

### CONCLUSIONES

Pues érase una vez un panal de abejas ya terminado ¡por fin! y estas se estaban alistando para ir a hibernar, como los osos polares.

De todos es bien sabido que la vida en colmena es muy mecánica, obedece a una jerarquía de castas y de reglas fijas, cuyo objetivo final es proporcionar la miel a Winnie-Pooh. Ahora mismo se encontraban en la última fase con todo el trabajo hecho y la miel lista para entregar, de modo que estaban quietas, tranquilas y sin nada que hacer.

Se oyó algo así como PLASH - según dirían después las abejas más viejas -y fue que la rama se rompió y se vino abajo con el panal y todo.

La mayoría de las abejas fueron arrastradas hacia abajo sin darse cuenta de que sucediera nada en particular. A las que el accidente las pilló volando, les causó estupor y algunas trataron de seguir su colmena con el objetivo de reintegrarse en la rutina rota por fuerzas desconocidas.

En estas, como el panal estaba dando vueltas mientras caía, una abeja que le seguía de cerca trazó, por casualidad y en su frenesí por la persecución, una figura en el aire parecida a una flor. Algunas otras la vieron y, de entre ellas, algunas vieron el parecido con la flor de la que se alimentaban. Algo se encendió en su pequeño cerebro de abeja al comprender que la flor era y no era a la vez. Se trataba de un símbolo, del primero de un alfabeto que estaba por inventarse - dirían más tarde las abejas semióticas. Ese no fue el único símbolo trazado. Vinieron rápidamente el de panal y el de abeja. Las involucradas en la nueva experiencia, rápidamente aprendieron a trazar en el aire estos dibujos y las que los veían, a su vez aprendían. Luego vinieron las combinaciones de símbolos. Así por ejemplo abeja seguido de flor significaba que yo, la abeja, iba a libar una flor. Mientras que flor seguido de panal significaba que me hubiera gustado llevarme esa flor al panal. De estas y otras muchas combinaciones se pusieron rápida-

mente de acuerdo el pequeño grupo de abejas filólogas que a su vez transmitieron el conocimiento al resto de la comunidad.

Las abejas son extremadamente veloces, todo el mundo lo sabe. Así, mientras el panal caía les dio tiempo a muchas cosas, como por ejemplo, a preguntarse por qué había ocurrido ese BIG-PLASH y que habría habido antes. Y a pensar que con el BIG-PLASH ocurrió algo nuevo que no había sucedido nunca antes: el tiempo. Las más críticas dijeron que el tiempo podía ser una mera consecuencia de la velocidad, mientras que no faltaron opositoras que preferían pensar lo contrario. A todas ellas se las llamó a partir de entonces abejas filósofas, y la cuestión más inquietante que plantearon entonces, y que llegaron a dilucidar demasiado tarde, era si el tiempo, que había tenido un comienzo, tendría también un final.

Generaciones de abejas se sucedieron, creando diversos estilos en el arte (las mil y un maneras de dibujar una flor), en la música (interpretando cada una a su modo el ruido que hizo el BIG-PLASH, en la filosofía (como ya quedó dicho) e incluso en las ingenierías y doctorados.

El sistema de vida tan complejo que se creó, las sutiles relaciones de pensamiento, su dependencia abrumadora respecto a una cultura creada arbitrariamente por ellas mismas, son todos hechos imposibles de entender para alguien que no haya vivido esa experiencia (ser abeja de aquella época).

Creo que nadie alcanzó a escuchar el BIG-CHUF que hizo al estrellarse el panal, cuando finalmente llegó al suelo. Muchas abejas murieron aplastadas, otras de tristeza por el reino perdido, algunas de hambre y las demás deambulan por allí sin poder distinguir lo ocurrido con algún tipo de ensoñación,

El BIG-CHUF

ÁNGEL E. GARCÍA BAÑOS, 2 de julio de 2000

La construcción de este mundo parece debida a una fluctuación del vacío, como dicen los físicos. A un error. Y toda la evolución subsiguiente del universo parece ir encaminada a borrar ese error cuanto antes, sin dejar rastro, en la llamada muerte térmica del universo, que la inteligencia acelera implacablemente. Como consecuencia de ello, y mientras el final llega, experimentamos complejidad.

La teoría actual del nacimiento del universo nos explica que el Big Bang fue exponencial<sup>99</sup> y las últimas medidas parecen indicar que seguimos así (Goldhaber, 2009). Es lo habitual cuando aparece algo nuevo. Y resulta que hemos experimentado muchos *big bangs* exponenciales si adoptamos una perspectiva mental amplia: la emergencia de la consciencia humana ocurrió en un momento difícil de precisar en un mundo de protohomínidos, incluso

---

99 Teoría inflacionaria, de Alan Guth en 1981.

quizás bastante después. No había consciencia y poco a poco fue creándose, aumentando de generación en generación hasta llegar al estado actual. Lo mismo puede decirse del lenguaje. No había lenguaje, pero en un proceso de lenta acumulación y de afortunadas coincidencias, se fue creando un lenguaje que terminó siendo lo que vemos y usamos hoy día. Y continúa evolucionando. También ocurrió el *big bang* de la vida, pero que no dejó ni rastro de sus orígenes, pues cualquier estructura autoduplicante inicial fue borrada del mapa por posteriores estructuras más eficientes, en un proceso exponencial de crecimiento, que incluyó también bastantes momentos donde estuvo casi a punto de extinguirse. Los *big bang* no se pueden ver, pues nadie había allí entonces, pero se pueden calcular extrapolando a partir de modelos. Si, como piensa Elon Musk, las formas de vida biológicas somos solo la etapa inicial que da lugar a las formas de vida tecnológicas, es posible que después de un tiempo no quede ni rastro de nosotros, y que para los robots su origen sea un revoltijo de mitos.

Hemos visto que existen varios mecanismos que generan complejidad de forma espontánea, por lo que los mundos, para florecer, no requieren realmente de casi nada. Sin embargo, hay excelentes libros como *Las manchas del guepardo*, de Goodwin, que se empeñan en mostrar a la evolución como un mecanismo menor, casi sin importancia, frente a los procesos matemáticos con dinámicas caóticas o de leyes de potencia. Eso es un error. Cada mecanismo es importante dentro de su ámbito. Mientras la complejidad sea pequeña y no exista la capacidad de autorreplicación, efectivamente impearan los mecanismos del caos. Pero ellos generan una complejidad no adaptativa, no inteligente, incapaz de sobrevivir si el entorno cambia. Solo cuando aparece la autorreplicación y, con ella, la evolución, la complejidad de los sistemas da un gran salto cualitativo y cuantitativo: pueden adaptarse a entornos cambiantes, pueden sobrevivir aunque el mundo se oponga a ellos, y pueden optimizar todo tipo de recursos, logrando de paso que surja la inteligencia y la consciencia. Una vez que aparece la evolución, los procesos caóticos siguen estando allí, de modo que hay una interacción entre ambos que favorece que surja más complejidad. Y de la interacción entre diferentes entes, analizada por la teoría de juegos, aparece nueva complejidad, incluyendo la posibilidad de que los entes se asocien para formar objetos mayores que, a su vez, compitan o cooperen entre sí, formando otros mayores, en una escalera ascendente de complejidad que no pareciera tener fin. Hemos visto una propuesta de algoritmo general para generar complejidad, que se basa en ello. Aplicándolo, la complejidad no tiene límites. A la vez, tampoco tiene garantías y puede derrumbarse en cualquier momento, para volver a crecer a continuación.

En el aspecto de programación se han mostrado los algoritmos evolutivos más importantes, así como una implementación propia del autor de un algoritmo genético básico y un algoritmo generador de complejidad evolutivo. Los algoritmos evolutivos actuales capturan una parte de lo que significa la evolución, pero no todo. Concretamente, los cromosomas nunca se asocian entre sí, para formar cromosomas más complejos. Y la función de aptitud es fija. Ambas cosas limitan las sorpresas a un solo nivel de emergencia. Por así decir, si buscamos sillas, los algoritmos evolutivos nos encontrarán la silla óptima, pero nunca nos ofrecerán un sillón reclinable, una silla con ruedas o un columpio, debido a que la estructura de datos es fija (el cromosoma), lo que impide salirse de un molde prefijado. Además, la función de aptitud codifica rígidamente el objetivo a buscar, sin permitir variantes ni sorpresas en ese sentido.

Mientras que en los aspectos filosóficos se han dado las bases para entender la flexibilidad de la inteligencia. Se ofreció un resumen de las formas de pensar humanas y de los algoritmos existentes hasta ahora. Recordar que inteligencia significa predicción. Y que toda inteligencia es colectiva.

La consciencia es un fenómeno que nos maravilla y que está muy mal entendido. El filósofo Daniel Dennett es quien mejor ha logrado deducir de que se trata: el yo es una ilusión del cerebro, que tiene como objetivo dar un sujeto a la narrativa de todo lo que ocurre. Y el objetivo es también evolutivo: los animales muy simples, como los insectos, posiblemente tienen todas sus neuronas cableadas por los genes, todos sus comportamientos fijos, y no aprenden. El comportamiento de supervivencia y reproducción está cableado, pertenece al *hardware*, y siempre funciona igual, de manera reactiva. Por el contrario, conforme aparece el cerebro y aumenta su complejidad, hay situaciones que obligan a tomar decisiones difíciles. La evolución requiere preservar el individuo, y de ahí el invento del yo en los cerebros superiores. Con él aparece la consciencia y otros epifenómenos como los *qualia* y las sensaciones subjetivas. Todo esto lo hemos aterrizado en este libro en términos computacionales: el yo es un punto fijo que aparece casi inevitablemente cuando tienes un conjunto grande de predictores, conectados unos con otros. Y los *qualia* y las sensaciones subjetivas no son más que fallos de codificación de la información, con funciones que no tienen inversa.

No debemos extrañarnos. Si la inteligencia es un algoritmo, la consciencia debe ser otro algoritmo.

Somos definitivamente robots biológicos, no solo a nivel genético, sino también en lo que tiene que ver con la inteligencia y la consciencia. Y nuestro universo parece determinista. Pero, a pesar de todo, actuamos con libertad, dado que la libertad no es absoluta sino relativa a quienes la miden.

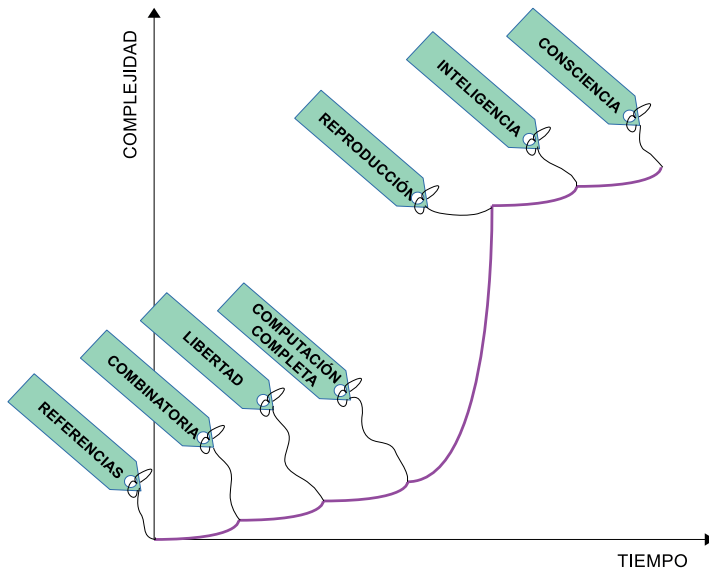


Figura 102. La escalera de la complejidad. Emergencia de propiedades en sistemas complejos

Simultáneamente a todo ello hemos logrado identificar los escalones de complejidad que hay que subir para alcanzar ciertas propiedades (Figura 102). En todos los casos son saltos muy pequeños respecto al nivel anterior, excepto para lograr la reproducción. Son los siguientes:

- **Referencias.** Es el punto de partida. Los objetos deben tener algún nombre u otra forma forma abreviada de referirse unos a otros. Ello no requiere mucha complejidad, sino más bien algún mecanismo físico. De allí es inmediato que aparezcan autorreferencias.
- **Combinatoria.** Si tengo tres objetos  $\{A,B,C\}$ , pueden aparecer en distintos órdenes  $\{ABC, ACB, BAC, BCB, CAB, CBA\}$ . Para  $N$  objetos hay  $N!$  posibilidades. Esto amplía mucho la variedad y complejidad del universo. Es lo que hacen los *quarks* al asociarse para formar *hadrones*, a nivel de partículas elementales. Pero luego, además, puede repetirse con unos niveles dentro de otros, como en grafos donde cada nodo puede ser otro grafo. El universo amplía mucho más su variedad y complejidad con este tipo de hipercombinatoria. Los electrones, protones y neutrones se juntan para formar átomos, que se asocian para formar moléculas y así en muchos niveles.
- **Libertad.** Si hay memoria, algún proceso no lineal y algo de libertad, eso puede producir más libertad. Y si en este nivel no se consigue inmediatamente, se conseguirá cuando aparezca la capacidad de cómputo universal.

- **Capacidad de cómputo universal.** Si hay memoria, comunicación local (que viene dada por referencias de vecindad entre muchos objetos) y cómputo básico (no necesariamente universal, que puede lograrse con transformaciones de símbolos, reacciones químicas, o cambios de estado en general como respuesta al estado anterior y a estímulos de entrada) entonces es bastante probable que aparezcan Máquinas de Turing Universales. La probabilidad de que ello ocurra es del 2%, es decir, muy alta, prácticamente inevitable en un entorno con muchos cambios y muchos objetos, como nuestro universo.
- **Reproducción.** Si un objeto es capaz de sacar copias de sí mismo, entonces sus copias también lo podrán hacer. Y ello automáticamente nos conduce al proceso más importante de generación de complejidad, la evolución, pues adicional a ello, solo se requiere que haya algunos errores al hacer las copias. La probabilidad de emerja la reproducción es muy baja, del orden de  $2^{-200000}$ , por lo que deben dedicarse más esfuerzos de investigación a tratar de entender las razones. No en vano solo se conocen dos tipos de reproducción en nuestro planeta, la biológica y la de las arcillas (mucho más limitada) y ello es un buen indicador de lo difícil que es la emergencia de esta propiedad. En el siguiente apartado se propondrá una posible solución a este problema. También hay que considerar qué objetos usaremos como punto de partida en la reproducción, pues los animales superiores no comemos tierra, sino aminoácidos, vitaminas y enzimas. La reproducción de robots ¿de qué elementos base partirá? ¿Módulos preensamblados procedentes de fábricas? ¿Minerales que hay que extraer del suelo con los que construir cada pieza? Y si todavía no hay suelo y los átomos vagan en nubes por el espacio ¿habrá que construir primero un planeta donde construir las máquinas que construyan las fábricas que construyan los robots? Quizás, después de todo, se requiera toda una civilización para poder replicar un robot<sup>100</sup>.

La reproducción genera nuevos objetos, al igual que la combinatoria. Pero la combinatoria genera objetos completamente distintos, asociando otros objetos preexistentes al azar, sin ejecutar ningún plan, mientras que la reproducción genera objetos muy similares a partir de otro que sirve como patrón. La combinatoria es una búsqueda completamente al azar, mientras que la evolución incluye un bucle de realimentación positiva (cuanto más seres vivos haya, más seres vivos

---

100 Por analogía con el proverbio africano que dice que se necesita toda una tribu para educar a un niño.

habrá) y otro de realimentación negativa (cuanto más te apartes del óptimo menos te reproduces), que generan un aumento espectacular de complejidad.

- **Inteligencia.** La inteligencia es siempre colectiva. Se requiere un grupo de agentes similares, de modo que para llegar aquí se necesita la reproducción y la evolución. Y poco más. Es necesario que esos agentes interactúen entre sí. La presión evolutiva empuja a los agentes a que predigan el futuro en su afán de sobrevivir (huir de condiciones destructivas y acercarse a situaciones favorables) e incluso para modificarlo en su propio beneficio. La inteligencia emerge inevitablemente si existe previamente el bucle de la evolución. Y la inteligencia es adaptativa, o sea, es mayor cuanto más complejo sea su entorno.
- **Consciencia.** El yo de la consciencia emerge cuando aparece un bucle de realimentación en el conjunto de agentes que realizan predicciones. De nuevo, el salto de complejidad respecto a la inteligencia es mínimo. El *software* actual es capaz de realizar muchas tareas inteligentes, pero todavía no puede reconocerse a sí mismo como un actor dentro del problema que está resolviendo. Pero falta muy poco para ello.

En algunos casos se han podido identificar los bits de complejidad requeridos para alcanzar cada escalón, que son del orden de 8 bits para la capacidad de cómputo universal y 200 000 para lograr la reproducción. En los demás casos (libertad, inteligencia y consciencia) sabemos que se requiere muy poca complejidad, apenas uno o dos bucles adicionales de realimentación, concretamente dos bucles para alcanzar la libertad por medio del caos, un bucle de predicción para la inteligencia y un bucle para la consciencia.

Cabe dentro de lo posible que haya otros escalones de estabilidad que todavía no hemos identificado o no hemos interpretado adecuadamente. Por ejemplo, en mecánica cuántica, las órbitas del electrón en el átomo de hidrógeno son aquellas donde el electrón, visto como onda, interfiere constructivamente consigo mismo. Se puede pensar que todas las partículas y todos los estados de la materia que conocemos son el resultado de una realimentación positiva. Los objetos o procesos que interfieren destructivamente consigo mismos no pueden existir, o tienen un tiempo de vida muy reducido. Esas órbitas del electrón son estables y no hemos hablado de ellas, ni de tantas otras estabilidades.

Y la consciencia no es el punto final. Como vimos en el algoritmo general para producir complejidad, siempre se pueden agrupar entes conscientes para fabricar un nuevo nivel. No hay un límite, pero tampoco hay garantías de crecimiento, pues toda esta construcción es inestable.

Quisiera también resaltar que los temas principales tratados en este libro (complejidad, libertad, vida, inteligencia, consciencia) tienen un factor común: no son fáciles de medir. Y propongo que la forma más razonable de hacerlo es a través de una generalización del test de Turing, donde hay dos agentes compitiendo entre sí para mostrar cuál es más complejo, más libre, más vital, más inteligente o más consciente. Existe un árbitro, que es mejor o igual que ambos agentes en el aspecto a medir. El árbitro interactúa con cada agente por separado, proponiéndole una conversación, o un problema o un obstáculo a ver cómo reacciona. A partir de las respuestas de ambos agentes, el árbitro decide quién es el mejor.

Después hago la observación de que la función de medición de complejidad, libertad, vida, inteligencia o consciencia sufre de *aliasing*, es decir, un árbitro poco complejo (o libre o vital o inteligente o consciente) no debería intentar medir a un agente más sofisticado que él, pues el resultado sería bastante equivocado. Y hago la conjetura que la medición es correcta cuando el árbitro tiene un nivel de sofisticación mayor, igual o ligeramente menor al del agente<sup>101</sup>. A esta función la llamo mayor o aproximadamente igual ( $\succeq$ ).

El progreso de las civilizaciones humanas (y en particular de la ciencia) se apoya en esa función, usando una población de árbitros, que pueden ir desde el consejo de ancianos, los pares académicos o los contactos en las redes sociales. Ninguna teoría de ningún tipo ha sido aceptada por la sociedad si su complejidad está demasiado por encima de los árbitros. Debe ser solo un poco mayor<sup>102</sup>. Por eso el progreso es lento.

## LIBERTAD E INTELIGENCIA

Es un buen momento para reflexionar sobre la relación entre estos dos conceptos y proponer una definición científica de la ética. Recordemos que la libertad nos permite aumentar la inteligencia, y que la inteligencia nos permite aumentar la libertad. Pero que nos permita hacerlo no quiere decir que nos obligue. De hecho, como también comentábamos, la inteligencia también nos permite destruirlo todo de la forma más rápida posible.

Sabemos que el universo aumenta su entropía inexorablemente, de modo que la ética se podría definir de una manera científica como usar la inteligencia para maximizar la libertad, ya que tener mucha libertad significa que

---

101 Esta conjetura se apoya en observaciones empíricas, pues no hay pruebas en ningún sentido.

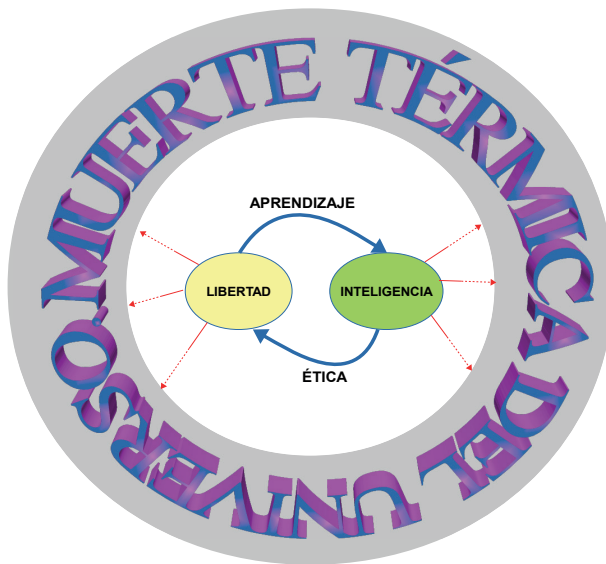
102 En la teoría de enseñanza-aprendizaje, Lev Vygotsky propone lo mismo: enseñar cosas nuevas que estén dentro de la zona de desarrollo proximal de los niños (Dixon-Krauss, 1996), es decir, solo un poquito por encima de su nivel actual.



hay muchas posibilidades disponibles, es decir, la entropía se aumentó lo menos posible. Hacemos un esfuerzo, usando nuestra inteligencia y nuestra libertad, para posponer la muerte del universo lo más que se pueda. Estamos hablando ahora de la inteligencia de un individuo y de la entropía del universo completo, que incluye a ese individuo.

De esta manera, asesinar a otra persona (o talar un bosque) no sería ético porque disminuye la libertad de la persona muerta y aumenta la entropía del universo. Y así podría uno llegar a conclusiones matemáticas de cuando conviene matar animales o plantas para comer, si el beneficio en términos de libertad y entropía, compensa el costo. Dicho con otras palabras, la ética consiste en no aumentar gratuitamente la entropía del universo. Evitar comer animales si se pueden comer plantas. Al final, hay que comer, sin duda.

La ética y el aprendizaje (Figura 103) nos sirven para aumentar la libertad y la inteligencia, logrando así que el universo dure mucho. Pero si elegimos otros caminos (en color rojo, en la misma figura), el universo durará menos.

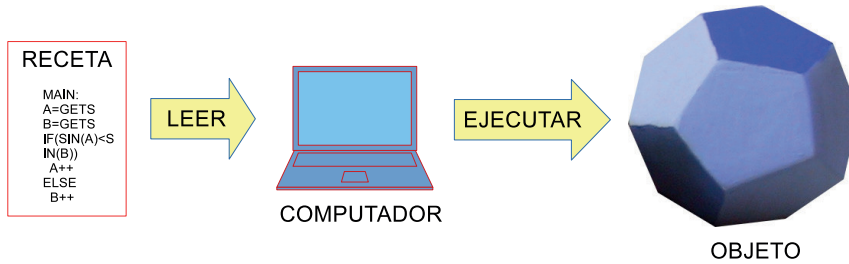


*Figura 103. Ética y aprendizaje, en un contexto amplio*

#### **OTRA FORMA DE MODELAR LA REPRODUCCIÓN**

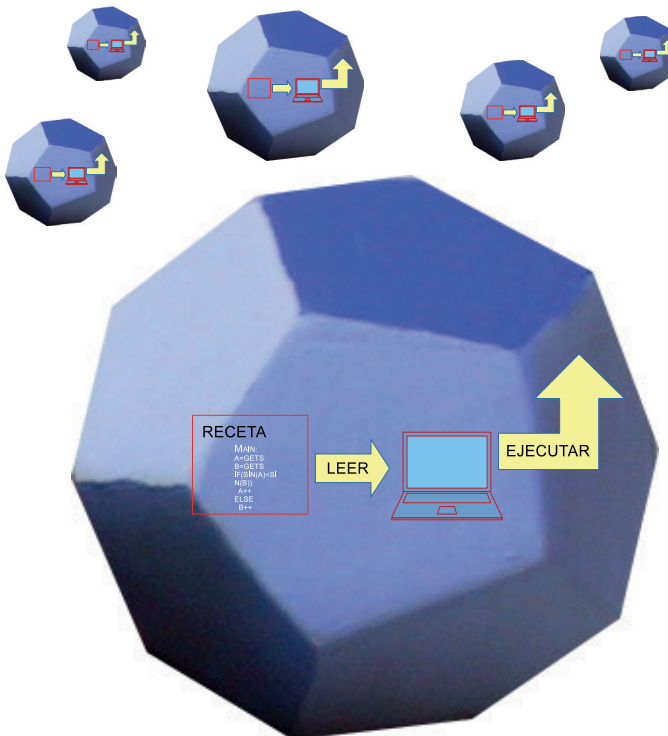
Este es un tema que quedó pendiente, y quiero retomarlo haciendo una propuesta, ya que partiendo de Máquinas Universales de Turing, la reproducción puede ser más fácil de alcanzar. Tanto en el trabajo de von Neumann sobre reproducción usando autómatas celulares, que vimos en el libro anterior, como en la reproducción de los seres vivos, no se analiza el objeto a

reproducir para sacar una copia de cada una de sus partes. Lo que ocurre es que existe una receta (es decir, un algoritmo) que se lee, se ejecuta y como resultado se fabrica un objeto (Figura 104).



*Figura 104. Fabricación de un objeto a partir de su receta*

Ahora bien, para que la receta no sea única ni centralizada (lo cual conllevaría el riesgo de que un fallo pueda dar al traste con todo el sistema reproductivo), cada objeto debe de incorporarla en su interior. Hay que pensar en la receta como un programa de computador. Y el computador que ejecuta la receta debe estar disponible ampliamente en el entorno donde viven esos objetos, o bien cada objeto incorporarlo también en su interior (Figura 105).



*Figura 105. Población de objetos, cada uno con su receta y su computador*

Obviamente, la receta debe incorporar también la manera de fabricar ese computador, y seguramente otros detalles de infraestructura básica como la membrana que aísla cada objeto de los demás.

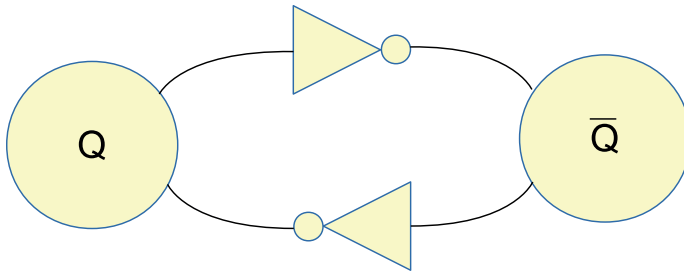
Ya sabemos que las Máquinas Universales de Turing son muy fáciles de obtener por procesos meramente al azar. Lo único que falta por estudiar y entender es como fabricar al azar no la máquina, sino su descripción. Obviamente con ello nos metemos en el típico problema de qué fue antes, si el huevo o la gallina. Para ejecutar la descripción hace falta un computador, y para fabricar el computador hace falta su descripción. A la vez, nada más natural en este tema de la vida artificial que nos aparezca un bucle de este tipo. Entonces ese es el único misterio a resolver: cómo fabricar una Máquina Universal de Turing que contenga una descripción de sí misma. Su complejidad debe ser mucho menor a la de tratar de fabricar un autorreplificador universal. Y para pasar del primero al segundo basta la evolución: por mutaciones de la receta aparecerán objetos nuevos pegados a la Máquina Universal de Turing.

Acaba de descubrirse otro proceso que podría haber originado la vida en la Tierra, y que va en línea con estas ideas (Springsteen, 2018). Inicialmente hay un bucle de autocopiado que se origina con moléculas inorgánicas. Básicamente una reacción autocatalítica, como las que propone Stuart Kauffman. Pero lo interesante de este trabajo es que muestran cómo cada molécula inorgánica puede ser sustituida por otra orgánica, en pequeños pasos. Y que la reacción química resultante es básica para el ciclo del ácido cítrico, que a su vez es fundamental para la liberación de energía almacenada en las células de todos los organismos aeróbicos.

Sin embargo, podemos desarrollar aún más esta idea. Para ello, hay que recordar que una hipótesis de partida de estos libros es que todo el universo es solo información, y que la Física se puede entender simplemente por medio de procesos computacionales. Entonces, si los objetos de las figuras anteriores son solo información ¿qué es la receta? Pues la misma información, pero comprimida. La Máquina de Turing lee la información y la descomprime, fabricando así el objeto que representa. Pero aún falta algo por entender porque, si bien las MTUs generan información de salida, esa información es muy voluble y se pierde en cuanto la MTU genera más información. La solución a este acertijo es que la materia es la forma de dar persistencia a la información. Los objetos fabricados son materiales, algo concreto, no porque la materia sea dura, por así decir, sino porque consiste en una realimentación positiva que se automantiene.

Pensemos por ejemplo en el *flip-flop* más básico que se puede fabricar con transistores (Figura 106). En él se puede almacenar un bit de informa-

ción gracias a que si el estado  $Q$  vale 0, entonces el inversor de arriba lo convierte en 1, imponiendo así este valor al estado complementario  $\bar{Q}$ . Y entonces, con  $Q$  valiendo 1, el inversor de abajo lo convierte en 0, reforzando este valor al estado original  $Q$ . El bit de información se automantiene. Y no hay nada “duro” en esta figura, pues se trata solo de un flujo de información que se resiste a cambiar. La dureza o, más exactamente, la persistencia, tiene que ver con que se requiere energía para cambiar el estado  $Q$  a 1, (y su complementario a 0) venciendo la realimentación positiva. La materia cumple la misma función: es la memoria de la información.



*Figura 106. Un flip-flop consiste en dos estados complementarios realimentados por dos inversores*

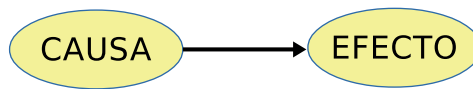
### DESPEDIDA

Estamos en una época de gran complejidad. Claro que en cuanto digo eso, me acuerdo del bonito cuento de Borges que al comienzo decía “le tocó, como a todos los hombres, malos tiempos en que vivir”. La verdad es que siempre hemos estado en cambio continuo, de una forma exponencial. Pero las exponenciales al principio son muy lentas, y los cambios que producen a lo largo de la vida de una persona son prácticamente imperceptibles. Nadie se da cuenta. Sin embargo, estamos ahora mismo en un momento donde el crecimiento es muy evidente y la explosión podría terminar mal.

¿Qué ocurre cuando un imperio como el romano crece tanto que las comunicaciones con su frontera se vuelven defectuosas, las órdenes llegan tarde y mal, y nadie tiene información fiable de lo que está pasando en el mundo exterior? El imperio se destruye. ¿Qué ocurre cuando un animal crece tanto que las órdenes del cerebro llegan con demasiado retraso a las extremidades? El animal no puede sobrevivir. ¿Qué ocurre cuando una sociedad crece tanto en complejidad que nadie parece tener el control de lo que sucede? Estamos en momentos de crisis social y la razón es muy obvia: la complejidad de la sociedad ha crecido tanto que no tiene una representación interna de sí misma. Ninguna persona ni subgrupo de personas entien-

de lo que pasa pues, como decíamos antes, la gente acepta mentiras sencillas en vez de verdades complejas. La sociedad ya no tiene capacidad para predecirse a sí misma usando simuladores internos. El futuro es impredecible y está fuera de control. Para evitarlo habría que autolimitar nuestra velocidad de cambio, de modo que siempre tengamos un simulador de nuestra sociedad correctamente sintonizado, funcionando bien y realizando predicciones correctas del futuro.

Cambiando a otro tema, quisiera presentar la reflexión de que la ciencia tradicionalmente es reduccionista, es decir, espera explicar los fenómenos complejos a partir de otros más simples usando relaciones de tipo causa-efecto (Figura 107).



*Figura 107. Causa-efecto*

Las Ciencias de la Complejidad no desprecian esta vía, pero incorporan otra más potente: la causación circular (Figura 108), que es una clase de realimentación positiva, así como “A” produce “B” y “B” produce “A”. Ello significa que si por alguna razón (bien sea de tipo causa-efecto, bien sea meramente aleatoria) aparece un objeto o proceso que se automantiene (es decir, la causa y el efecto son el mismo objeto, o bien la causa produce como efecto a esa misma causa, quizás directamente o quizás a través de pasos intermedios), esa causación circular es un escalón estable en la escalera de la complejidad. De allí el proceso puede explorar otras transiciones, (bien sean de tipo causa-efecto, o bien aleatorias) para descubrir nuevos escalones de estabilidad, de complejidad mayor. La causación circular tiene una potencia explicativa y funcional mucho más fuerte que la mera causa-efecto. En esta última, si desaparece la causa, desaparece el efecto. En la primera es mucho más difícil desestabilizarla porque se requiere destruir ambos, causa y efecto, a la vez; en caso contrario, cualquiera de ellos regenera al otro.

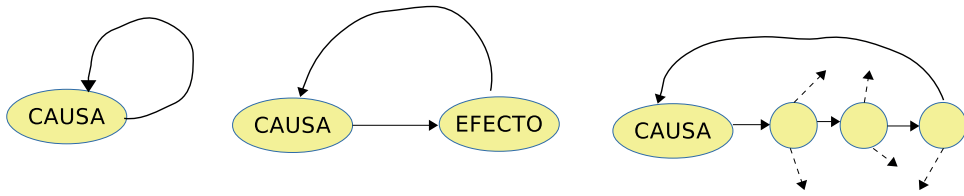


Figura 108. Causación circular

Para terminar, un último objetivo de este libro ha sido que no se vea lo artificial como un concepto peyorativo, ni siquiera radicalmente distinto a lo natural. Actualmente distinguimos entre natural y artificial, no solo en los conceptos aquí abordados (mundos, vida, inteligencia y consciencia) sino también en cosas más cotidianas (comida, medicinas o cultivos). Esa distinción es errónea, por dos razones:

- Lo que ahora llamamos natural y artificial se miden en la misma escala de complejidad. Actualmente usamos lo natural como referencia, únicamente porque tiene más complejidad que lo artificial. Pero la complejidad de lo natural se mantiene constante, al menos en intervalos de tiempo humanamente tratables (100 años), mientras que la complejidad de lo artificial sigue en aumento cada día que pasa y, habitualmente, de forma exponencial. De modo que llegará un momento en que la complejidad de lo artificial supere a la de lo natural. Ray Kurzweil ha estimado que va a ocurrir esa situación aproximadamente en 2045 como consecuencia de la Ley de Moore<sup>103</sup>, y a ese instante lo ha denominado la gran singularidad.
- Lo artificial se define como lo creado por los humanos, lo que no estaba allí por medios naturales. Pero esa definición no se sostiene. Veamos por qué: siguiendo esa definición, las arañas nos parecen naturales. Y las telas de araña también, pues las encuentras en el campo, colgadas de las plantas, sin necesidad de intervención humana. Supongamos ahora que los humanos no existiéramos, y que el animal con inteligencia suficiente para dominar el planeta fueran las arañas. Por analogía, ellas considerarían artificial las telas de araña, porque fueron creadas por ellas, y sin ellas no habría ninguna en el mundo natural. Quizás

103 La Ley empírica de Moore dice que se duplica la capacidad de cómputo de los procesadores cada 2 años. Este es un crecimiento exponencial. Y entonces se puede pronosticar que la capacidad de cómputo de un chip alcanzará a la de toda la humanidad en esta fecha. En fechas cercanas también se estima que se acabará el petróleo y que alcanzarán su apogeo las nanotecnologías y la bioinformática. Algo importante va a ocurrir en esa fecha, aunque no esté claro si va a ser bueno o malo. A ello se le llama la Gran Singularidad.

incluso se quejarían de que hay demasiadas telas de araña en el mundo, y que sería mejor regresar a lo natural. De la misma manera, si los castores fueran la especie dominante considerarían sus represas en las corrientes de agua como algo artificial. Si las hormigas fueran la especie dominante, los hormigueros, la guerra contra otras hormigas, la toma de esclavos entre las hormigas derrotadas y el cultivo de hongos serían consideradas por ellas como algo artificial. Por no hablar de los simios y las herramientas que emplean para comer. En definitiva, los humanos somos miopes al considerar las arañas, los castores, las hormigas y sus productos tecnológicos como algo natural. Todo ser vivo tiene productos tecnológicos. Es lo que Richard Dawkins llama con mucho acierto fenotipos extendidos, en algunos casos demasiado extendidos pues no son resultado directo de la expresión de genes, sino indirecto a través de la construcción de cerebros (como en los homínidos) y la generación de culturas o colectividades (también en homínidos y en hormigas). Pero en cualquier caso no tiene sentido considerar algunos naturales y a otros (únicamente los producidos por los humanos) artificiales.

Y una vez que aceptamos que pueden existir muchos mundos, y que la diferencia principal entre ellos no tiene que ver con lo naturales o artificiales que sean sino con su complejidad, es justo entonces, y exactamente en ese momento, que llegamos al final de este libro.

## RESUMEN

En estos dos libros de vida artificial se ha usado un nuevo enfoque para organizar muchos de los conceptos ya existentes. Y, además, en este segundo libro, se han propuesto seis conceptos nuevos:

- Una forma de entender los sistemas complejos basada en medir su complejidad en bits, donde conforme aumenta aparecen nuevas propiedades. Y un algoritmo general evolutivo para crear sistemas complejos.
- Una definición positivista de libertad, como la capacidad de evitar ser predicho.
- Una definición positivista de inteligencia, como la capacidad de predecir. Y una clasificación nueva de las formas de razonar.
- Un abordaje computacional a la consciencia, donde se resuelven los problemas del yo, de los *qualia* y de la experiencia subjetiva (*hard pro-*

blem), que permitirán fabricar consciencia artificial en robots y en organizaciones humanas.

- Una forma de definir la reproducción que es más alcanzable, pues requiere menos complejidad.
- Una definición científica de la ética.

## REFERENCIAS

### Libros, artículos y enlaces web

- Borges, J. L. (2007). *Nueva refutación del tiempo. Otras inquisiciones*. España: Destino.
- Dixon-Krauss, L. (1996). *Vygotsky in the classroom*. New York: Longman Publishers.
- Goldhaber, G. (2009). The Acceleration of the Expansion of the Universe: A Brief Early History of the Supernova Cosmology Project (SCP). *AIP Conference Proceedings*, 1166(53). arXiv:0907.3526. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.3232196>
- Springsteen, G., Reddy, J., Nelson, J., Joel, C. y Krishnamurthy, R. (2018). Linked cycles of oxidative decarboxylation of glyoxylate as protometabolic analogs of the citric acid cycle. *Nature Communications*. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02591-0> Recuperado el 18 de enero de 2018. Disponible en: <https://goo.gl/EUdNEZ>

### Tesis y trabajos de grado en EVALAB

En EVALAB por distintas circunstancias se han trabajado otros temas de *software* que nada tienen que ver con la vida artificial. Aquí los presento, principalmente como un reconocimiento a estos estudiantes que también participaron en el grupo aportando ideas, ayudas, conocimiento y buen ambiente.

- Arango, L. H. (2005). *Sistema de recolección de información para equipos de tecnología informática*. Cali: Universidad del Valle.
- Becerra, A. (2003). *CORBA para Mozart*. Cali: Universidad del Valle.
- Bolaños, J. J. (2008). *Aplicación web para el manejo de información académica del colegio técnico Comfacauca School Manager*. Cali: Universidad del Valle.
- Caicedo, S. H. (2009). *Desarrollo de una aplicación software identificador de factores protectores y de riesgo asociados al VIH - Sida y ETS*. Cali: Universidad del Valle.
- Campo, H. A. (2004). *Estudio, análisis y validación del estándar CORBA - El servicio de seguridad*. Cali: Universidad del Valle.
- Castaño, L. (2000). *Administración de transacciones en CORBA*. Cali: Universidad del Valle.



- Chamat, O. A. (2014). *Desarrollo de una aplicación Web para automatización de entrega y corrección de trabajos de programación*. Cali: Universidad del Valle.
- Gálvez, L. E. (2014). *Sistema centralizado de autenticación y autorización "Single Sign On"*. Cali: Universidad del Valle.
- García, P. A. (2013). *Sistema adaptativo de enseñanza del idioma sobre la plataforma Moodle*. Cali: Universidad del Valle.
- González, R. E. (2009). *Diseño de un algoritmo criptográfico Karn-SHA2-Feistel, mediante combinación de primitivas*. Cali: Universidad del Valle.
- Gutiérrez, J. E. (1999). *Diseño y construcción de un sistema operativo con fines educativos*. Cali: Universidad del Valle.
- Huguett, J. E. (2008). *Comparación entre lenguaje PHP y Ruby e implementación de una aplicación de comercio electrónico en Ruby on Rails*. Cali: Universidad del Valle.
- Marín, C. D. (2014). *Creación de novedad del sistema de información de recursos humanos (SIRH) correspondiente a la nivelación salarial de docentes y trabajadores oficiales*. Cali: Universidad del Valle.
- Martínez, M. del P. y Rojas, J. (2005). *Aplicación web para el manejo de la información académica de la corporación G.I.Q.* Cali: Universidad del Valle.
- Medina, J. J. (2006). *Creación de una especificación para un modelo de programación distribuida orientada a eventos*. Cali: Universidad del Valle.
- Melgarejo, M. M. (2005). *Informe técnico del diseño e implementación del sistema de información S.A.M. (seguimiento, administración y manejo)*. Cali: Universidad del Valle.
- Ochoa, A. A. (2009). *Servicio de directorio con listas de correo para la EISC en la Web (SDLCEW)*. Cali: Universidad del Valle.
- Payán, F. A. (2012). *Sistema integral de calificación automatizada como alternativa para optimización y gestión de evaluación de examen tipo test en la Universidad del Valle*. Cali: Universidad del Valle.
- Reyes, J. M. (2015). *Yuto - modelo de adaptatividad de ayudas para entornos e-learning utilizando Agentes Software*. [Tesis Maestría]. Cali: Universidad del Valle.
- Salazar, J. P. (2006). *Aplicación web para la administración y envío masivo de mensajería a telefonía móvil*. Cali: Universidad del Valle.

