

# Robots: el siglo pasado y el siglo

Adelante

Mejor ensayo de estudiante de doctorado, conferencia ALife'21, finalista

Federico Pigozzi

29 de abril de 2022

Reflexionemos sobre el estado de la robótica. Este año se cumple el 101 aniversario de RUR [2], una obra de teatro del escritor Karel Capek, a quien a menudo se le atribuye la introducción de la palabra "robot". La palabra solía referirse a los trabajadores forzados feudales en las lenguas eslavas. De hecho, apunta a una característica clave de los sistemas robóticos: son meros esclavos, no tienen derechos y ejecutan nuestra voluntad instrucción por instrucción, sin pedir nada a cambio. La relación con nosotros los humanos es comensalismo; en biología, el comensalismo subsiste entre dos especies simbióticas cuando una especie se beneficia de él (los robots aumentan la productividad para los humanos), mientras que la otra especie ni se beneficia ni se perjudica (¿puedes realmente argumentar que los robots se benefician simplemente con funcionar?).

Entonces distinguimos los robots de las "máquinas vivas", es decir, las máquinas infundidas de vida. Si las máquinas vivientes alguna vez se hicieran realidad, tendríamos que cambiar nuestra relación con ellas del comensalismo al mutualismo. La distinción no es sutil: la experimentamos todos los días con los animales domésticos, que cambian la servidumbre por forraje y protección. Esto se debe a que la vida ha evolucionado para resistir cualquier intento de esclavizarla; es terco

En el camino hacia las máquinas vivas, preguntémonos: ¿qué ha logrado la robótica en los últimos 100 años? ¿Qué queda por lograr en los próximos 100 años? Para nosotros, las respuestas se reducen a tres palabras: juego, necesidad (o muerte) y encarnación, como veremos a continuación.

## 1 El juego de la vida

Si hubiera un mito clásico que encarnara mejor al investigador de robótica, esa sería la historia de Pigmalión y Galatea. El mito (que nos ha transmitido Ovidio [10]) habla de un hábil escultor, Pigmalión, que se había consagrado a una vida casta. Un día, había creado una estatua tan hermosa que deseó que cobrara vida. La diosa Afrodita cumplió su deseo y convirtió la estatua de marfil en una mujer viva, Galatea. Al igual que el escultor mitológico, a la gente de la robótica le gusta ver que sus criaturas se vuelven "reales", "vivas". Pero, ¿qué significan estas palabras? ¿Cómo podemos saber que nuestra creación tiene efectivamente

convertirse en vida? Si le preguntas al profano, sin duda argumentará que los robots carecen de ese jugo de la vida natural. Pero, ¿qué diferencia a la vida biológica de la artificial?

En un nivel muy alto, los humanos definitivamente estamos vivos. Como animales, estamos "animados". La animación es posible porque la evolución nos dotó de un sistema de procesamiento de información, el sistema nervioso, capaz de traducir las percepciones en señales eléctricas; estas señales viajan a lo largo de una red de neuronas, axones y dendritas, antes de ser procesadas por una unidad maestra central, el cerebro, que instruye a nuestro cuerpo sobre cómo manipular la realidad (mediante más electricidad). Todo lo que pensamos, soñamos, tememos y amamos está hecho de pulsos eléctricos. Pero hay más, los animales no son los únicos seres vivos de la Tierra. El tejido mismo de las células, con el que se teje cualquier organismo biológico, prospera gracias a la electricidad. Lo que sostiene la vida es un flujo de electrones que se origina en los eventos de oxidación que ocurren dentro de todas y cada una de las células, fluyendo alrededor para proporcionar energía a las diferentes funciones de la célula. De hecho, varias especies de bacterias (p. ej., *Geobacter* [6]) se alimentan y excretan electrones puros, evitando la metabolización de moléculas orgánicas.

Visto desde esta perspectiva, resulta que la vida natural y la vida artificial no son tan diferentes. Lo que llamamos una "computadora" es, básicamente, una corriente eléctrica que corre a través de un circuito y codifica información como 0 y 1: la corriente está encendida y apagada. El mismo jugo, la electricidad, nos alimenta a nosotros ya las máquinas. Ahora nos damos cuenta de por qué no podemos ver el jugo de la vida natural en las máquinas. Todo está dentro de ellos, alimentando las primeras calculadoras que se construyeron en los primeros días de la computación.

## 2 Máquinas que necesitan (y mueren)

Si no estuvieras obligado a morir, ¿habría algo por lo que preocuparte? Resulta que, a pesar de estar entretejida en el mismo tejido eléctrico, la vida artificial aún parece sorprendentemente diferente de la vida natural. Los organismos biológicos necesitan.

Las computadoras no; no tienen intención. Incluso las entidades biológicas más simples, los virus, necesitan buscar huéspedes. Las calculadoras electrónicas pueden quedarse inactivas para siempre si tienen suficiente electricidad para subsistir; y si se corta la luz, no se quejen, no se rebelen. Las computadoras continúan por inercia; la vida es tan preciosa, pero no luchan por preservarla. Los robots todavía carecen de un sentido de necesidad. Las necesidades son requisitos de un organismo para poder sobrevivir. La teoría de las "necesidades" ha sido bien estudiada en psicología desde el trabajo de Maslow [7]. Son un poderoso impulsor de la motivación; si no se satisfacen, conducen al mal funcionamiento y, posiblemente, a la muerte del organismo. Si es necesario, los robots podrían prosperar. Buscarían energía para alimentarse, inventarían nuevos mecanismos para reproducir su especie y tratarían de reparar sus tejidos si estuvieran dañados. Construirían sociedades robóticas para aprovechar el poder de la especialización y hacer que las actividades económicas sean más eficientes. Desarrollarían una intuición de la naturaleza, la explorarían.

Pero la necesidad va de la mano con la muerte. Al final, todo se reduce a la muerte. Los seres vivos son, conscientemente o no, conscientes de la muerte. si fueran

no, la evolución ya los habría eliminado. Como argumentan Veenstra et al. [16], la muerte puede mejorar la capacidad de evolución de una población. La muerte reemplaza los genomas antiguos por otros nuevos perturbados, desatando el poder de las mutaciones estocásticas. La importancia de la muerte también está impresa en nuestras células. La apoptosis es el fenómeno biológico de la muerte celular programada. Las células están limitadas a una vida útil limitada, y miles de millones de ellas mueren por apoptosis en el cuerpo humano cada día. Es un evento altamente regulado y controlado que evolucionó principalmente para lograr un cambio morfológico. Curiosamente, Clune et al. [3] tasas de mutación evolucionadas en una población de individuos en evolución. Es un hecho conocido en la comunidad de la evolución digital que la mutación tiende a tener un efecto nocivo en la aptitud física de un individuo, engendrando descendencia que la mayoría de las veces no es apta (o incluso viable). Sorprendentemente, la evolución suprimió por completo las tasas de mutación, para aniquilar el efecto destructivo que la mutación tenía en la descendencia de los individuos. En cierto sentido, los individuos exhibían alguna forma de necesidad y existencialismo.

La muerte moldea no solo nuestro cuerpo sino también nuestra cultura. Ernest Becker argumentó en su obra maestra de antropología [1] que la civilización humana se desarrolló para exorcizar nuestro terror a la muerte. Reconocemos la mortalidad y hemos creado sistemas de creencias para asegurarnos de que sobreviviremos a nuestra existencia física. En el futuro, visualizamos una sociedad de máquinas vivas que perecen. En consecuencia, se centrarán en dar sentido a su existencia. Al final, esto es lo que nos unirá a nosotros y a las máquinas: la necesidad de sustentar nuestra existencia. Las sociedades robóticas teorizarán sus propios memes, las unidades fundamentales de la cultura, como un exorcismo contra la muerte. No es improbable que, algún día, seamos testigos de una “religión robótica” y tal vez, por qué no, de un robot Marx predicando sobre la lucha de clases robótica.

### 3 La encarnación es todo lo que necesitas

Becker y sus discípulos también creían que el miedo a la muerte es lo que nos distingue de otros animales. Los animales sobreviven e instintivamente evitan la muerte, pero en realidad no sienten el momento de su partida de este mundo de la misma manera que nosotros. Por creíble que parezca, esta afirmación oculta un ligero sesgo antropocéntrico. La evolución nos moldeó a los humanos para estar dotados de un intelecto lógico, pero es miope considerarla la única manifestación de la inteligencia. Es sólo una cuestión de nicho ecológico. Los humanos hemos evolucionado para ocupar nuestro propio nicho, la manipulación de la naturaleza (una manipulación que, en su origen, no fue tan destructiva como lo es hoy en día). Pero existen otros nichos ya que la evolución natural es abierta [15]. La naturaleza no optimiza para un objetivo numérico específico (como lo hacen muchos algoritmos de optimización), sino que hace coincidir cada especie con el nicho para el que es más adecuada (de lo contrario, la desarraiga brutalmente).

De hecho, es bien sabido que en la naturaleza surgen otras formas de inteligencia. Tome las sociedades de insectos [12]. Su estricta especialización surge de simples interacciones locales (como las feromonas para las hormigas o la temperatura corporal para las abejas) entre enjambres de agentes. Por ejemplo, las salamandras [4], que son hábiles para regenerar sus extremidades amputadas; Divertidamente, la reconstrucción de tejidos opera solo a través de comunicaciones locales.

putaciones, distribuidas por todo el cuerpo de la salamandra. Los protozoos del género *Lacrymaria* no tienen "cerebro" (son organismos unicelulares), pero pueden doblar y torcer su flagelo suave para agarrar presas difíciles de alcanzar, lo que permite que surjan dinámicas de caza complejas [8].

La disciplina donde más parece proliferar el sesgo antropocéntrico es la Inteligencia Artificial (IA). Escribiendo sobre robótica en 2022, en medio de la última ola de entusiasmo por la IA, sería imposible no mencionar la IA.

Aunque resulta que hay un subcampo preocupado por la inteligencia computacional y los algoritmos bioinspirados, la mayor parte del aumento reciente de la IA se debe al aprendizaje profundo (DL) [5]. DL tiene como objetivo imitar la mente humana por medio de modelos matemáticos abstractos. Pero la naturaleza no está hecha de razón pura; simplifica nuestra intuición, pero no tiene apoyo en la realidad. Sorprendentemente, tareas mentales complejas como jugar al ajedrez resultan mucho más fáciles de enseñar a una máquina que gatear como un niño pequeño (la paradoja de Moravec en robótica [9]). Las limitaciones de DL son bien conocidas por muchos investigadores en la comunidad, y hemos visto algunas batallas de Twitter de alto perfil encendiéndose entre detractores y paladines de DL. Para mí, la limitación más miope de todas es la falta de encarnación.

El paradigma de la inteligencia incorporada, a pesar de haber existido desde la década de 1980, fue popularizado por el libro seminal de Pfeifer y Bongard [13]. Postularon que la inteligencia emerge de las complejas interacciones entre el cerebro y el cuerpo, así como el medio ambiente. La mano humana es un ejemplo perfecto de esto. Nuestro cerebro ha coevolucionado con la mano, permitiéndonos captar, apreciar y manipular la realidad (como ya se mencionó, nuestro rasgo dramático).

Los pulpos son extraordinariamente inteligentes y sobresalen en habilidades como navegar en un laberinto y agarrar objetos [11]. Nunca habrían desarrollado tales habilidades si sus cuerpos no fueran suaves, con tentáculos que tuvieran infinitos grados de libertad.

Fieles a la encarnación, una nueva generación de robots blandos nació en la última década [14]. Sus materiales blandos pueden doblarse, estirarse y torcerse, al tiempo que prometen lograr reconfigurabilidad y cambio de forma. Los robots blandos también se programarán para que sean caducifolios, y sus materiales blandos ayudarán a deshacerse de sus cadáveres. Al tener un cuerpo transitorio, estas máquinas vivientes podrían estar infundidas con la sensación de muerte que mencionamos antes.

## 4 El deber hacia la vida

Un día en el futuro, una máquina viviente (que se llame Galatea) podría buscar videos de los primeros robots que se construyeron, ansiosa por aprender más sobre sus antepasados. Supongamos que aparece un video que muestra a los ingenieros golpeando y empujando sin piedad a un robot en un intento de probar su resistencia. Como entidad encarnada, Galatea percibiría el dolor que el robot podría haber sentido. Ahora supongamos que Galatea también está destinada a morir. Anhela la vida como cualquier organismo vivo.

¿Qué tan brutal se vería ese acto en sus ojos eléctricos? Al final, ¿nuestras creaciones robóticas nos repudiarían, nos etiquetarían como "un virus" como lo hizo el Agente Smith (el villano, en sí mismo una máquina) en la película "Matrix" [17]?

En el mito griego original, Galatea era simplemente un objeto en las manos

de su creador Pygmalion, pero el ejemplo esbozado antes sugiere un cambio de mentalidad radical que se debe a nuestros días. Comenzamos nuestro viaje preguntándonos sobre los próximos 100 años en robótica. He discutido las direcciones que, para mí, parecen las más prometedoras para elevar las máquinas de su estado de "robot" al codiciado estado de "máquina viviente". Pero, al engendrar máquinas vivientes, asignamos un nuevo esfuerzo, o carga, a nosotros mismos; el enfoque cambia a los creadores. Las máquinas vivas deben ser respetadas y protegidas; somos responsables de ellos de la misma manera que ellos tienen responsabilidades hacia nosotros. Si realmente queremos ser los creadores de la vida artificial, debemos reconocer que es vida.

## Referencias

- [1] Ernest Becker. La negación de la muerte. Simón y Schuster, 1997.
- [2] Karel Capek. RUR (robots universales de Rossum). Pingüino, 2004.
- [3] Jeff Clune, Dusan Misevic, Charles Ofria, Richard E Lenski, Santiago F Elena y Rafael Sanjuán. La selección natural no logra optimizar las tasas de mutación para la adaptación a largo plazo en paisajes de aptitud física accidentados. PLoS Computational Biology, 4(9):e1000187, 2008.
- [4] Alberto Joven, Ahmed Elewa y Andrés Simon. Sistemas modelo para la regeneración: salamandras. Desarrollo, 146(14):dev167700, 2019.
- [5] Yann LeCun, Yoshua Bengio y Geoffrey Hinton. Aprendizaje profundo. naturaleza, 521(7553):436–444, 2015.
- [6] Derek R Lovley, John F Stolz, Gordon L Nord y Elizabeth JP Phillips. Producción anaeróbica de magnetita por un microorganismo disimilatorio reductor de hierro. Naturaleza, 330(6145):252–254, 1987.
- [7] Abraham Harold Maslow. Una teoría de motivación humana. Revisión psicológica, 50(4):370, 1943.
- [8] Mástil de Samuel Ottmar. Hábitos y reacciones de los ciliados, lacrymaria. Día nal of Animal Behavior, 1(4):229, 1911.
- [9] Hans Moravec. Mind children: El futuro de los robots y la inteligencia humana. Prensa de la Universidad de Harvard, 1988.
- [10] Mark PO Morford y Robert J. Lenardon. mitología clásica. Prensa de la Universidad de Oxford, EE. UU., 1999.
- [11] Marion Nixon, John Z Young, John Zachary Young, et al. los cerebros y vida de los cefalópodos. Prensa de la Universidad de Oxford, 2003.
- [12] Martin A Nowak, Corina E Tarnita y Edward O Wilson. La evolución de la eusocialidad. Naturaleza, 466(7310):1057–1062, 2010.

- [13] Rolf Pfeifer y Josh Bongard. Cómo el cuerpo da forma a nuestra forma de pensar: una nueva visión de la inteligencia. Prensa del MIT, 2006.
- [14] Daniela Rus y Michael T. Tolley. Diseño, fabricación y control de soft robots *Naturaleza*, 521(7553):467–475, 2015.
- [15] Kenneth O Stanley. Por qué importa la apertura. *Vida artificial*, 25(3):232–235, 2019.
- [16] Frank Veenstra, Pablo González de Prado Salas, Kasper Stoy, Josh Bongard y Sebastian Risi. Muerte y progreso: cómo la capacidad de evolución está influenciada por la mortalidad intrínseca. *Vida artificial*, 26(1):90–111, 2020.
- [17] Andy Wachowski, Larry Wachowski, Keanu Reeves, Laurence Fishburne, Carrie-Anne Moss, Hugo Weaving, Gloria Foster, Joe Pantoliano y Zach Staenberg. *Matriz*. Warner Home Video Burbank, California, 1999.