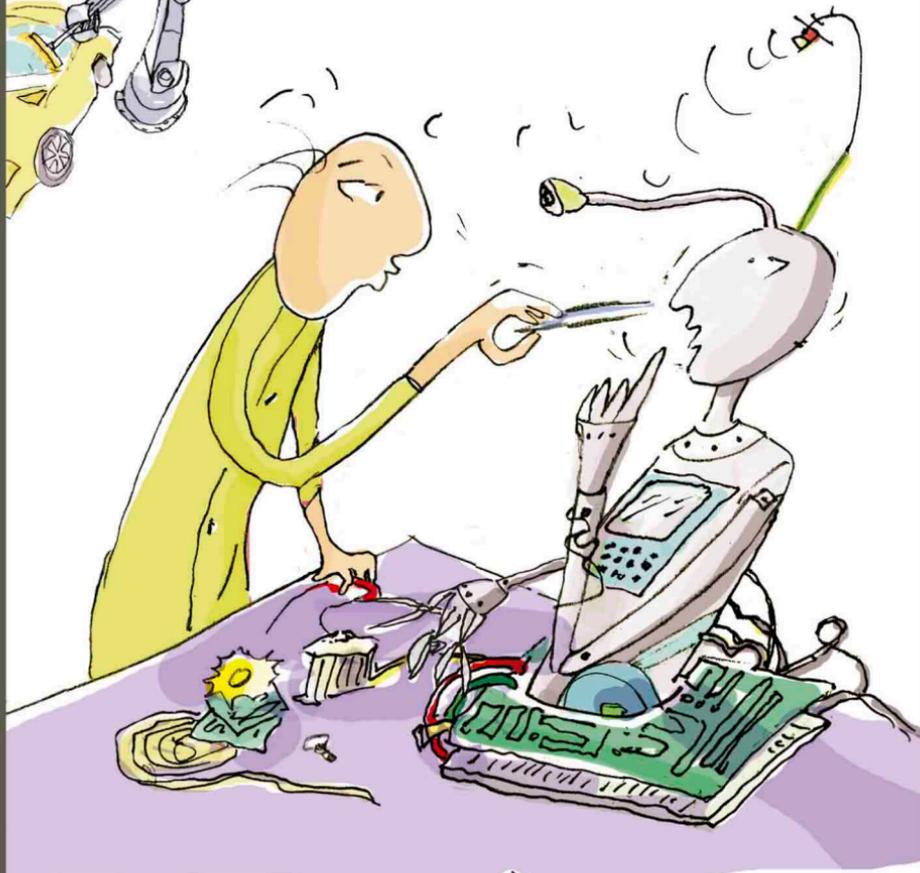
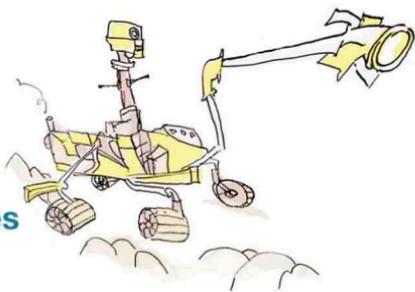


gonzalo zabala

robots

o el sueño eterno
de las máquinas inteligentes



 **siglo veintiuno**
editores

colección
ciencia que ladra...



2. Alma, mente y cuerpo (arquitectura de un robot)

En el primer capítulo hemos definido los conceptos más importantes atinentes a los robots. Ahora bien, ¿son todos iguales? ¿Cómo están compuestos? ¿Cuáles son los elementos más significativos en su estructura? En este capítulo presentaremos la arquitectura tradicional de los robots comparándolos con las computadoras convencionales y –¿por qué no?– con la configuración de los humanos...

Analogías

Como comentábamos en el capítulo anterior, al presentar la arquitectura de una computadora, uno siempre está tentado de realizar una analogía con el ser humano. En la máquina encontramos unidades de entrada, como el teclado y el *mouse*, entre otros. Estos dispositivos permiten ingresar información para ser procesada dentro de la computadora, de la misma manera en que nuestros sentidos nos permiten recolectar datos del mundo que nos rodea para luego procesarlos en nuestro cerebro. Siguiendo la misma línea, el cerebro presenta características similares a la unidad central de proceso (CPU) de una máquina, aunque con un funcionamiento esencialmente distinto. Por último, una vez que nuestro cerebro decide cómo actuar ante la información que recibió, genera ciertos impulsos para que determinadas partes del cuerpo realicen alguna actividad. Es decir que se produce una salida desde el cerebro hacia el mundo ex-

terior o hacia alguna parte del organismo. En las computadoras tenemos unidades de salida, entre ellos el monitor y la impresora, que desempeñan una función similar.³

Ahora bien, ¿podemos realizar la misma analogía con un robot? Está claro que un humanoide, que finalmente se encuentra a medio camino entre un humano y una computadora,⁴ tiene la misma arquitectura que ellos dos. Tomemos a Wall-E, así no usamos de ejemplo siempre a los malos. Wall-E puede ver, percibe sonidos y posee algún sistema de tacto. Esos son sus sentidos, sus unidades de entrada. A su vez, puede emitir sonidos, mueve las orugas, los brazos, las manos primitivas, la cabeza y los ojos. El sistema de sonido y los motores que generan los movimientos son sus unidades de salida. Y por último, debe poseer alguna unidad de procesamiento que, dada la información que recogen sus sensores, decida qué tienen que hacer sus actuadores.

¿Ocurre lo mismo en un robot más primitivo? Pensemos en un lavarropas sencillo, que simplemente tiene la capacidad de realizar la carga de agua en forma automática. Para saber si llegó al nivel deseado, utiliza un sensor que se activa al ser alcanzado por el agua. Esta es una de sus unidades de entrada. Una vez que detecta que se completó el llenado, cierra el paso del agua y continúa con el siguiente proceso. Los motores que generan estos movimientos (el cierre y el cambio de estado) son sus actuadores, y para coordinarlos tiene un pequeño cerebritito en una plaqueta, supuestamente aislado del agua. Es esa plaqueta la que nos causa terror cuando el servicio técnico, luego de analizar nuestro lavarropas descompuesto, nos dice con una sonrisa a flor de labios: “Disculpe, temo informarle que se ha quemado la plaqueta”. O lo que es lo mismo: “prepare la billetera”...

3 Una diferencia no menor es que en el cerebro el software y el hardware son lo mismo: las instrucciones están enmarcadas en la estructura y viceversa.

4 ¿Está en el medio? Mmmmm, ¡eso me lo tienen que demostrar!

Entonces, como dice el tango, los robots son todos iguales... ¿O no? ¿Qué procesadores, controladores, sensores y actuadores podemos encontrar al desarmar diferentes tipos de robots? Empecemos con el cerebro.

La mente

—Por fin, por fin, hemos llegado al cerebro positrónico.
Porque todos los robots tienen cerebros positrónicos,
¿no es así?

No, eso fue una genial idea de Asimov, pero sólo aplicable en sus relatos. Los cerebros positrónicos consistían en una malla de platino en la que todos los procesos se realizaban mediante flujo de positrones. Más allá de los libros, es complicado sostener a los positrones en nuestro mundo, ya que se aniquilarían con los electrones: son nada menos que su antipartícula.

En la vida real, podemos encontrar cosas más sencillas, pero no por ello menos diversas. Para construir el cerebro de un robot podemos utilizar desde microcontroladores hasta computadoras convencionales, gracias a la reducción de tamaño (¡y precio!) de estas últimas. Por ejemplo, ya tenemos robots controlados por modernos celulares (que cada vez son menos parecidos a un teléfono...).

Comencemos describiendo los microcontroladores. Estos son circuitos integrados con unidad de procesamiento, memoria y periféricos de entrada y salida. Es decir, toda una pequeña computadorita. Sus costos han bajado tanto en los últimos años que casi no hay electrodoméstico que no posea uno o más, aun para funciones sumamente sencillas que podrían ser resueltas de otra manera. Los más populares son los PIC de la firma Microchip y los AVR de Atmel. De cada uno de ellos existen muchos modelos distintos, con diferente grado de capacidad y velocidad de procesamiento y, desde ya, diferente precio. Para el mundo

de los aficionados a la robótica, uno de los PIC más populares ha sido el 16F84 (se siente alguna lágrima rodar por una mejilla nostálgica...). Del lado de Atmel, los AVR de 8 bits también han tenido mucho éxito en el mundo de la robótica.

La dificultad en el uso de los microcontroladores está en que debemos agregarles mucha electrónica y programación para poder conectar los dispositivos de entrada y salida. Es por eso que se han creado controladores más complejos, sin llegar a tener una computadora completa. Si está presente el deseo de armar un robot propio, el más popular de ellos es Arduino, un desarrollo abierto y gratuito de alcance mundial. Otra propuesta, no abierta, es la de Parallax, con su línea Basic Stamp y Propeller. Ambos permiten adentrarse en el mundo de la robótica sin tener que ser un experto en electrónica. De ellos hablaremos en el capítulo 9.

Si el robot tiene un tamaño considerable, directamente podemos procesar la información con un celular o con una *netbook*. Aquí la complejidad está dada por la posibilidad de conectar los dispositivos de entrada y salida. Para ello ya existen sensores con conexión USB, que podemos usar directamente en nuestras computadoras. De la misma forma, podemos encontrar *hubs* para motores que nos facilitan el control de distintos tipos de actuadores. Muchos de los robots que juegan al fútbol utilizan directamente computadoras en sus arquitecturas. De todas formas, para que nuestro robot no sea gigante, podemos emplear placas madre (*motherboards*) especiales, de tamaños muy reducidos, como las Nano-ITX de la firma VIA: una computadora completa en un cuadradito de 12 cm de lado.

Habiendo analizado los tipos de cerebros que podemos poner dentro de nuestro robot, es hora de que veamos cómo ingresar información para que su capacidad de procesamiento tenga algún sentido interesante.

Para captar el mundo que nos rodea

En el capítulo anterior, cuando hablamos de robots industriales y de robótica situada, vislumbramos las diferencias fundamentales que presentan los sensores utilizados en ambas clases. En el primer caso, necesitamos mucha precisión en la información que recibimos, pero no es crítica la velocidad de decisión de lo que debe hacer. Por lo tanto, podemos utilizar sensores que nos brinden mucha información y de buena calidad, y tomarnos el tiempo necesario para obtener un resultado óptimo. En el segundo caso, en la robótica situada, es crítica la necesidad de instantaneidad en la respuesta ante un ambiente muy dinámico. Por lo tanto, necesitamos sensores más sencillos o procesadores más rápidos que nos permitan alcanzar esta velocidad. También podemos solucionar esto ubicando la adquisición de datos en algún ente externo (otra computadora, por ejemplo) que realice este proceso y que luego envíe al robot, de manera inalámbrica, los datos esenciales de la información obtenida, o, simplemente, que indique qué debe hacer.

Todos estos sensores pueden definirse como dispositivos que nos permiten mensurar alguna característica del mundo que rodea al robot, como el nivel de luz, la presencia de un objeto, sonidos, colores, altitud, rotación, ubicación en el planeta, tiempo, radiactividad u otros. Ningún sensor es perfecto, y por lo tanto debemos complementar los datos que nos brinda con información histórica o con datos de otros sensores.

Podemos dividir estos dispositivos en dos grandes grupos: los digitales y los analógicos. En el primer caso, el sensor nos aporta un valor discreto, por ejemplo, un número natural entre 1 y 10. En los analógicos, el valor que nos entrega es continuo, por ejemplo, una corriente entre 0 y 5V. Como los procesadores – cualquiera de ellos – trabajan en forma digital, necesitamos convertir ese valor analógico en uno discreto y, para eso, se utilizan conversores analógico-digitales. Si esta división no queda clara, podemos pensar en los relojes digitales, en los que el cambio de

una hora a otra se hace en forma discreta, es decir, pasa “de golpe” de un valor a otro. Mientras que en los relojes analógicos la aguja horaria recorre un camino continuo desde una hora hasta la siguiente (¿será continuo? ¿Alguien se fijó con la lupa adecuada?, ¿eh? ¿El Universo es continuo o discreto?).

También podemos dividir los sensores entre pasivos y activos. Los primeros simplemente esperan que el mundo les dé una señal, sin interactuar con él. En el caso de los activos, el sensor emite una señal y mide el tiempo u otro parámetro de la respuesta que recibe. Por ejemplo, el sistema de radar de los murciélagos es un sensor activo: emite una señal sonora de alta frecuencia y determina cuánto tiempo tarda en volver para definir la distancia hacia el objeto más próximo. Truco: si un murciélago entra en la casa, es sencillo atraparlo cubriéndolo con un trapo, dado que allí la señal rebota en forma deficiente. Si el animal es robótico, ¡podremos hacer lo mismo!

Algunos de los sensores más populares que podemos encontrar en los robots son los siguientes:

- Sensores de interrupción: son simples interruptores que detectan si algo está o no presionado o si pasa o no luz por un determinado lugar.
- Sensores de ubicación: determinan el lugar en el que se encuentra el robot, en dos o tres dimensiones. Los GPS y acelerómetros son los más utilizados actualmente.
- Sensores de luz: permiten medir la cantidad de luz que refleja el ambiente. También pueden ser utilizados para detectar colores si iluminamos los objetos con leds de diversas tonalidades.
- Sensores de ultrasonido: desempeñan la misma función que el sensor de los murciélagos. Emiten un

sonido en alta frecuencia y, a partir del tiempo de rebote, determinan la distancia del objeto que tienen por delante.

- Cámaras de video: gracias al abaratamiento de las cámaras y a su mejor calidad y velocidad de captura de las imágenes, se han comenzado a utilizar como sensores que proporcionan gran cantidad de información. El problema es que luego debemos procesar todos esos datos para filtrar todo lo que no sirve. Es por ello que el procesamiento de imágenes se ha convertido en un tema de investigación fundamental en el mundo de la robótica.

Una vez que el robot ya ha obtenido la información que necesitaba del mundo, debe actuar sobre él de alguna manera. Si no, sería simplemente un sistema de captación de datos. Para ello, existen dispositivos diseñados especialmente.

Mejor que decir es hacer

Ahí está. El Universo ya nos ha dicho qué necesita, ¡y debemos hacer algo con él! Para este fin contamos con diversos dispositivos, como motores, músculos de alambre, parlantes, luces y otros. A los que generan alguna acción física sobre el medio se los conoce como *actuadores*.

Con respecto a los motores, en los robots se utilizan esencialmente los eléctricos. Dentro de ellos, los más comunes son los de corriente continua (CC), que podemos encontrar en casi todos los juguetes que tienen movimiento. Su funcionamiento está basado en la acción de campos magnéticos que hacen girar el *rotor* (el eje interno) en dirección opuesta al *estator* (imán externo o bobina). Podemos encontrarlos también en ventiladores o lavarropas. Los motores CC pueden girar muy rápidamente,

pero carecen de fuerza. Para aumentar esta última propiedad, se utilizan engranajes que nos permiten incrementarla a cambio de perder velocidad.

Otro tipo de motores habitualmente utilizados en robótica son los *paso a paso* (PAP). En este caso, el estator tiene varias bobinas que pueden colocar al rotor en un ángulo determinado. De esta manera, podemos tener precisión en el movimiento (llevar el motor a un ángulo deseado), ganamos fuerza (porque el pasaje de cada estado de la bobina la incrementa), pero perdemos velocidad. Por otra parte, controlarlos es algo más complicado.

Finalmente, en los últimos tiempos se han comenzado a utilizar los motores *servos*. Se trata de motores CC que tienen un sensor (potenciómetro) que permite determinar el ángulo en el que se encuentran, y una electrónica asociada que los controla. De esta manera podemos ubicarlos en un ángulo muy preciso (a nivel de grado o aún mayor). Se utilizan generalmente en aviones, autos y barcos de modelismo, para controlar los flaps,⁵ la dirección de las ruedas, el timón o las velas.

Uno de los problemas que tenemos con los motores es que realizan un movimiento circular. Si necesitamos un desplazamiento lineal, tenemos que agregar elementos mecánicos que transformen el tipo de movimiento. Si nos detenemos a pensar en cómo funcionan nuestros músculos, podremos ver que dentro de nuestro cuerpo los movimientos son de este último tipo. Afortunadamente han surgido en forma reciente los músculos de alambre (*wired muscles*), alambres fabricados con polímeros que se contraen cuando pasa electricidad por ellos. El más popular es el Flexinol, que tiene una contracción cercana al 10%, con una buena capacidad de fuerza.

Con respecto a los otros elementos de salida, no nos detendremos a describirlos aquí, porque no presentan demasiadas curio-

5 Dispositivo instalado en las alas de un avión que permite mejorar su sustentación.

sidades. Las luces se prenden y se apagan, al parlante se le envía una frecuencia para que genere el sonido... Sólo eso.

Comida de robots

Un problema importante con el que nos encontramos cuando hacemos robots autónomos es que no viven del aire... Hay que proveerles alguna fuente de energía que alimente todos sus componentes, pero no deseamos que tengan un cordón umbilical para enchufarlos a la toma más cercana. Lamentablemente se aplica aquí una ley salvaje: si queremos mayor autonomía, necesitamos una batería más grande, que a su vez resulta más pesada. Por lo tanto, mover el robot nos consume más energía. Es decir, si duplicamos la capacidad de la batería, esto no significa que dupliquemos su autonomía.

En general, se utilizan las baterías convencionales. Desde pilas recargables hasta las baterías de plomo de los autos (en los robots más grandes) o su versión reducida de gel. Actualmente están de moda las de ion-litio, las mismas que se emplean en los teléfonos celulares, por su mayor densidad de energía (más en menos volumen) y poco peso.

Ahora bien, ¿qué ocurre en el caso de los robots espaciales? Al día de hoy no se han encontrado, en otros confines del universo, tomacorrientes para recargar las baterías. Tampoco se pueden enviar robots con baterías muy grandes por el costo de despegue de semejante peso. Afortunadamente, en los lugares adonde se han enviado robots, la energía solar es muchísimo más intensa por no poseer una atmósfera que la filtre, de manera que se aprovecha esa energía para cargar las baterías.

Casi toda la parte superior de estos robots está cubierta por paneles solares. Por ejemplo, el Spirit enviado por la NASA a Marte había sido provisto con baterías para una misión de noventa días, pero estuvo más de seis años dando vueltas. La última comunicación que se obtuvo fue el 22 de marzo de 2010. Lamen-

tablemente, el 25 de mayo de 2011 la misión fue declarada finalizada, dado que fue imposible restablecer el contacto. Nuestro póstumo homenaje a este gran pionero de la conquista espacial.

Si queremos alejarnos de las tradicionales baterías, podemos encontrarnos con robots que comen de verdad... ¿Cómo es esto? Utilizan celdas biológicas de combustible en las que la glucosa u otra fuente de energía química es convertida en energía eléctrica mediante bacterias. Hasta ahora, la cantidad de energía que se puede obtener es muy baja, pero se proyecta en el futuro una mejor tecnología que permita mayor aprovechamiento. ¿Cuál será el gusto de helado preferido de un robot?

Por último, como ya dijimos, nos gustaría enviar a nuestro robot energía eléctrica en forma inalámbrica. Este es un viejo sueño de la humanidad, del cual Nikola Tesla fue uno de los pioneros. Afortunadamente se han logrado progresos en este campo en los últimos años al conseguir encender una lámpara de 60W a una distancia de dos metros.

Ya sabemos qué son los robots, cómo se componen, cómo perciben el mundo, cómo actúan, qué comen... Pero ¿realmente pueden actuar en forma inteligente? ¿Se podrá vencer la trigésima pregunta? En el próximo capítulo intentaremos adentrarnos en este complicado asunto.

3. Inteligencia artificial

Ya tenemos la criatura lista para que actúe en nuestro mundo. Pero ¿cómo podemos hacerla inteligente? ¿Qué es ser inteligente, al fin y al cabo? La creación de seres artificiales con esta capacidad es un desafío histórico de la humanidad, y nos lleva a detenernos en una pregunta fundamental...

¿Qué es la inteligencia?

Si nos atenemos a la definición de la Real Academia Española, inteligencia es la “capacidad de entender o comprender” o la de “resolver problemas”. Ahora bien, tomando un ejemplo entre tantos, ya existen programas que pueden resolver sudokus. Si tenemos en cuenta la segunda acepción de la RAE, y aceptando que la resolución de un sudoku es un problema, podríamos decir que tales programas son inteligentes. Pero si pensamos en la primera acepción, ¿realmente el programa entiende o comprende el juego?

Diversas definiciones han llevado a una clasificación de las inteligencias, sugerida por el profesor de psicología e investigador británico Philip Anthony Vernon en 1960. En ella, Vernon distingue tres tipos de inteligencias: las psicológicas, que ponen el acento en las capacidades cognitivas y de aprendizaje; las biológicas, que apuntan a la capacidad de adaptación; y las operativas, relacionadas con el aspecto ponderado por las pruebas de inteligencia. En este último caso, podemos traer a colación una

propuesta que presentó Alan Turing, padre de la informática, en 1950, momento en el que comenzó a vislumbrarse la posibilidad de crear máquinas inteligentes. Es la idea que usamos como eje en el cuento inicial de este libro.

Podemos sostener que Turing se basó en el viejo refrán que afirma que “Si algo parece un perro, mueve la cola como un perro, ladra como un perro y huele como un perro, entonces es un perro”. Es decir, si una máquina se comporta de tal manera que parece inteligente, entonces ES inteligente. Para evaluar esto, la propuesta del test consiste en el siguiente desafío. Se encierra en una habitación a una persona y en otra, a una computadora. En ambos casos, los únicos medios de comunicación con el exterior son una pantalla y un teclado (para evitar cuestiones relacionadas con la motricidad en el caso de la computadora). Un juez imparcial, hábil y con clara intención de descubrir qué hay en cada habitación, realiza preguntas a ambos. Si luego de determinado lapso (tiempo, cantidad de preguntas) no puede establecer de manera clara dónde está cada uno, entonces la computadora ha actuado en forma inteligente. Para ello, la máquina debe poder mentir (por ejemplo, si le preguntan si es una computadora), esperar tiempos humanos para responder, interpretar semánticamente las preguntas. Es decir, debe tener comprensión cabal del mundo.

Un buen ejemplo de falla en la inteligencia son los correctores ortográficos de los procesadores de textos. Si leemos la oración “Voy a la caza de mi tía Eduvigés”, seguramente no podremos evitar una sonrisa al imaginarnos con un rifle persiguiendo a la tía por el bosque (esperemos que sea así; si no, sería bueno consultar a un especialista...). Ahora bien, si escribimos esta oración en cualquier procesador y ejecutamos el corrector ortográfico, nos marcará la palabra “Eduvigés” (nombre que existe, por cierto) pero no “caza”. Para que esto último sucediera, en cambio, el corrector debería comprender la semántica de la oración, saber qué es una “tía”, qué se hace habitualmente con ella y que ir a cazarla no es una acción aceptable para una mente sana. En sín-

tesis, el corrector tendría que sonreír de la misma manera que lo hicimos nosotros. En el test de Turing, el juez podría escribir: “Ayer fui a la caza de mi tía Eduviges” y la respuesta debería ser algún comentario risueño o alarmado sobre dicha acción, o darnos una lección ortográfica. Los correctores simplemente buscan en un diccionario si la palabra existe o, a lo sumo, hacen un análisis de concordancia de género y número. En ninguno de los dos casos hay relación con el significado del texto.

Por lo tanto, podemos afirmar que una condición necesaria para la inteligencia es la capacidad de interpretación semántica de los símbolos, sean estos textos, imágenes, sonidos u otros. Este es un sueño perseguido por todos los buscadores en la web. Si se lograra crear un interpretador semántico, las búsquedas que realizamos tendrían resultados muchísimo más ajustados a nuestras necesidades. ¿Cuántas veces aparecen páginas que no tienen nada que ver con lo que estamos averiguando? ¿O en cuántas oportunidades habríamos deseado tener un buscador de imágenes donde pudiéramos definir “necesito casas de color verde con un jardín al frente y faroles haciendo juego”? Por ahora es asunto pendiente. Y esto es sólo un elemento necesario para lograr la inteligencia.

Entonces, la pregunta que nos surge es: ¿será posible que las computadoras (y por ende, los robots) actúen en forma inteligente? Surge la tentación de presentar una definición similar a la de Engelberg del capítulo 1: “No sé qué es la inteligencia, pero sé cuándo veo un ser inteligente”...

Inteligencia artificial fuerte y débil (sobre la comprensión, la conciencia y tantas otras cosas...)

Uno de los científicos que han tratado el asunto de la inteligencia artificial (IA) de manera más amplia ha sido Roger Penrose. Su libro *La nueva mente del emperador* analiza desde diversos campos de la ciencia los conceptos subyacentes a la IA. En el

prólogo, Martin Gardner ya nos permite vislumbrar hacia dónde apuntan los pensamientos de Penrose:

Durante décadas, los defensores de la “IA fuerte” han intentado convencernos de que sólo es cuestión de uno o dos siglos (algunos hablan incluso de cincuenta años) para que las computadoras electrónicas hagan todo lo que la mente humana puede hacer. Estimulados por lecturas juveniles de ciencia ficción y convencidos de que nuestras mentes son simplemente “computadoras hechas de carne” (como Marvin Minsky dijo en cierta ocasión), dan por supuesto que el placer y el dolor, el gusto por la belleza, el sentido del humor, la conciencia y el libre albedrío son cualidades que emergerán de modo natural cuando el comportamiento algorítmico de los robots electrónicos llegue a ser suficientemente complejo.

La expresión “lecturas juveniles de ciencia ficción” es por completo lapidaria...

Penrose considera el test de Turing como un punto de vista absolutamente operacional, calificación que coincide con la del último grupo en la clasificación de inteligencia propuesta por Vernon. Luego se pregunta: “¿realmente el punto de vista operacional proporciona un conjunto de criterios razonable para juzgar la presencia o la ausencia de cualidades mentales en un objeto? Algunos afirmarán de manera contundente que no. La imitación, por muy hábil que sea, no es lo mismo que el objeto imitado”. Es decir, aun superando el test de Turing, si lo que hace la computadora es simplemente una imitación, y no tiene clara conciencia de ello, de su existencia, entonces no es inteligente.

Los que aceptan el test defienden lo que se conoce como IA fuerte desde este punto de vista: “Todo pensamiento es computación; en particular, las sensaciones de conocimiento consciente son producidas por la mera ejecución de cálculos apropiados”. Es decir, el cerebro humano no es más que una computadora

biológica, imitable dentro de más o menos tiempo por un dispositivo artificial; y lo que proporciona la inteligencia, y por ende la conciencia, es el software, el programa, el algoritmo que se encuentra en funcionamiento dentro del cerebro.

John Searle, profesor de filosofía estadounidense, propuso un contrajuego del test de Turing, conocido como “La habitación china”. En él imagina a una persona de habla inglesa encerrada en una habitación en China. Tiene un manual muy completo (absolutamente completo) donde se describe qué símbolos se deberían responder ante la entrada de otros símbolos. Por lo tanto, si se le introduce una pregunta por una ranura, consultando el manual el anglófono podría responder algo correcto sin entender absolutamente nada del chino. Aquellos que están fuera de la habitación, al no ver el procedimiento que realiza esta persona, podrían considerar que habla el idioma. Searle sostiene que es esto lo que hace una computadora: sólo realiza procesos sintácticos, sin tener conciencia ni comprensión semántica de los contenidos procesados. Es decir, la conciencia puede simularse, pero no es real. A esto se lo llama IA débil. Podemos detenernos a pensar cómo funcionan los traductores en línea de Google o Microsoft...

Penrose va más allá. Para él, la acción física apropiada del cerebro produce conciencia, pero esta acción física no puede siquiera ser simulada computacionalmente. Para demostrar esto es que existe “La nueva mente del emperador”. Y allí, mediante la matemática, la lógica, la física, la filosofía, la música, el arte y otras disciplinas, nos invita a recorrer un maravilloso camino que, aun cuando no se compartan sus conclusiones, nos presenta un genial compendio de la ciencia del siglo XX.

Por último, la corriente más alejada de la IA afirma que la conciencia no puede ser explicada en términos físicos, computacionales o cualesquiera otros términos científicos. A nuestro entender, se trata de una postura netamente religiosa o basada en la fe, y aun siendo respetable, no la tendremos en cuenta en este libro.

Otros pioneros de la IA

A pesar de las críticas de Penrose, podemos encontrar muchos científicos que apoyan la idea de la IA fuerte. Uno de ellos es John McCarthy, creador del concepto en la Conferencia de Dartmouth en 1956. En ella se definió lo que hoy se conoce como “Hipótesis del sistema de símbolos físicos”, que afirma que para cualquier característica de la inteligencia se puede construir una máquina que la simule. Fue el punto de partida de toda esta historia. En la misma conferencia estuvo presente otro reconocido defensor de la IA fuerte, Marvin Minsky, padre del concepto de redes neuronales artificiales, que desarrollaremos posteriormente. Otro científico fundamental asistente a la conferencia fue Judea Perl, quien desarrolló sistemas probabilísticos para la inteligencia artificial.

Un personaje singular dentro de la historia de esta rama de la informática fue Joseph Weizenbaum. Creador del Departamento de Ciencias de la Computación del MIT (Instituto Tecnológico de Massachusetts), en 1966 desarrolló un programa llamado ELIZA que ponía en práctica algunos conceptos del procesamiento del lenguaje natural para llevar a cabo una conversación simulando ser un psicólogo. Grande fue la sorpresa de Weizenbaum cuando descubrió que muchas personas estaban utilizando el programa para hacer terapia (entre ellas, su secretaria), y que este comenzaba a proponerse como una posibilidad económica y masiva de tratamiento. Alarmado por estas circunstancias, se convirtió en un profundo crítico de la IA.

¿Y qué hemos conseguido hasta ahora?

A pesar de que la humanidad no ha logrado diseñar aún una computadora que supere el test de Turing,⁶ hay diversas expe-

6 Existe una competencia anual conocida como “Premio Loebner”

riencias que apuntan a crear máquinas inteligentes. Veamos a continuación algunas de ellas.

Sistemas expertos

Los sistemas expertos (SE) son programas informáticos que, a partir de una base específica de una determinada área del conocimiento y de un conjunto de reglas inferenciales, permiten obtener respuestas a preguntas de esa área. Uno de los primeros en llevarse a cabo fue Dendral, a mediados de los años sesenta, en la Universidad de Stanford, que permitía inferir estructuras moleculares, por lo que tuvo mucho éxito entre químicos y biólogos. Otro SE fundacional fue Mycin, de la misma universidad, a comienzo de los años setenta, mediante el cual era posible diagnosticar enfermedades de la sangre y que además sugería medicamentos según ciertas características del paciente.

Redes Neuronales Artificiales

Otra aplicación de la IA fuerte son las Redes Neuronales Artificiales (RNA). También es un programa informático que emula el funcionamiento de las neuronas cerebrales, no sólo en el momento de responder a una determinada pregunta sino también en el proceso de aprendizaje. Está compuesto por pequeños algoritmos, llamados neuronas, que reciben un conjunto de datos de entrada, realizan algún proceso sobre él y lo transmiten en su salida hacia una nueva neurona. En el desarrollo de una RNA se necesita definir, en primer lugar, una arquitectura de la red. Posteriormente, se realiza un entrenamiento de esta, a

que sigue el estándar establecido por el test de Turing. Hasta el momento, ningún programa logró superar el test. Para ver más información sobre el concurso, se puede visitar <www.loebner.net/Prize/loebner-prize.html>. ¡Recomendamos leer el argumento de por qué Marvin Minsky es copatrocinador de la competencia!

partir de un gran volumen de casos con solución conocida. De esa manera, cada neurona va adaptando su proceso interno de forma tal que los datos de entrada procesados conduzcan por fin a la respuesta correcta. Luego de este período, se considera que la red ha “aprendido” qué debe hacer para conducir a una solución exitosa, por lo que, ante nuevos casos, nos dará un resultado correcto. Curiosamente, se implementó una aplicación de este sistema en el conocido videojuego *Quake II*, simulando un jugador humano.

¿Inteligente yo?

Como podemos observar, todavía queda mucha agua por correr debajo de este puente. Sin embargo, comienzan a aparecer ciertas propuestas que hacen aún más difusa la barrera entre la inteligencia artificial y la natural. Con el surgimiento de la computación ubicua (la integración de las computadoras a las personas, como es el caso de los celulares actuales), el acceso masivo e inalámbrico a Internet y la inmensa cantidad de información que podemos encontrar en la red, nuestro cerebro comienza a vencer ciertas barreras y a integrarse a sistemas de cómputos que finalmente complementan y potencian la inteligencia. Por ejemplo, los sistemas de traducción automáticos en la web se alimentan de miles de millones de frases que certifican la calidad de sus resultados. No falta mucho tiempo para que podamos utilizar estos sistemas en tiempo real, con reconocimiento y síntesis de voz, lo que echaría por tierra las diferencias idiomáticas. Si complementamos estas capacidades artificiales con nuestras capacidades semánticas; si prosperan proyectos como Recaptcha,⁷ en el que la humanidad pone su inteligencia al servicio de reconocer textos que una computadora convencional aún no puede

7 Véase <www.google.com/recaptcha>.

leer; es decir, si progresivamente vamos uniendo la velocidad computacional de las máquinas a la interpretación semántica de los humanos y, al mismo tiempo, integramos todo esto en una gran base compartida de conocimiento y de procesamiento, tendremos que redefinir profundamente nuestros conceptos sobre la inteligencia. Y eso es maravilloso.

6. ¡Robots por todos lados!

No hace falta ser visionarios para darnos cuenta de que en los últimos años la tecnología ha transformado radicalmente nuestra vida diaria. Desde la aparición de las computadoras, los celulares, Internet y otros avances tecnológicos, nuestra forma de trabajar, de aprender y de relacionarnos ha cambiado completamente. En este capítulo presentaremos los aspectos de la robótica que ya están conviviendo con nosotros, y que de alguna forma también han colaborado en modificar nuestras vidas.

¿Y por casa cómo andamos?

¿Quién no ha deseado alguna vez tener algún aparato automático que realice todas las tareas de la casa? Tanto lo hemos soñado que no nos dimos cuenta de que ya es un hecho, a pesar de que estos dispositivos no tengan forma humana. Robotina, la mucama robótica de los Supersónicos, está presente en nuestro hogar, pero distribuida en diversos artefactos que hacen más cómodo y placentero nuestro devenir cotidiano.

Se conoce como *domótica* al conjunto de sistemas que automatizan las diferentes instalaciones de una vivienda, colaborando no sólo con el bienestar y la seguridad sino también con el uso más eficiente y ecológico de la energía. Además, estos sistemas proporcionan mecanismos de accesibilidad que permiten integrar en forma más eficiente a aquellas personas que padecen de alguna limitación física.

Comencemos nuestra presentación por los electrodomésticos más avanzados en este rubro. Por ejemplo, muchos de los lavarropas actuales ya cuentan con sensores que automatizan gran parte de los procesos de lavado. Es por este motivo que se conocen como “lavarropas automáticos”. Para empezar, en la puerta cuentan con un sensor que, ante la apertura, detienen el movimiento del tambor de forma de asegurar que no se producirá ningún accidente. Para la carga de agua, poseen un sensor que permite pasar al siguiente proceso una vez alcanzado el nivel adecuado. Tienen otro sensor para el proceso de descarga, con la misma funcionalidad. Algunos aparatos más sofisticados miden la velocidad de rotación del tambor, detectan el peso de la ropa y optimizan el movimiento. De esta manera no se corre riesgo de sobreexigir el motor, y se controlan el tiempo de lavado y el uso del agua. En otros casos, los lavarropas pueden detectar la sobrecarga de detergente midiendo la espuma que se genera. Si esta es excesiva, en vez de llenarnos el lavadero de pompas de jabón, cargan más agua para diluir el exceso de detergente. Por último, cuando calientan el agua, utilizan un sensor de temperatura para cortar dicho proceso. Desde ya, los lavavajillas poseen el mismo tipo de automatización.

En los hornos más modernos, podemos encontrar sensores de temperatura que modifican el tamaño de la llama según el nivel de cocción que queramos conseguir. También cuentan con temporizadores de funcionamiento y, para mayor seguridad, poseen sensores de presencia de gas. Aun los más antiguos tienen una termocupla que corta el paso de gas si no recibe llama sobre ella.

En las heladeras encontramos sensores de temperatura para regular el funcionamiento del motor del compresor. Los modelos *no frost* poseen sensores de humedad destinados a encender los ventiladores de circulación de aire, manteniendo parejo el nivel necesario para los alimentos frescos como las verduras. De la misma forma, los aparatos de aire acondicionado (frío y/o calor) tienen sensores de temperatura para encender o detener

el compresor o el sistema de calentamiento del ambiente, y de humedad, para la circulación del aire.

Las estrellas de los electrodomésticos robotizados son, seguramente, las aspiradoras y lavadoras. La compañía estadounidense iRobot, fundada en 1990, se dedica a desarrollar robots industriales, militares y hogareños. En esta última línea posee cuatro diseños distintos. En primer lugar, Roomba es un robot aspiradora inalámbrico, que esquivo obstáculos y realiza un recorrido optimizado para asegurarse de que no ha quedado rincón sin limpiar. Puede detectar áreas de mayor cantidad de suciedad y aumentar el poder de aspiración para lograr su limpieza. Una vez terminada la tarea, localiza su base y retorna a ella para recargar las baterías. Scooba, por su parte, es un dispositivo muy parecido, pero limpia el piso en vez de aspirarlo. Ahora, si lo que necesitamos limpiar es nuestra piscina, iRobot nos ofrece Verro, un robot sumergible que posee una aspiradora con filtro incorporado que da cuenta de todas las hojas, insectos, pelos, algas y demás molestias presentes en el agua. Finalmente, si el problema lo tenemos en las cunetas de nuestro techo, Looj es un robot de forma alargada que elimina las hojas y otras basuras que tapan el desagote. Carece de sensores (con lo cual no sería un verdadero robot), dado que se maneja mediante control remoto.



Uno de los modelos de la aspiradora Roomba

Otro aspecto de la domótica que ha tenido grandes avances en los últimos años ha sido el de los sistemas de seguridad y telepresencia hogareña. Los pioneros en este rubro han sido los simples sensores que detectan movimiento y disparan una alarma. Actualmente se realiza con sensores más sofisticados y precisos, como los de ultrasonido, que detectan presencia de objetos; los de infrasonido, que pueden percibir variaciones de presión como las que ocurren al abrir una puerta o una ventana; los de vibración de mercurio y los de contacto magnético, que detectan también alguna apertura indebida. Podemos complementar estos sistemas con cámaras robotizadas IP, que al activarse una alarma nos avisan al celular que algo ha ocurrido en nuestra casa y nos permiten, mediante Internet, ver las imágenes que captan y controlar su ángulo de rotación para obtener mayor información.

Si queremos observar toda la casa, podemos adquirir un robot de telepresencia como el Rovio, de la firma Wowwee. Este robot posee una cámara, un micrófono y parlantes incorporados, y se conecta a la red hogareña por Wi-Fi. Se moviliza con ruedas omnidireccionales, de modo que puedo llevarlo a cualquier punto de la casa, viendo y escuchando lo que ocurre en tiempo real. Si el robot comienza a quedarse sin baterías, automáticamente se dirige a su base para recargarlas.



Rovio, un robot de telepresencia

Para el uso racional de la energía, además de los sensores que optimizan el funcionamiento de los sistemas de aire acondicionado podemos incorporar detectores de luz para encender o apagar las lámparas de nuestra casa o del jardín. También pueden ser usados para subir y bajar en forma automática las persianas. Una tecnología de última generación con el mismo propósito son los vidrios inteligentes, o *smart glass*, que pueden opacarse ante la presencia de luz o cuando aumenta la temperatura. Otra forma de economizar es agregar en cada ambiente un sensor de presencia, de forma tal que las luces sólo se enciendan cuando hay una persona allí.



Aibo, el perro robótico de Sony, discontinuado en el año 2006

Pero los robots no sólo nos sirven en el hogar para ahorrarnos trabajo o energía. Si la antipatía de los vecinos o algún problema de alergia nos impiden tener un animalito en nuestra casa, ¡podemos reemplazarlo por una mascota robótica! Desde ya que no es lo mismo, pero seguramente, si la miramos con buenos ojos, terminaremos queriéndola de la misma manera... El perro cibernético más popular fue Aibo, un proyecto de Sony que lamentablemente fue discontinuado en 2006. Este cyberperro era capaz de caminar, ver su entorno mediante una cámara,

reconocer algunos comandos de voz sencillos, buscar su hueso y volver a la base cuando su batería se estaba agotando. Tenía un costo cercano a los 2000 dólares, lo que lo convertía en una raza muy exclusiva, por cierto. Robopet de Wowwee e iDog de Hasbro siguen presentes, pero son mucho más primitivos (y económicos) que el genial Aibo. En electronicpets.org podemos encontrar una lista completa de las mascotas electrónicas actuales y pasadas. Hay nada más ni nada menos que ciento setenta mascotas electrónicas, aunque muchas de ellas no pueden considerarse robots.

Lo que importa es la salud

Otro campo en el que los aportes de la robótica han permitido progresos extraordinarios es el de la salud. Podemos clasificar estos aportes en tres grandes grupos: herramientas automáticas que permiten el control o tratamiento del paciente en forma más efectiva; dispositivos que permiten superar algún tipo de discapacidad o limitación, y artefactos que aumentan la capacidad habitual de una persona.

En el primer caso, ya de por sí todo el instrumental de diagnóstico por imágenes tiene un elevado nivel de automatización con el uso de sensores altamente sofisticados. En el caso de las cirugías, han surgido dispositivos que permiten aumentar la precisión y acotar los errores del cirujano introduciendo herramientas más precisas y menos invasivas que las manos humanas. Un ejemplo de ello es el sistema quirúrgico Da Vinci. Este robot reproduce con sus cuatro brazos los movimientos que realiza un cirujano experto desde una terminal que le ofrece un campo de visión tridimensional amplificado. El sistema filtra los temblores o movimientos bruscos ocasionales y, dado el pequeño tamaño de los instrumentos, permite operar en espacios reducidos del organismo. Para evitar cualquier daño imprevisto, implementa múltiples técnicas redundantes de seguridad.

En el segundo grupo de dispositivos robóticos vinculados a la medicina encontramos las prótesis robóticas inteligentes, que permiten reemplazar partes del cuerpo que por diversos motivos el ser humano implantado no posee. Estos dispositivos permiten una integración más natural en el paciente al conectar sus actuadores a músculos o nervios que facilitan su operación. Además de un mejor control, en algunos casos incorporan sensores como el tacto, que acercan sus propiedades a los miembros naturales. Otro caso de este grupo son los exoesqueletos, estructuras robóticas externas que permiten el desplazamiento de personas con movilidad reducida. ReWalk, de la firma Agro, se utiliza en pacientes que han perdido el control de los miembros inferiores dándoles la posibilidad de dejar las sillas de ruedas y caminar con cierta normalidad.

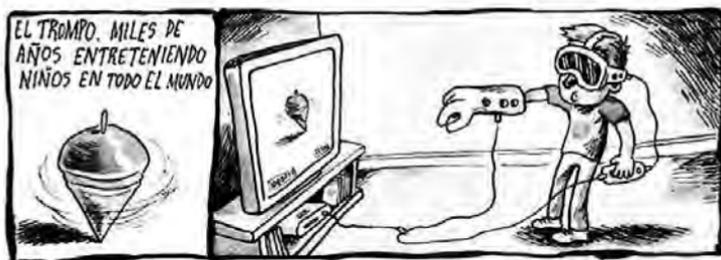
Este tipo de artefactos también puede considerarse perteneciente al tercer grupo. Los lectores que ya recorran su cuarta década recordarán las series *El hombre nuclear* y *La mujer biónica*, donde no sólo se reemplazaban órganos o miembros que habían sido dañados por un accidente, sino que se brindaba a sus poseedores una capacidad más allá de las naturales del hombre. Los exoesqueletos también están pensados para amplificar la fuerza y los movimientos de cualquier persona. Es el caso del proyecto HAL de Cyberdyne. También han comenzado a desarrollarse *body sensors* (sensores insertados en el cuerpo) que permiten a su poseedor obtener información sobre su cuerpo o el ambiente que antes era inaccesible. A no escandalizarse: el reloj de pulsera, los celulares o el GPS hacen lo mismo, y no hemos puesto el grito en el cielo por esto...

Con la creación de todas estas tecnologías destinadas a mejorar las capacidades físicas y mentales del ser humano para superar las barreras naturales o accidentales que la vida nos ha forjado, ha surgido una nueva corriente filosófica conocida como *transhumanismo*. Esta corriente apoya el desarrollo de tecnología que permita superar estas dificultades y otras, como el envejecimiento o incluso la muerte. Los pensadores transhumanistas

estudian no sólo las ventajas sino también las consecuencias no deseadas de esta propuesta. Cuando en el capítulo final hablemos de la singularidad tecnológica, volveremos sobre este punto al considerar la posibilidad de que estemos entrando en una era de “posthumanos”.

Una manzana para mi maestro robot

Desde el comienzo del libro hemos sostenido que la tecnología está presente en todo el quehacer humano. Y por ello, también debería aparecer en todo el arco de las disciplinas que se enseñan en la escuela. Lamentablemente, la presencia de tecnología en las aulas ha quedado relegada a un puñado pequeño de materias. Por otra parte, su uso está vinculado solamente al ámbito digital y ha desaparecido el vínculo con material concreto relacionado con la tecnología. Si a esto le sumamos que los juegos de los niños en estos últimos años también están relacionados con lo virtual, nos encontramos con un panorama grave, dado que ciertas estructuras cognitivas no son desarrolladas por la ausencia de material concreto. Este problema ha sido sintetizado sabiamente en la siguiente viñeta por el humorista Liniers.



“Trompos modernos”, por Liniers

En síntesis, los chicos han perdido de alguna manera el contacto lúdico con los objetos concretos. ¿Es hora de volver al carrito

con rulemanes, el globo con ruler, las muñecas de trapo? Probablemente, luego de jugar al *Fifa 2098* y al *Need for Speed 154* nos mirarán extrañados cuando aparezcamos sonrientes con alguno de estos antiguos juguetes. Por eso es que la robótica se presenta hoy en día como una posibilidad atractiva y motivadora para que los estudiantes incorporen conceptos de tecnología física dentro del aula utilizando componentes más cercanos a su realidad. A pesar de que nosotros extrañemos el carrito.

Sin embargo, el uso de robots en la educación también ha tenido un crecimiento sostenido en los últimos años. Las escuelas han comenzado a incorporar la robótica dentro de la enseñanza de tecnología. Algunas, además, han propuesto un uso transversal con otras disciplinas, reproduciendo el hecho de que la tecnología atraviesa todas nuestras actividades.

Es posible que el surgimiento de los kits educativos de robótica haya simplificado el acceso de los docentes al material, dado que este es un paradigma absolutamente lejano al que ellos vivieron en su proceso de formación. Uno de los kits más populares es el *Nxt*, de la firma *Legó*. Posee un pequeño controlador con entrada para cuatro sensores y salida para tres actuadores. En la caja se proveen un sensor de color, uno de tacto, uno ultrasónico para medir distancias y uno de sonido. El robot se programa con un lenguaje gráfico sencillo, al estilo *Labview*. Además, todos estos componentes vienen acompañados con material constructivo. En síntesis, hacer un robot autónomo nunca fue tan sencillo... En la misma línea, y con características similares, *RadioShack* sacó a la venta un kit denominado *Vex*. En Latinoamérica no nos hemos quedado atrás, y ya se comercializan otros kits educativos creados localmente, como los de las empresas *RobotGroup*, *Mis Ladrillos* y *Blocky*. En el capítulo 9 describiremos en forma completa estos y otros kits, por si tenemos ganas de jugar otra vez. Y no nos sorprendamos si algún día, al abrir la mochila de nuestros hijos, nos encontramos con un androide mirándonos fijo...

La presencia de robots en la vida diaria ha tenido consecuencias más allá de lo cotidiano. Es impensable que en las creaciones artísticas humanas no se refleje en forma cada vez más frecuente lo que ha comenzado a acompañarnos todos los días. En el próximo capítulo haremos un recorrido sobre el efecto de la robótica en el mundo del arte.

Índice

Este libro (y esta colección)	9
Acerca del autor	12
Agradecimientos	13
“La trigésima pregunta” (comienzo)	15
Introducción	17
1. De qué hablamos cuando hablamos de robots	19
El curioso origen de la palabra “robot”	19
Características esenciales de un robot	21
Bueno, intentemos alguna...	22
Encasillemos a los robots	23
El futuro llegó hace rato	26
2. Alma, mente y cuerpo (arquitectura de un robot)	31
Analogías	31
La mente	33
Para captar el mundo que nos rodea	35
Mejor que decir es hacer	37
Comida de robots	39
3. Inteligencia artificial	41
¿Qué es la inteligencia?	41

Inteligencia artificial fuerte y débil (sobre la comprensión, la conciencia y tantas otras cosas...)	43
Otros pioneros de la IA	46
¿Y qué hemos conseguido hasta ahora?	46
¿Inteligente yo?	48
4. ¿Cómo hablamos con un robot?	51
Juro que no te entiendo	51
Acercándonos al pensamiento humano	54
Estructura clásica de un programa para un robot	57
Ambientes de programación específicos para robots	58
5. Yo, robot	59
¿Sueñan los androides con ovejas eléctricas?	59
¿Sueñan los androides con corretear por las praderas?	60
¿Qué ves cuando me ves?	62
Captar el mundo	64
¿Dónde tendrá ahora la cabeza este robot?	66
Algunos proyectos en danza	67
6. ¡Robots por todos lados!	71
¿Y por casa cómo andamos?	71
Lo que importa es la salud	76
Una manzana para mi maestro robot	78
7. Robótica y arte	81
Los robots en la literatura	81
En el séptimo arte	84
En la pantalla chica	89
En la tercera dimensión	90
Arte robótico	92
8. Pasión de multitudes	93
Fútbol de robots	94

9. Manos a la obra	107
Simulemos, simulemos	107
Quiero apreciarte con mis cinco sentidos	111
10. Cuestiones filosóficas, legales y sociales	119
¿Qué pensaría Marx de todo esto?	119
La cibernética lucha gremial	123
Nuevas especies y transhumanismo	125
A modo de epílogo	129
“La trigésima pregunta” (final)	131
Bibliografía comentada	133