más abstracta que el metabolismo, ya que no se precisa ninguna limitación en cuanto al tipo de materia que podría realizarlo. Sin embargo el metabolismo puede estar considerado como un caso particular de *autopoiesis*, ya que los sistemas digestivos y respiratorios (pilares principales del metabolismo) cumplen exactamente las funciones que se le atribuyen a la *autopoiesis*. En efecto, podemos comprobar que los órganos de los seres vivos, gracias a sus funciones metabólicas, satisfacen perfectamente la condición previa.

La ventaja de la noción de *autopoiesis* reside justamente en que su abstracción es mayor, y no excluye la posibilidad de una vida que no sea orgánica. De hecho, el virus es un tipo de entidad que se sitúa al margen de los seres vivos propiamente dichos, y que algunos quieren incluir, mientras que otros lo excluyan de esta categoría.

Los biólogos aíslan las características propias a un ser vivo. La estructura celular es una de ellas. Esto excluye los virus, seres de estructura más sencilla y de tamaño menor a una célula. Además, los virus son incapaces de reproducirse por si mismos, salvo a través de una célula viva que infectan y cuya estructura utilizan para replicarse.

Los virus no tienen la capacidad de *autopoiesis*; están totalmente privados de órganos de metabolismo. Un virus esencialmente consiste en un trozo coherente de sustancia genética que contiene las instrucciones necesarias para su propia duplicación. Pero al estar privado del citoplasma que permite a la menor bacteria mantener su estructura, no tiene ningún medio propio de asimilar la energía ni los

elementos del entorno que le rodean en su propia sustancia y debe tomar del medio los recursos materiales y energéticos que necesita para reproducirse. Por consiguiente, si se toma la definición que acabamos de exponer, los virus quedan excluidos del dominio de los seres vivos, aún así, son seres intermediarios entre los organismos vivos y la materia inerte.

En conclusión, con principios necesarios pero no suficientes, podemos decir que un organismo está vivo si hay intercambio de materia y energía con el entorno, si se reproduce y evoluciona por selección natural, si el sistema es capaz de auto-organizarse sin ser programado.

### 1.3. La noción de “evolución” en la ciencia moderna

Antes de Lamarck y Darwin, existía el *fijismo*, es decir, se pensaba que la vida no cambiaba ni desaparecía, hasta que el Baron Cuvier encontró esqueletos de animales desconocidos, y aceptó la “extinción” pero no la evolución. Hasta el siglo XIX, se sostenía la teoría *creacionista* que consideraba que por “acto divino” la Tierra se había creado 6000 años atrás tal como se le conocía actualmente. La teoría fue sustituida por la hipótesis *naturalista*, que explica que la vida se creó a partir de materia inorgánica. Una de las teorías que explican el proceso es la teoría de Oparin (1950) y Miller (1953) la demostró en un experimento que consistía en aplicar corrientes de 60.000 volts en un recipiente que contenía los gases que formaban la atmósfera hace 3.000 millones de años (metano, amoníaco gaseoso, vapor de agua e hidrógeno). Poco a poco se formaron varios componentes orgánicos, especialmente aminoácidos, fundamentales en los organismos vivos. Luego se comprobó que cuando la luz ultravioleta actúa sobre una mezcla de anhídrido carbónico y amoníaco, se forman sustancias orgánicas: azúcares, otros materiales que constituyen las proteínas. En ese periodo, la capa de ozono que bloquea gran parte de la luz ultravioleta era inexistente. A partir del experimento se dedujo que la combinación daba una molécula imperfecta pero que se duplicaba. Esto generó diversas versiones de la molécula y mediante un proceso de selección y supervivencia se duplicaron las moléculas con mejores cambios: las que favorecían la duplicación y la resistencia al ambiente. Así se fueron formando compuestos cada vez más complejos. Esta teoría fue introducida por Darwin y es conocida como *selección natural*. Esta se basa en que ciertos animales son más aptos para sobrevivir. Para Darwin, dado que tenían más posibilidad de sobrevivir los más fuertes, rápidos, y ágiles, son por lo tanto los que se reproducirían heredando sus características genéticas a sus descendientes. Y así

por sucesivas mutaciones genéticas, los descendientes serían más aptos que los ancestros. A diferencia de Darwin, Lamarck pensaba que si el ancestro se fortalecía durante su vida, los descendientes heredarían esa fortaleza.

Actualmente la ciencia apunta hacia la auto-organización, a partir de una molécula, ésta podría auto-organizarse de tal manera que se cree un ser vivo. La molécula de hemoglobina es un ejemplo de la auto-organización. Consiste en una proteína que se dobla sobre un átomo de hierro para poder atraer un átomo de oxígeno. No hay duda de la evolución de materia inanimada en organismos complejos. Los comportamientos no predecibles desde la situación inicial son conocidos como *comportamientos emergentes*. Existen programas de cómputo previstos para demostrar esto, dado que los comportamientos emergentes son fenómenos naturales en los sistemas complejos, puede simularse una situación inicial con *autómatas celulares*.

Por otro lado en la ciencia actual se ha redefinido el concepto de evolución propuesto por Darwin, Lamarck, y otros. D'Arcy Thompson<sup>vii</sup>, zoólogo de principios del siglo XX, pensaba que eran las fuerzas físicas las que modifican la estructura ósea y la morfología general de los seres para adaptarlos a su ambiente.

Desde el punto de vista de la termodinámica, la evolución se complejiza como consecuencia de restricciones, progresando por saltos de manera imprevisible. Dada la complejidad de la naturaleza su comprensión total parece imposible. Aun más si aceptamos la hipótesis del "equilibrio puntuado" de Stephen J. Gould, según la cual el azar acumulativo es capaz de crear nuevas especies en algunas decenas de miles de años.

Intrínsecamente, la teoría de Darwin, aún ligada a la teoría de Mendel es imprecisa. Si encontráramos vida extraterrestre, la teoría

de Darwin explicaría únicamente su existencia, por medio de su suficiente adaptabilidad al medio, pero no podría prever hacia donde evolucionaría. No pudiendo explicar este hecho, el *neodarwinismo* aparece como alternativa a falta de una mejor teoría, no pudiendo más que predecir la aparición de una variedad “si las condiciones lo permiten”. Pero, como sentencia Popper: “decir que una especie esta adaptada a su entorno es casi una tautología.” Y de seguir, la pregunta fundamental consiste en saber “¿cómo medir el éxito efectivo de un esfuerzo por sobrevivir? La posibilidad de probar una teoría tan débil es casi nula”

De hecho, sólo una teoría permite reconstituir las relaciones causales de los procesos. Si nos volteamos hacia la teoría de los grandes números, de los fenómenos de masa, la teoría de Darwin tiene un valor universal ya que predice la variación de las especies y la mínima cantidad de mutaciones accidentales. Explica perfectamente la lenta evolución de los organismos, y en cambio, le es imposible predecir la evolución de un cambio en particular, ya que esto depende del azar. Queda por saber cuando la vida emergerá, qué diferencia una estructura física, un robot por ejemplo, de un organismo que se desarrolla por selección natural. Si un biólogo responde que un organismo vivo resuelve problemas, el cibernético puede refutar su argumento recordando los robots adaptados a ambientes hostiles.

Queda entonces el problema de la reproducción y la variación de las especies, propia a los organismos vivos. Esta “fuerza vital”, inherente a la vida y que depende de una selección de tipo darwiniana, marcaría su preferencia por organismos dispuestos a evolucionar, capaces de tener conciencia a fin de cuentas. Es el “principio interior de perfeccionamiento” u “ortogénesis” retomado por el botánico suizo Kart von Nägeli en 1884. *Ortogénesis* y *Neolamarckismo* terminaron por desaparecer ya que no podían

implementar los resultados de la genética desarrollados por Mendel en 1865.

El paradigma que hoy conocemos como Teoría Sintética de la Evolución fue establecido en los años cuarenta en una reunión en la Universidad de Princeton por notables evolucionistas. Integra en una teoría el Darwinismo con los principios de Herencia de Mendel y con modelos matemáticos que describen los cambios por selección natural de las frecuencias de los genes. Esta teoría consiste en la evolución por selección natural y cambios adaptativos graduales.

Para Stephen Jay Gould la ausencia de etapas intermedias en los fósiles conocidos no son como pensaba Darwin una imperfección en el registro, sino un dato real, evidencia de saltos en la naturaleza, pensando específicamente en el origen de nuevas especies. La interpretación revolucionaria del paleontólogo consistió en que las especies se originan y permanecen inalteradas durante largos periodos hasta que se originan nuevas especies con cambios cortos y rápidos. Este modelo de "Equilibrio discontinuo o puntuado" (*Punctuated Equilibrium*) permitió incorporar nuevos modelos de procesos evolutivos que destacaban, por ejemplo, el papel fundamental del azar.

Para Gould existe una tendencia estadística que obliga a las especies más simples a diversificarse o "efecto de desagüe", que conduce siempre a un ser arrinconado contra una pared, a dirigirse al desagüe, independientemente de las tendencias. En *Full House*, Gould pone en duda la noción de progreso en la evolución proponiendo la tendencia actual de la biología. Muestra la imposibilidad de interpretar correctamente la evolución de todo fenómeno si no se toma en consideración todo el abanico de sus variaciones. Así, reducir la historia de la vida a la de los organismos más complejos es desconocer gravemente la naturaleza misma de la teoría de la evolución, y el alcance radical de la visión darwiniana.

En esta visión holista de la vida el ser humano no goza de ningún estatuto privilegiado, es la forma de vida dominante sobre la Tierra y posiblemente en otro lugar lo son las bacterias. La aparición de una vida inteligente y conciente no era necesaria ni previsible. Lejos de decepcionarnos, ésta contingencia de la existencia humana revelada por la ciencia, sólo realza su grandeza.

Actualmente, con los trabajos de Ilya Prigogine, los biólogos contemporáneos consideran a los seres vivos como “estructuras disipativas” y les aplican las leyes de la termodinámica. Esta visión neodarwinista parece prometedora, se aleja del esquema de reduccionismo tradicional para orientarse hacia un concepto holista y dinámico: la co- evolución.

El otro pedestal de la biología moderna es Richard Dawkins. En 1976, por primera vez se planteó la manera de extender la teoría darwiniana a los fenómenos culturales. Esto constituye el avance teórico más importante de la biología del siglo XX. Para ello el biólogo inventó el término “meme” como analogía cultural al “gen”. Los memes son la unidad mínima de información cultural y se transmite socialmente, mientras que los genes son la unidad mínima de información biológica y se transmiten genéticamente. Los memes son ideas, conocimientos, costumbres, valores, estereotipos, etc. Se almacenan en conexiones neuronales de los cerebros de los seres vivos y son capaces de reproducirse a otros cerebros a través de la comunicación oral, libros o televisión). Los memes son todo lo imitado. Luchan para reproducirse con éxito y, así, evolucionar y perdurar. A esto se le llama imitación selectiva. Los memes se propagan a través del hombre como un virus ya sea biológico o informático. En su último libro *River Out of Eden* el autor presenta una teoría unificada de la evolución, argumentando que la vida en sus entrañas no es más que un proceso de transferencia de información digital.

## 2. Historia y fundamentos de la vida artificial

“In silico” es un sistema de vida artificial, en el que varios organismos conviven en un ambiente y se afectan. Pero para entender las condiciones con las que se comporta es necesario saber qué es la vida artificial.

Existen dos hipótesis alrededor de la vida artificial (VA o Alife). La primera, la hipótesis fuerte, plantea una definición más amplia de vida. Ésta es información y auto-organización y puede tomar forma en una química a base de carbono (*wet life* o *in vitro*), a base de silicio (*in silico*), es decir, a nivel de un programa computacional, en sistemas tecnológicos (robots), o en cualquier otro material. En esta se considera que la vida es un proceso que puede ser abstraído de cualquier medio”. Steven Levy [5] recordando a Farmer explica que esas creaciones se entienden como algo “vivo bajo cualquier definición razonable del término”.

En este sentido Tom Ray [6] declaró en torno a su programa “Tierra”, que no simulaba vida, que la sintetizaba.

La hipótesis débil plantea que las creaciones no son más que simples simulaciones de la vida real y cuya meta se centra en proveer de información para una mejor comprensión de la vida “real”.

En los años cuarenta del siglo XX, Alan Turing dió inicio a las investigaciones de inteligencia artificial cuando después de haber trabajado en los sistemas de criptografía británicos durante la segunda guerra mundial se enfocó a la comparación del poder de cómputo de una máquina frente al de un cerebro humano. Esto se reflejó en la “prueba de Turing”. Está fundamentada en la hipótesis

---

[5] Autor de *Artificial Life: the frontier where technology meets biology* (1993)

[6] “Tierra” de los primeros programas de cómputo en la intersección del arte y la tecnología.

positivista de que, si una máquina se comporta en todos los aspectos como inteligente, entonces debe ser inteligente.

La prueba consiste en un desafío. Si una máquina tiene una conversación con un hombre, a través de una comunicación de texto, sin que a este se le avise si está hablando con una máquina o una persona y el sujeto es incapaz de determinar si la otra parte de la comunicación es humana o máquina, entonces se considera que la máquina ha alcanzado un determinado nivel de madurez: es inteligente.

La “Sala China” es un experimento mental, propuesto originalmente por John Searle y popularizada por Roger Penrose, con el que se trata de rebatir la validez de la prueba de Turing.

La “Sala China” consiste en lo siguiente:

Supongamos una sala completamente aislada del exterior, salvo por algún sistema (como una ranura) por el que se pueden hacer entrar y salir textos escritos en chino. En la sala hay una persona que no sabe chino pero está equipada con una serie de manuales que indican las reglas que relacionan los caracteres chinos (por ejemplo "Si entran ciertos caracteres, escribe tales otros"). De manera que la persona que manipula los textos es capaz de responder a cualquier texto en chino que se le introduzca, y hacer creer a un observador externo que entiende el chino.

Las preguntas son:

¿La persona en la sala entiende chino?

¿Los manuales entienden chino?

¿Es “la sala” en conjunto la que entiende chino?

De acuerdo con Searle los defensores de la IA deben admitir que la sala comprende el idioma chino o bien el pasar la prueba de Turing no es prueba suficiente de inteligencia.

La prueba de Turing se publicó en 1950 en el artículo "*Computing Machinery and Intelligence*", convirtiéndose en uno de las piezas fundamentales de la inteligencia artificial y de la filosofía. Posteriormente John von Neumann (1903-1957) a quien se reconoce como el "padre de la Vida Artificial" se interesó en el problema de la auto-reproducción, se preguntaba si una máquina artificial podría producir una copia de sí misma capaz a su vez de crear más copias. Tiempo después con el desarrollo de la computación, emergieron varios grupos interesados en el campo de la VA.

Aunque varios grupos de investigadores estudiaban el campo de VA la primera aplicación popular de vida artificial fue en 1970 con el programa "The Game of Life" de John Conway. El programa introdujo masivamente el concepto de "autómatas celulares" que hasta ese momento se entendía únicamente de manera teórica.

En septiembre de 1987 Christopher Langton organizó la primera conferencia sobre Vida Artificial en Los Alamos, Nuevo México. Participaron más de un centenar de personas interesadas en el tema. Desde entonces los eventos y aplicaciones se han multiplicado.

La biología pretende estudiar la "vida", pero estrictamente hablando sólo estudia los seres vivos basados en la química de carbono presentes en la tierra. En principio, no hay nada que impida la existencia de seres a base de otro tipo de química. Pero a falta de ejemplos reales la biología teórica no puede deducir principios generales. No existen otros ejemplos con que compararnos para saber cuales son las características fundamentales de la vida y cuales las accesorias.



Alan Turing  
John Von Neumann  
Christopher Langton

La Vida Artificial estudia la “vida natural” trasladando fenómenos biológicos a la computadora u otros medios artificiales así como simulando estructuras sociales para entender como se relacionan los seres vivos.

Algunos problemas fundamentales que abordan los estudiosos de la Vida Artificial son: la definición de “vida” y de sistema vivo, sistemas autoorganizados, Algoritmos genéticos, autorreplicación, cómputo evolutivo, aprendizaje evolutivo, adaptación, dinámica de sistemas complejos.

Del primer congreso sobre vida artificial se pueden extraer algunas conclusiones fundamentales.

- Alife es la biología de lo posible, se ocupa de las alternativas a la “vida tal como la conocemos” (*life- as- we- know*) presentando formas de “vida como podría ser” (*life- as- it- could- be*)
- La VA sintetiza procesos vitales a diferencia de la biología clásica que se centra en el análisis de los mismos.
- La similitud que existe entre organismos vivos reales y artificiales consiste en que la conducta y organización de las comunidades es la misma, lo que los distingue son los elementos que constituyen estos organismos. Unos son orgánicos, naturales y otros son sintéticos, inorgánicos (procesador de computadora a base de silicio).
- La vida es el conjunto de procesos que ejecutan los seres, no se reduce únicamente al material que constituye esos seres. La VA muestra la lógica que gobierna los procesos. La vida es un sistema complejo.

La VA, como todo sistema complejo cumple con varias características:

- Unidades simples con interacción local.
- Procesamiento en paralelo
- Aparición de comportamientos emergentes

### El “Juego de la vida” de Conway

El juego de la vida no es un simple juego, es un autómatas celular, consiste en una colección de celdas y reglas. Si la celda está ocupada por un punto, esto quiere decir que su estado es “viva”. Si la celda está vacía está “muerta”. En función de las reglas puede vivir, morir, o multiplicarse. Dependiendo de la configuración inicial, las celdas pueden crear patrones diversos a lo largo del tiempo.

Las reglas son:

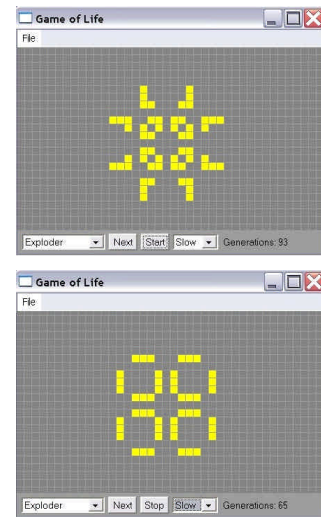
Para un espacio “poblado”:

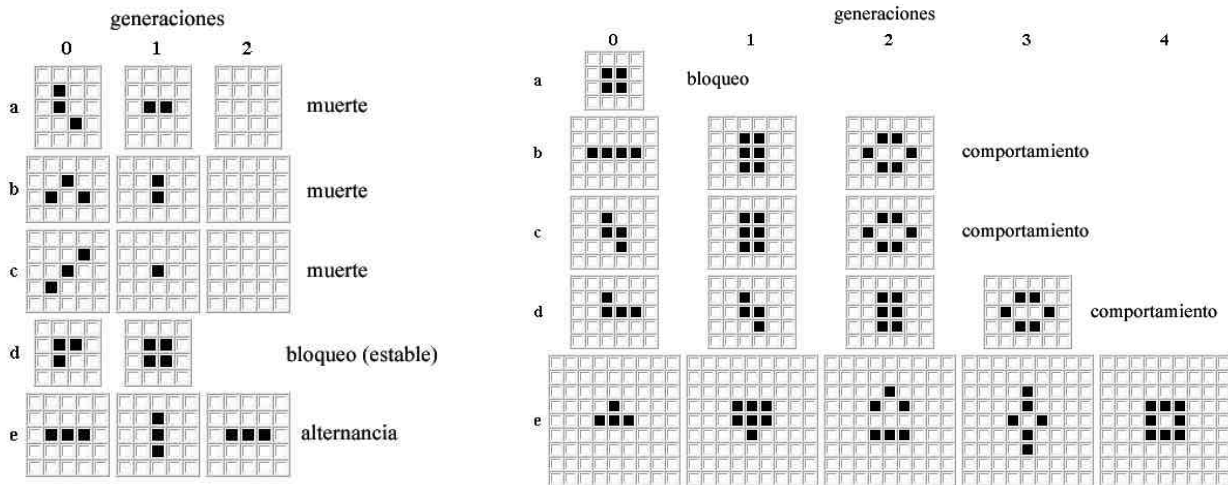
- Cada celda con uno o ningún vecino muere, “como por soledad”
- Cada celda con cuatro o mas vecinos muere, “por sobrepoblación”
- Cada celda con dos o tres vecinos sobrevive.

Para un espacio vacío o “despoblado”:

- Cada celda con tres vecinos será poblada.

El juego de la vida <http://www.bitstorm.org/gameoflife/>





Los autómatas celulares así como las redes neuronales se inspiraron desde el inicio en la observación de la actividad del cerebro humano, de los organismos vivos y su manera de procesar la información, de la organización de las sociedades y de eventos en la naturaleza. La naturaleza está llena de ejemplos y situaciones en que ciertos elementos interactúan localmente para producir comportamientos globales, como la propagación de un gas o la organización “espontánea” de un evento social. Se habla entonces de sistemas complejos ya sea físicos, biológicos, o sociales.

### 3. Sistemas Complejos

Definamos primero qué es un sistema y qué es un sistema complejo. Un sistema es un conjunto de elementos organizados que interactúan entre sí y con su ambiente para lograr objetivos comunes, operando sobre información, energía o materia u organismos para producir información, energía, materia u organismos. Un sistema cerrado no hace intercambios con el medio ambiente. (Wikipedia) Una máquina puede ser un sistema y formar parte de un sistema más grande. Un sistema complejo, posee más información que la que da cada parte independientemente. Para describir un sistema complejo hace falta no sólo conocer el funcionamiento de las partes sino conocer cómo se relacionan entre sí, también existen variables indeterminadas cuyo desconocimiento nos impide analizar el sistema con precisión, es un sistema abierto. Algunas características son: el todo es más que la suma de las partes, comportamiento difícilmente predecible, emergencia de un sistema, son sistemas fuera del equilibrio, autoorganización, las interrelaciones están regidas por ecuaciones no-lineales, es un sistema abierto y disipativo, es un sistema adaptativo.

Un sistema autopoietico (definido como una unidad) está organizado como una red de procesos de producción (transformación y destrucción) de componentes que producen componentes: 1. que a través de sus interacciones y transformaciones constantemente regeneradas y realizan las redes de procesos (relaciones) que las producen y 2. que la constituyen (a la máquina) como una unidad concreta en el espacio en el que habitan, especificando el dominio topológico de su realización como red.  
(Varela, Principles of Biological Autonomy, NorthHolland, NY,1979)

La “Complejidad” no es exactamente lo mismo para computólogos, biólogos, sociólogos, economistas, etc. Varios autores han dado su propia definición dirigida a un área específica. (Christopher Langton

la define como la ciencia que trata de describir los sistemas que se encuentran en el “borde del caos”.)

Las ciencias de la complejidad son un conjunto de herramientas y métodos concebidos para analizar, modelar y simular sistemas dinámicos complejos para entenderlos mejor y predecir su comportamiento. Un sistema complejo es un sistema compuesto de un gran número de elementos (a veces idénticos) que interactúan localmente y dan lugar a un comportamiento global. No puede ser explicado con el análisis por separado de los elementos o con las propiedades de un sólo individuo, sino como resultado de las interacciones de un colectivo. Modelar y simular un sistema complejo permite probar distintos escenarios, lo cual permite descubrir nuevas reglas de funcionamiento del sistema y la manera en que reacciona a perturbaciones. Pequeñas modificaciones locales pueden tener un impacto importante a nivel global.

El cerebro, una computadora, una colonia de hormigas, un sistema social o económico son algunos ejemplos de “sistemas complejos”. El hormiguero es el ejemplo más común. Está formado por miles de hormigas más o menos idénticas. Cada una interactúa con las hormigas que la rodean y desconoce lo que sucede con las que están más alejadas. No las organiza un administrador de tareas, un capataz o un grupo de individuos que decidan lo que deben hacer las demás. La organización global se da por las relaciones locales. En computación, en un sistema complejo, se utilizan autómatas celulares (o agentes) para simular a los individuos idénticos de una sociedad.

Un “sistema complejo” se caracteriza por:

- Gran número de individuos (idénticos)
- Interacción local.
- Comportamiento emergente.

En cómputo, un sistema se modela con autómatas celulares, autorreplicación, e inteligencia colectiva entre elementos.

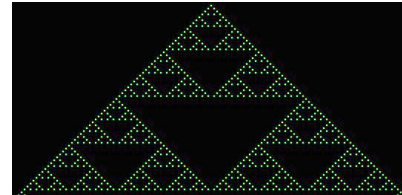
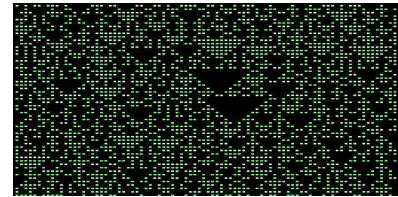
### a. Autómatas Celulares

Un autómatata celular (AC) es un programa que ejecuta una tarea local específica. Un AC es un modelo formal compuesto por un conjunto de celdas, células, entes o agentes, cada una tiene un sólo estado a la vez: activada o desactivada, que varía en función de las celdas vecinas. En un sistema compuesto por AC se evidencia el comportamiento emergente que puede producirse. Los AC han sido utilizados y redefinidos muchas veces desde distintas áreas. En matemáticas forman parte de la dinámica topológica, en ingeniería son matrices con secuencias iterativas.

El ejemplo más simple, en el caso del “juego” de Conway, es el de tres celdas formando una línea. Cada celda comprueba el estado de sus vecinas y en función de este “deduce” su estado siguiente.

Con reglas distintas surgen universos y patrones distintos:

Las celdas de AC, pueden estar colocadas en una dimensión (en línea), en dos (en una retícula en un plano), o cubriendo un espacio tridimensional. En una línea las vecinas más próximas son izquierda y derecha. En un plano, las ocho vecinas inmediatas son las celdas situadas al N, NE, E, SE, S, SO, O y NO. A estos rangos se les llama radio de vecindad. En tres dimensiones, el rango se amplía a un tercer eje con 26 celdas inmediatas. Cuando el número de celdas es finito, los bordes deben manejarse escogiendo la condición de bordes absorbentes o de bordes periódicos. En el primer caso las celdas de los bordes no tienen vecinos más allá de los límites de la retícula en el segundo las celdas opuestas se consideran vecinas, de modo que



una línea recta se convierte en un círculo y un plano se convierte en un toro (una dona).

El primer AC, en los años cuarenta, se debe a von Neumann, quien buscaba definir una estructura capaz de auto-replicarse, similar a los organismos biológicos. Al mismo tiempo, pero sin tanto impacto, el ingeniero alemán Konrad Zuse desarrollaba otro concepto de AC, enfocándose en la construcción de modelos digitales de la Mecánica. Pronto nacieron las redes neuronales. McCulloch y Pitts observaron que dado que el cerebro es un conjunto de células (neuronas) interconectadas, los modelos formales podrían utilizarse para describir la actividad cerebral. La primera aplicación (1959) fue por parte de F. Rosenblatt quien inventó el Perceptron, una arquitectura de red simple con una regla de aprendizaje asociada. Este era capaz de reconocer patrones gráficos. En los años sesenta John Holland empezó a aplicar los AC a problemas de optimización, convirtiéndose en el fundador de los algoritmos genéticos.

En 1970 apareció en la revista *Scientific American* un artículo acerca de “el juego de la vida” del matemático de Cambridge John Conway [7].

Este programa modela el desarrollo de una población en función de ciertas reglas preestablecidas, por ejemplo: un habitante (un punto en una celda) muere si no tiene dos o tres vecinos en las celdas vecinas inmediatas. En los años ochenta, fue el apogeo de estos modelos y se popularizaron las investigaciones y aplicaciones de inteligencia artificial, reconocimiento de patrones o discriminación de señales, aprendizaje. La ciencia se vio favorecida con simulaciones de procesos macroscópicos a una escala tangible. Los simuladores de AC son capaces de actualizar millones de generaciones en un tiempo muy corto. Por lo tanto se utilizaron mucho para modelos en física, en particular en dinámica de fluidos. Una de las ramas en que

---

[7] [http://ddi.cs.uni-potsdam.de/HyFISCH/Produzieren/lis\\_projekt/proj\\_gamelife/ConwayScientificAmerican.htm](http://ddi.cs.uni-potsdam.de/HyFISCH/Produzieren/lis_projekt/proj_gamelife/ConwayScientificAmerican.htm)

más se han desarrollado los AC, es en sistemas dinámicos, en la aparición de fenómenos colectivos, caos y fractales.

Desde el surgimiento en los años sesenta de las primeras computadoras, el hombre sueña con crear sistemas capaces de convivir con él, con crear un ente con el que pueda dialogar, interactuar, un ente que reaccione como lo haría otro hombre. De esta manera surgen la inteligencia artificial y una de sus ramas: la vida artificial.

#### **b. Autorreplicación**

Los AC son estructuras autoreplicantes. Von Neumann consideraba que una característica fundamental de los seres vivos era la capacidad de auto-reproducción. Las máquinas pueden producir estructuras sencillas, mientras que los seres vivos son capaces de producir sistemas casi tan complejos como ellos mismos. En la época de Von Neumann aún no se habían desarrollado las teorías del ADN de las células sin embargo él propuso mecanismos de auto-reproducción en el código de los autómatas, captando los fundamentos de la reproducción celular.

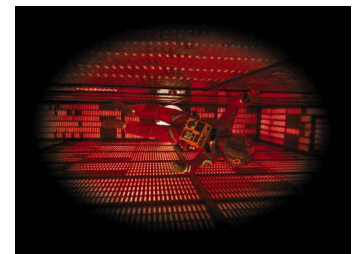
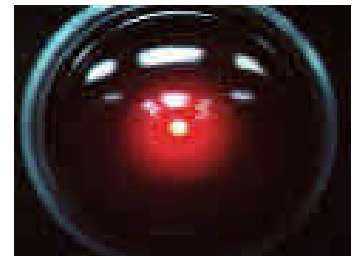
#### **c. Inteligencia Colectiva: Sistemas multiagentes**

Los sistemas de Inteligencia Artificial (IA) ponen en ejecución conocimientos de sentido común o especializados y los explotan en mecanismos de raciocinio, es decir, en sistemas deductivos a base de conocimiento. El fundamento de esta aproximación de IA es la posibilidad de representar el saber en diferentes tipos de lógica.

Otro aspecto de la inteligencia a base de conocimientos es el de la inteligencia colectiva. Esta consiste en suscitar un comportamiento inteligente de manera emergente por cooperación entre un conjunto de entidades (agentes) con autonomía y tareas propias. Estos agentes pueden ser dotados de una capacidad cognoscitiva, de conocimientos previos y de mecanismos de raciocinio. En este caso hablamos de “sistema multiagentes”.

En los sistemas multiagentes cada agente tiene un comportamiento puramente reactivo y aunque está desprovisto de inteligencia, emerge un comportamiento inteligente que resulta de la pertinencia de los intercambios entre agentes. Estos sistemas permiten, por ejemplo, modelar la construcción de un nido de termitas o comportamientos distribuidos para lograr un fin de manera colectiva.

HAL en la película de Stanley Kubrick  
“2001, odisea del espacio”



A manera de conclusión y retomando los términos vistos en este capítulo: El proyecto “in silico” es un sistema de vida artificial (*a-life en software*) cuyos elementos básicos, es decir, los individuos que lo conforman, son agentes con reglas. Por lo tanto es un sistema multiagentes. No es sólo el entorno o sólo los individuos, sino las relaciones entre los elementos que lo hacen un sistema vivo, dinámico. Aunque simple, cumple con las características de un sistema vivo. Todo funciona en base a reglas: los individuos pertenecen a cuatro familias distintas con reglas generales de interacción entre ellas y cada familia posee reglas determinadas de crecimiento. Así mismo, están previstos los trozos de código que generan las variaciones y cuales son las reglas de la variación. El código de los individuos fue creado utilizando las formas que según D’Arcy Thompson son recurrentes en la naturaleza: curvas, autorepetición, bifurcaciones, simetría y estabilidad. La pieza es un sistema complejo dado que a través de las mismas reglas que rigen a los agentes el comportamiento local genera un comportamiento global. Por último, respondiendo a las hipótesis de la vida artificial, cuyas premisas son ya sea imitar o crear, es decir, simular o sintetizar la vida, “in silico” se encuentra entre las dos. Es un sistema simple con pocos elementos que aún así crea un ambiente en el cual la vida y las relaciones entre sus habitantes están presentes. No imita ni simula una situación real sino que crea su propio ámbito. Adoptando la postura que la vida artificial es la biología de lo posible, los individuos que habitan el sistema bien podrían existir. Cumplen con características comunes a los seres vivos y se comportan como tales, logrando la actitud esperada en el espectador - especialmente en científicos- reconocer a estas criaturas como posiblemente reales, pero desconocidas.