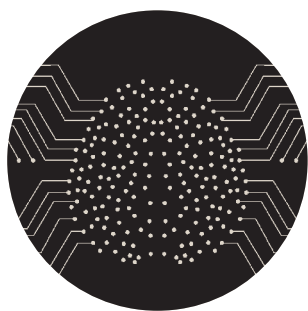




PRESENTE Y FUTURO DE LA INGENIERÍA ROBÓTICA

ENTREVISTA CON JESÚS SAVAGE CARMONA

Equipo RUM

Aunque pueda resultar obvio, sería importante delimitar el concepto que nos atañe. ¿A qué podemos llamar robot?

Eso depende del tipo de "robot" del que hablemos. Empecemos diciendo que un robot tiene tres componentes básicos: el electrónico, el mecánico y el software. Uno pudiera pensar que, por ejemplo, una lavadora moderna tiene estos componentes. Y los tiene. Pero hay otros elementos que permiten afirmar que una lavadora no es un robot.

Un robot, para ser tal, debe tener una representación de lo que tiene dentro y de lo que está fuera. Es decir, debe tener sensores internos para saber cuánto gira una rueda, para determinar cierta temperatura, para saber qué tan cargada está su batería, en fin, para conocer su estado interno. Esto, por supuesto, lo tiene una lavadora. Lo que no tiene —y debe tener para ser considerada un robot— son sensores externos que le permitan percibir un medio ambiente determinado e interactuar con él.

Los sensores externos pueden ser cámaras RGB-D o de otro tipo que le permitan identificar colores y también calcular la distancia a la que se encuentra un objeto. Con esas cámaras el robot establece lo que llamamos una *nube de puntos*, capaz de separar planos y así generar una representación del medio ambiente en el que se desenvuelve.

¿Podría describir los procesos que realiza un robot cuando interactúa con el medio ambiente?

Por supuesto. Imaginemos que he dejado mis lentes sobre el escritorio de mi oficina. Cuando un ser humano visualiza esos lentes puede pensar que están compuestos por átomos, si son de una marca moderna o no. Sin embargo, lo que más le urge entender al cerebro, y lo primero que procesa, es que son unos lentes encima de una mesa. Pues con los robots pasa esto último, sobre todo con los de servicios. Gracias a los sensores, el robot se hace una idea de lo que tiene delante y, a partir de ahí, puede ejecutar la orden que se le dio. Digamos que esa orden es: "Robot, ve a mi oficina y tráeme mis lentes".

Para lograr su objetivo, el robot primero reconoce en mi voz que le estoy dando un comando, gracias a los micrófonos que tiene incorporados, que son sensores también. Luego procesa ese comando de manera que el planeador de acciones sepa qué hacer. Con otros sensores calcula su posición y la de mi oficina, y así logra trasladarse hacia allí. En su base de datos él sabe que mis lentes suelen estar sobre un escritorio, así que ese será el sitio donde primero busque. Entonces llega, los identifica como mis lentes e inmediatamente calcula las coordenadas de estos y la distancia respecto a su brazo, que está formado por varias articulaciones y motores. Hace más cálculos, esta vez para saber cuánto debe

girar cada motor, de manera que su brazo pueda alcanzar los lentes y agarrarlos.

Entonces, volviendo al ejemplo de la lavadora, podría decir que ese electrodoméstico no es realmente un robot porque suele carecer de sensores para desenvolverse en el medio ambiente que lo rodea y porque solo sigue un algoritmo. Un robot, en cambio, tiene la capacidad de procesar varios algoritmos que se convertirán en acciones ejecutables dependiendo siempre de la orden que se le da.

¿Entonces Alexa podría considerarse un robot?

Técnicamente, no. De hecho, Alexa es lo que se conoce en robótica como un *agente inteligente*. Este ejemplo es distinto al de la lavadora porque Alexa está programada para mantener un diálogo con una persona y generar una representación que le sirve para desenvolverse en su mundo, que es un mundo digital. Pero no es un robot.

La principal distinción, o al menos la más evidente entre Alexa y un robot, es que este último tiene cuerpo. Cualquiera podría pensar que Alexa también lo tiene: posee un micrófono, una bocina y una conexión a internet. Sin embargo, a diferencia del robot que encontraba los lentes, el procesamiento de los comandos no sucede dentro de ese cuerpo,

sino en los servidores de Amazon, que quizás se encuentran en Estados Unidos. Cuando yo le digo a Alexa que quiero escuchar tal pieza de Bach, el reconocimiento



Robot Justina. Fotografía del Laboratorio de Bio-Robótica de la UNAM

y procesamiento de esa orden se realizan en los servidores de Amazon, no en la cocina en sí. Una prueba de esto está en el hecho de que sin internet no funciona.

Entonces, ¿qué de cierto hay en la afirmación de que interactuamos con robots día a día? ¿Realmente los hemos incorporado a nuestra cotidianidad?

Eso depende de si tienes un modelo de los que limpian pisos, como los Roomba. Esta máquina sí cumple con todos los requisitos para ser considerada un robot. Las hay más sencillas, cuyos sensores solo evitan obstáculos, pero las versiones más modernas ya son capaces de mapear la casa, de manera que puedes decirle que limpie la cocina cuando termine con la sala. Y lo más importante: procesa los comandos y toma decisiones dentro de su cuerpo.

En otras palabras, los robots de servicio son sistemas de software y hardware, autónomos o semiautónomos (más o menos capaces de tomar decisiones basadas en una representación interna del mundo), que se encuentran en ambientes dinámicos y complejos.

¿Qué industria o rama económica invierte más en el desarrollo de la robótica?

Diría que la industria manufacturera. En las fábricas de última generación casi todo está automatizado, y cada día se automatizan más. Y, bueno, también debo mencionar la industria armamentista que, desafortunadamente, mueve gran parte del desarrollo tecnológico en el mundo.

¿Cuál es el estado actual del desarrollo de la robótica en México?



Fotograma de la serie *Love, Death & Robots*, de Tim Miller, 2022

En varios lugares de México, como en las universidades, se diseñan y construyen robots. Sin embargo, en las industrias, que es donde más se usan, no parecen estar muy interesados en el desarrollo de robots propios ni en las posibilidades de impulsar este tipo de innovaciones a nivel nacional. Las fábricas prefieren importar modelos diseñados y ensamblados en otros países. Competir con las transnacionales en un contexto así es casi imposible.

Por otro lado, si bien es cierto que en nuestro laboratorio hemos fabricado varios robots, estos no se encuentran listos para su uso y comercialización. Para lograrlo necesitamos más recursos. Además, nos afecta la poca continuidad de los proyectos. Los estudiantes comienzan diversos proyectos de robótica, pero los abandonan una vez se gradúan. Aunque estos robots tienen un gran potencial, por las prisas quedan incompletos.

Los diseños de los robots no aparecen de la nada, sino que se basan en organismos que encontramos en la naturaleza. Cuando pensamos en robots, generalmente vienen a la mente los androides, o sea, aquellos que imitan el cuerpo humano. Pero, ¿qué otras funciones, procesos o diseños naturales imita la robótica? ¿Qué tanto ha tomado la robótica de las ciencias biológicas?

Yo trabajo en un laboratorio de bio-robótica que hace justamente eso: vincular la robótica con la biología. Y esta relación se basa en observar, estudiar e intentar imitar procesos naturales.

Algo que se nos ha dado muy bien son los *algoritmos genéticos*, que buscan reproducir lo que la naturaleza ha logrado con

éxito durante millones de años. Estos algoritmos son secuencias que simulan los genomas de un individuo, solo que en vez de nucleótidos como la adenina, la timina, la citosina y la guanina tenemos ceros y unos. Esos ceros y unos indican las cosas que puede hacer el robot, de la misma forma que el ADN define muchos rasgos de los seres vivos.

Entonces, supongamos que de forma aleatoria generamos mil individuos, o sea, mil secuencias de unos y ceros. En cada uno de ellos, esos números representan comportamientos, y al ser aleatorios, tal vez hacen que uno solo pueda andar en círculos, otro avance en línea recta y otro se quede parado. De acuerdo a lo que queremos, escogemos a cien de esos mil individuos y los combinamos. O sea, un pedacito de la secuencia binaria de uno se la pasamos a otro, y así. Luego, de estos cien, generamos otra vez mil, que serían nuestra primera generación. Esto lo hacemos una y otra vez en computadoras, de manera que al cabo de varias generaciones ya contamos con individuos capaces de resolver por sí solos los problemas que necesitamos que resuelvan.

Básicamente, se trata de un proceso evolutivo artificial, donde quedan quienes mejor se adaptan. La naturaleza tardó mucho tiempo en lograrlo; nosotros, por suerte, tenemos la posibilidad de hacer simulaciones en minutos.

¿En estos procesos hay cabida al "error", como en la naturaleza?

Por supuesto. Que la simulación muestre que se tuvo éxito no significa que cuan-

do uno pasa ese algoritmo a un robot con cuerpo todo marche igual. La realidad no es tan perfecta como una simulación, de manera que sí, hay un margen de error motivado por infinidad de factores, como un sensor empañado por la humedad o el hecho de que una superficie no sea tan plana como en el simulador.

Otro ejemplo de cómo se aplica el estudio de procesos naturales en este campo son las *redes neuronales artificiales*, un tipo de IA que es tendencia en la robótica y no está basado en símbolos, sino en datos.

con redes neuronales y redes simbólicas, mezclando ambas.

En los modelos tradicionales de ingeniería robótica se genera una representación simbólica de los objetos en cada espacio, mientras que los movimientos y las acciones del robot se planean usando técnicas de búsqueda en redes topológicas con una organización serial, de modo que si un módulo falla, todo el sistema falla. Por esa razón estos sistemas no son los más adecuados para entornos dinámicos ni para robots que presentan errores en

La excusa de Ford era falsa. No eran los mexicanos los que iban a "robar" el trabajo a los estadounidenses, sino los robots.

Generalmente usamos la lógica para resolver problemas y para que el robot, teniendo varias opciones, escoja la correcta. Diría que para esto empleamos una lógica específica, la booleana. Las redes neuronales artificiales, sin embargo, trabajan con grandes cantidades de datos, de los que logran sacar conclusiones. Este modelo está inspirado en el funcionamiento de nuestras neuronas y la manera en que estas se conectan, pues pueden simular redes dentro de computadoras muy modernas.

Las grandes empresas tecnológicas (Amazon, Google, Meta) cuentan con poderosas redes neuronales artificiales porque tienen acceso a mucha información, información que les brindamos y con la que pagamos esos servicios supuestamente gratuitos. Así, cuanto hacemos en internet sirve para alimentar bases de datos y volver más eficientes estas complejas estructuras. Nosotros también trabajamos

su movimiento o en sus sensores. Por otro lado, existen los modelos reactivos, basados en el comportamiento de insectos, que se diseñan usando lógica proposicional, máquinas de estados, campos potenciales o redes neuronales. La lógica proposicional, por ejemplo, genera una solución específica dependiendo de las propiedades que tenga el entorno. Esto implica que si un robot encuentra un obstáculo para seguir de frente o girar a la derecha, optará por dar un giro a la izquierda. Por último, hay también modelos probabilísticos que consideran que tanto el medio ambiente como los movimientos del robot dependen de variables aleatorias, las cuales pueden manipularse utilizando conceptos de probabilidad, como cadenas de Márkov Ocultas (HMM), Filtros de Partículas y Procesos de Decisión de Márkov. Desde luego, en la ingeniería robótica es común que los tres modelos se combinen para lograr mejores

resultados, como lo hemos hecho en el desarrollo de Justina, un robot de servicio que hacemos en la UNAM.

La ciencia ficción ha promovido un imaginario respecto a los robots en el que estos, eventualmente, se convertirán en nuestros enemigos. La cultura pop también está llena de ejemplos de este tipo. Pero ¿se percibe así el futuro desde la robótica?

Realmente, desde hace tiempo los robots sustituyen a los humanos en las fábricas. En 2017, cuando Donald Trump asumió la presidencia de Estados Unidos, se suponía que Ford abriría una fábrica en San Luis Potosí. Sin embargo, los directivos de la empresa la retiraron a Estados Unidos porque, supuestamente, dejarla en México significaba no dar empleo a muchos estadounidenses. Sin embargo, esa fábrica iba a contratar a unos pocos cientos de mexicanos, un número muy reducido, pues todo estaba automatizado. La excusa de Ford era falsa. No eran los mexicanos los que iban a “robar” el trabajo a los estadounidenses, sino los robots.

No obstante, la situación no llega a los augurios alarmantes de la ciencia ficción. Recuerdo que cuando aparecieron las computadoras personales se decía que las secretarías iban a desaparecer. Y no fue así. Pensemos ahora en los celulares, que ciertamente tienen infinidad de funciones y automatizan una gran cantidad de procesos. Estos, en vez de sustituirnos, han generado muchos empleos y hasta existe una industria alrededor de su fabricación y sus actualizaciones.

Nada de esto significa que en un futuro no suceda como con las máquinas hiladoras de la Inglaterra del siglo XIX contra las que se alzaron los obreros —aunque sin esas máquinas no hubiese sido posible la Revolución Industrial—. Sí veo que las máquinas nos puedan sustituir en cierta medida, pero ese augurio que desde *Frankenstein* nos advierte que la obra terminará por destruir al creador no es tan probable que ocurra, al menos no en los próximos mil años. Lo digo porque, para eso, un robot debe saber que está siendo explotado, o sea, tener conciencia. Y para que un robot obtenga esa capacidad, o mejor, para que logremos dársela, falta mucho, mucho tiempo. **U**



Robot HSR Takeshi. Fotografía del Laboratorio de Bio-Robótica de la UNAM