

Inteligencia Artificial ecológica para una nueva generación de robots

María Muñoz Serrano* y Alex Díaz**

* Universidad Autónoma de Madrid (Dpto. de Lingüística, Lógica y Filosofía de la Ciencia)
E-mail: mm.serrano@uam.es

** Universidad Autónoma de Madrid (Dpto. de Psicología Básica)
E-mail: alex.diaz@uam.es

Resumen: La Inteligencia Artificial (IA) clásica ha primado el procesamiento centralizado de la información, lo que ha dado lugar a máquinas basadas en sistemas de símbolos físicos. La aplicación de principios de la psicología ecológica a la robótica implica utilizar patrones de información disponibles en el ambiente que especifiquen sus características sin necesidad de una elaboración de la información. Esto ha permitido avances en los ámbitos de la IA que tradicionalmente has mostrado más problemas: la coordinación motora y la emergencia de nuevas conductas.

Palabras clave: Inteligencia Artificial, Psicología Ecológica, Coordinación, Sistemas Dinámicos, Robótica

Abstract: Classical Artificial Intelligence has prevailed central information processing, resulting in symbolic systems machines. Ecological Psychology has pointed out some principles about the nature of mind that could be of interest when applied to robotics: the detection and use of informational arrays available in the agent's context that specify environment properties without any computation. This could help A.I. to overcome some of the most recurrent problems they have had to face: motor coordination and the emergence of new behaviors.

Keywords: Artificial Intelligence, Ecological Psychology, Coordination, Dynamical Systems, Robotics

1. Introducción

Cumplidos 45 años del pronóstico de Herbert Simon (1965) según el cual "en veinte años las máquinas serán capaces de realizar cualquier trabajo que un hombre pueda llevar a cabo", la Inteligencia Artificial de vanguardia, al menos por impacto mediático y económico, ha puesto sobre la mesa una nueva apuesta: el año 2050¹ como fecha en que las capacidades de razonamiento de los autómatas alcancen las del hombre. A su vez, Nilson (2010) en una revisión reciente del estado de la I.A. ha señalado la importancia de generar sistemas inteligentes a la manera humana (HLAI²).

¹Joseph Ritter, jefe tecnológico de Intel y miembro del SIAI (Instituto de la Singularidad para la Inteligencia Artificial) afirmaba en el verano de 2008 que "la industria [de la I.A.] había hecho mayores progresos de los que nadie hubiera podido imaginar hace 40 años", salvo Herbert Simon, y que "las máquinas podrían superar a los humanos en su capacidad de razonamiento hacia el año 2050".

²Human Level Artificial Intelligence

Sin embargo, parece que las capacidades de razonamiento, entendiéndose éste en su vertiente más formal, no son las que más problemas han generado a la Inteligencia Artificial. El avance desde la formalización del pensamiento hasta su implementación en sistemas electrónicos ha sido rápido y eficaz. Todo un crítico de la I.A. como Hubert Dreyfus (1972, 1992) ya reconocía, poco después del vaticinio de Simon, que los ordenadores eran capaces de trabajar perfectamente con lenguajes abstractos, relaciones lógicas y complejos razonamientos matemáticos, aquellas tareas que se defendían como eminentemente humanas y con mayor exigencia intelectual. Sin embargo, aquellas capacidades más naturales y más cercanas al dominio de cualquier ser vivo, tales como el reconocimiento de patrones, el desplazamiento por el medio, la navegación sin el uso de planes y la autonomía son las que más a menudo

quedan fuera del alcance de los autómatas, los cuales ya deberían estar próximos a nuestra dominación. La promesa de una I.A. construida sobre los supuestos de que el razonamiento es reductible a computación simbólica y resolución de problemas no ha dado sus frutos (Effken y Shaw 1992).

La coordinación con el entorno, la detección de información y la precisión motora para la selección activa de ésta son comportamientos que rara vez han sido exhibidos por un robot. Aunque los programas de ordenador puedan jugar al ajedrez al nivel de un gran maestro, su capacidad de generar flujos de acción y movimientos continuos en entornos naturales es extraordinariamente limitada (Schöner 2008). Esto subraya un par de cuestiones abiertas sobre la naturaleza de la I.A. que se ha desarrollado tradicionalmente: a) si contamos con procesadores de una potencia por encima de la del cerebro humano, con un número de operaciones por segundo realizables infinitamente superior, ¿qué es lo que hace a los grandes simuladores de ajedrez seguir perdiendo partidas con los maestros de cuando en cuando?; y b) si contamos con dicha potencia de procesamiento e infinidad de conexiones en los sistemas artificiales, ¿por qué se presentan como importantes avances los robots que a duras penas consiguen subir cuatro escalones,³ mientras que seres con sistemas nerviosos simples,⁴ basados en protoneuronas, pueden desplazarse en su medio sin chocar con obstáculos y escapando de depredadores prácticamente desde sus primeros instantes de vida?

Parece que la I.A. haya heredado los problemas del "sandwich cognitivo" (Hurley 1998).⁵ Los robots construidos con el modelo clásico de la I.A., según el cual el entorno es, como mucho, proveedor de información y la máquina receptor pasivo y procesador de

la misma, cuentan con los problemas de la tradición actualmente dominante en psicología. Aquellas capacidades que parecen dar gran ventaja a los seres vivos son la capacidad de detectar información clave sin necesidad de muestrear todo el entorno, y la coordinación de estos sistemas con el medio. Las interacciones entre ambos no se reducen a una captura de datos, más bien son un intercambio de fuerzas, de momentos de inercia y de relaciones espaciotemporales. Asimismo, cada interacción genera en el organismo cambios estructurales que se utilizan de manera directa. Parece como si los ordenadores tuvieran la capacidad de procesar toda la información necesaria, pero que no son capaces de producir aquella que les resultaría óptima porque no interactúan con el medio hasta tener un *output* motor listo para ejecutar. El modelo tradicional de *input* – procesamiento – *output* hace que se quede en el camino mucha información que se genera como un bucle interno durante la interacción misma. No es sólo una capacidad de revisar los planes de acción diseñados, implementable mediante lógicas no monótonas, sino una retroalimentación en tiempo real que hace a los seres vivos mucho más resistentes a una grave descoordinación motora que les lleve escaleras abajo. Parece, por tanto, que el camino hacia la autonomía robótica pasa por un ajuste *online* de las interacciones máquina-entorno.

De cualquier manera, estas capacidades parecen igual de modelizables y computables que el resto de operaciones que un ordenador puede realizar. Y no sólo computables sino que también pueden ser mecanizadas. Éste es el núcleo del argumento planteado por Sverker Runeson (1977) para mostrar cómo los sistemas perceptivos pueden ser, en sí mismos, inteligentes, en tanto que no necesitan de elaboración cognitiva posterior para estimar aquellas magnitudes que le son relevantes dada su naturaleza. Del mismo modo, algunos artefactos pueden llevar a cabo operaciones para las que nosotros creeríamos que son necesarios una serie de cálculos que, sin embargo, pueden realizarse simplemente a través del movimiento dada una estructura física adecuada del aparato. Ilustremos esto con el ejemplo planteado por Runeson: el planímetro polar es un dispositivo que permite medir el área de una superficie sin la necesidad de calcular el ancho, el largo o el perímetro de la zona en cuestión. Como parte de su mecanismo, una

³El robot ASIMO de la compañía Honda es considerado una de las mayores inversiones en cuanto a reproducción de capacidades motoras humanas. En una de sus presentaciones cayó en el tercer escalón que intentaba subir: <http://www.youtube.com/watch?v=ASoCJTYgYB0>

⁴Dentro de las medusas, la familia de las *cnidaria* carece de Sistema Nervioso Central y sus células nerviosas generalmente no pueden polarizarse, resultando en unas muy limitadas capacidades de procesamiento en el sentido tradicional que, sin embargo, parece no limitar su adaptación al medio.

⁵El "sandwich cognitivo" es una metáfora bastante explícita sobre la sobrecarga y preponderancia de lo procesable -la carne del bocadillo- y un olvido y separación de la acción y la percepción -los panes-, entidades inseparables en un ser vivo coordinado tal como ya señalara Dewey (1896) en su crítica al concepto de arco reflejo, e igual que indican Dreyfus (1972) o Brooks (1990) al hablar de la necesidad de una cognición ligada al soporte físico.

rueda se desplaza en función de los movimientos en dos dimensiones que realiza el puntero que sigue el contorno del área a estimar. Son las relaciones de alto orden que se generan en dicho movimiento (el avance de una dimensión con respecto a la otra) lo que permite al planímetro polar dar el área sin necesidad de realizar ninguno de los cálculos que nosotros hubiéramos realizado al formalizar dicha tarea.

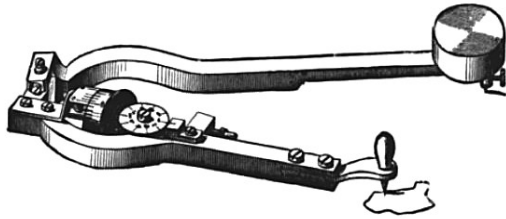


Figura 1:

Ejemplo de planímetro polar con rueda de registro como el descrito por Runeson (1977). Ilustración de Keuffel & Essel Co.

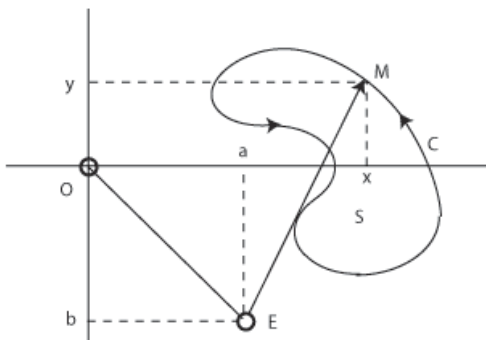


Figura 2:

Esquema de funcionamiento del planímetro. Ilustración de W. Nijdam.

De igual forma, operaciones elementales en nuestro entorno como estimar si un determinado objeto está dentro de nuestro alcance parecen llevarse a cabo de una manera directa, sin que medien cálculos a partir de lo que ven nuestros ojos, sino, en todo caso, con un acto motor; la extensión de nuestro brazo o el uso de referencias en la escena visual generadas a través del movimiento de nuestra cabeza y tren superior para detectar la *alcanzabilidad* de dicho *target*. De hecho estos juicios, aquellos relacionados directamente con una

acción efectiva, generan respuestas mucho más rápidas y estimaciones más precisas de distancia (Foley y Held 1972), especialmente en condiciones en que el movimiento es libre, pudiendo generarse aún más información a través de la acción (Carello et al. 1989).

Percibir si un objeto está o no dentro de nuestro alcance es una tarea lo bastante relevante para nosotros como para que se realice de una forma mucho más rápida y precisa que cualquier otra estimación espacial geométrica. Percibir dicha propiedad es percibir una posibilidad para la acción, una *affordance* (Gibson 1979). Los seres vivos, como agentes autónomos, parecen mostrarse mejores ejecutores que planificadores, y a su vez, mejores perceptores de *affordances* que de magnitudes físicas, es decir, es más sencillo decir si me sentaría, o no, en una determinada silla que determinar con exactitud el diámetro de su asiento. Y esto ocurre gracias a la información añadida que nos da la interacción con el entorno. A su vez, estar abiertos continuamente a la revisión de la conducta y que no exista un plan concreto preparado, sino que éste sea una construcción que se establece a lo largo de dicha interacción, posibilita mayor armonía con el entorno. Conseguir autonomía en una nueva generación de robots y en una nueva I.A. implica que éstos estén abiertos a continua retroalimentación y plasticidad, escapando así del modelo tradicional de procesamiento y elaboración de estrategias que ha funcionado bastante bien para jugar al ajedrez y operar con matrices pero que no ha permitido avances en el control motor. Asimismo, conseguir la percepción de *affordances* es un camino en robótica que puede dar jugosos frutos y que se puede llevar a cabo a través de la elaboración de modelos formales de conducta.

Cabe decir que la autonomía resultante de un enfoque como éste es el de una propiedad emergente de un organismo coordinado con su entorno, de manera tal que su capacidad de adaptación al mismo le confiere continuamente nuevas y revisables oportunidades para la acción. La autonomía no será tanto la capacidad de controlar y seleccionar de una lista de opciones de actuación preestablecidas, sino la emergencia de esta infinidad de posibilidades a través del *ponerse en marcha*. La cuestión de la selección del modo óptimo de acción es algo computable a través de sistemas de ecuaciones diferenciales y búsqueda de atractores

(Schöner 2008) como puntos que dan al sistema propiedades estables y que, por tanto, las hacen adaptativas. No es necesario un control cognitivo al uso ni siquiera para esta selección.

2. Principios ecológicos y herramientas dinámicas

Llegados a este punto, parece que la propuesta realizada por la psicología ecológica (e.g. Gibson 1979) y la percepción directa (e.g. Michaels y Carello 1981) puede ser de gran utilidad a la hora de generar robots más autónomos. La percepción de *affordances*, la coordinación con el entorno y la generación de información a través de la acción pueden simplificar el funcionamiento de los autómatas. Mientras que querer seguir el modelo clásico de I.A. o el modelo cognitivo fuerte, puede llevarnos a escribir algoritmos infinitamente largos y complejos, a requerir de una potencia de procesamiento que esté por encima de la humana y a necesitar una memoria de trabajo inmensa.

El núcleo de la propuesta ecológica pasa por un realismo que asume la existencia de patrones organizados de información en el ambiente que especifican propiedades físicas de dicho entorno. Los seres vivos, como sistemas acoplados con su ecosistema, tienen un soporte físico adecuado para detectar dicha información estructurada sin necesidad de realizar transformaciones computacionales complejas. La robótica basada en dicho enfoque generará dispositivos sensibles a información ecológicamente relevante para la naturaleza del artefacto diseñado,⁶ intentando tener siempre una inspiración biológica. El objetivo es reproducir el consumo energético mínimo requerido y los patrones de acción y aprendizaje de los seres vivos. Para ello el autómata basará su desarrollo en el ajuste al ambiente, una continua interacción con el mismo que le permita cambiar características internas y externas para realizar sus objetivos: la reducción de inestabilidades en su comportamiento, perpetuando aquellas conductas más seguras a nivel motor y de mayor eficiencia energética.

En resumen, podríamos establecer que los principios que guían la I.A. ecológica implementables en robótica son:

⁶No más *inputs* teclados son admisibles. La información será, por ejemplo, la propia estructura de la luz y su "toma de conciencia" para el robot será la recarga de las baterías. No habrá, por tanto, transformaciones a ningún sistema simbólico con el que procesar.

- 1) *Adaptación*. La I.A. propuesta por el enfoque ecológico es una inteligencia que permite la estabilización de comportamientos adaptativos para los artefactos: detección de fuentes de energía, realización de conductas eficientes... De igual forma, sus objetivos no serán preprogramados sino que emergerán de forma autónoma en función del estado interno del robot y las condiciones del medio.
- 2) *Minimalismo*. La robótica ecológica buscará reproducir con la menor cantidad de procesamiento comportamientos biológicamente inspirados. De igual manera que caminar para un hombre es una actividad automática que no requiere control consciente, así debe serlo para un robot: aprovechar osciladores y propiedades mecánicas para hacerlo tan simple como sea posible. Asimismo, dicho minimalismo implica evitar una centralización excesiva de tareas e interconexiones, pudiendo diseñar en paralelo tareas simples que, dada la estructura física del robot, generarán interacciones con otras tareas simples, sin la necesidad de una integración simbólica central. Dicho minimalismo tiene mucho que ver con la ley de Braitenberg que establece que es más sencillo crear pequeñas máquinas que reproduzcan comportamientos simples, que analizar un comportamiento aislándolo de su nicho ecológico, lo cual resultaría en una descomposición artificial. En palabras de Beer:

"la riqueza de una situación [...] se pierde cuando los conceptos complejos son abstraídos por los programadores y reducidos a propiedades simples traducibles a líneas de código en una aplicación de I.A. Las abstracciones [...] sólo existen en la mente del programador. Las estructuras de conocimiento son específicas al dominio en el cual fueron creadas, perdiendo su "significado" en otro dominio. Y finalmente, al congelar las abstracciones en código, algo esencialmente dependiente del contexto se transforma en independiente del mismo,

disminuyendo su flexibilidad.”⁷
(Beer 1990)

De igual manera, el minimalismo no sólo implica la reducción del procesamiento sino también de la memoria. No es necesario un gran almacenamiento de datos, la extracción de información del medio es la mejor memoria posible. Al no haber un módulo central de memoria, se deja espacio para los circuitos de tareas específicas y el aprendizaje.

- 3) *Dependencia del contexto.* Tal y como explicitaba Beer (1990), la dependencia del contexto permite ganar en flexibilidad a los autómatas ecológicos. Esta dependencia implica que el entorno es una fuente continua de información a la vez que es un campo de acción, generando bucles de retroalimentación que permiten la coordinación autómatas-entorno.⁸ De igual manera que percepción y acción son una conjunción inseparable, el agente y su entorno están en continua coinfluencia. A su vez, la dependencia del contexto permitirá establecer las contingencias entre formas de acción y adaptación y permitirán el desarrollo de aprendizajes. Es el entorno y no una estrategia inicial es lo que debe modelar el comportamiento.
- 4) *Flexibilidad.* Será producto de la dependencia del contexto y la ausencia de un gran procesamiento central. Pensemos en varios osciladores que pueden acoplarse o generar patrones rítmicos muy complejos al funcionar independientemente. Sin embargo, si el soporte físico que los une transmite la vibración que generan durante la oscilación, el ritmo de todos ellos tenderá a acoplarse. De igual forma, pequeñas variaciones en las situaciones pueden generar que pequeños mecanismos acoplados sufran variaciones en función de alteraciones en uno sólo de ellos.

En estrecha relación con esta codependencia, debemos hablar de los sistemas dinámicos (e.g. Strogatz 2001, Schöner 2008) como herramienta de análisis

⁷La traducción es propia.

⁸Un sentido de coordinación como el que describe Turvey (1990) en el cual todo movimiento de un agente genera un cambio en el mundo fenomenológicamente disponible, por lo que implica una sincronización de acción y percepción por un lado, y de agente y entorno por otro.

y modelización de conductas de sistemas acoplados. Si construimos robots que conectan sistemas que desarrollan tareas sencillas, las variaciones de unos subsistemas sobre otros generará variaciones en la manera de coordinarse que el agente tenga en cada ocasión. Dicha covariación puede traducirse matemáticamente a través de sistemas de ecuaciones diferenciales que expliciten las formas de codependencia de unos sistemas en función de su relación con otros y sus cambios. La teoría del caos, la tendencia a atractores o la aparición de inestabilidades son conceptos de gran utilidad en el modelado matemático del funcionamiento de estructuras biológicas.

La estabilidad permite a los organismos generar armonía y coordinación entre actos motores y perceptivos. De igual modo, la pérdida de ésta genera cambios en el comportamiento que pueden explicarse como emergencias generadas por las variaciones del medio interno y externo a través del tiempo. Dichas nuevas conductas volverán a afinarse para ser cada vez más coordinadas, generando un atractor y un nuevo periodo de estabilidad. En palabras del propio Schöner:

“Dynamical systems thinking is all about autonomy. The theoretical concept of stability, at the core of dynamical systems thinking, is the key to understanding autonomy.” Schöner (2008: 117)

3. Breve historia de los robots ecológicos

3.1. Elmer & Elsie

Elmer y Elsie⁹ (Electro Mechanical Robots, Light Sensitive with Internal and External stability) suelen ser considerados los primeros robots ecológicos que vieron la luz. Fueron diseñados y construidos por William Grey Walter a finales de los años 40 del siglo pasado. Ambos consistían, fundamentalmente, en un pequeño número de elementos profusamente interconectados, de tal forma que un número muy limitado de componentes pudiera dar lugar a un amplio abanico de comportamientos y reacciones, lo que los convertía en autómatas prácticamente impredecibles.

Por otro lado, podemos decir que la conducta de estos robots era intencional en tanto que estaba orientado a fines. Elmer y Elsie gozaban de un “ojo” que era sensible a

⁹<http://www.youtube.com/watch?v=ILULRImXkKo>

la luz, la cual recargaba sus baterías. Por lo tanto, cuando los robots percibían una fuente luminosa se desplazaban hasta ella para "alimentarse" hasta que sus baterías estaban llenas, después de consumir la electricidad necesaria regresaban a una zona en la que iluminación fuera más tenue. Si por el contrario no había ninguna fuente de luz los robots se desplazaban y exploraban describiendo un movimiento que era espontáneo e impredecible.

El logro de Walter fue crear unos artefactos muy simples que, sin embargo, parecían estar adaptados al medio e interaccionar con el contexto de forma eficiente y autónoma:

"These machines are perhaps the simplest that can be said resemble animals. Crude though they are, they give an eerie impression of purposefulness, independence and spontaneity". (Walter 1950: 45)

3.2. Genghis

El trabajo en robótica de Rodney Brooks se ha llevado a cabo en base a la *physical grounding hypothesis*, en contraposición a la *symbol system hypothesis*, que sería la propia de la Inteligencia Artificial tradicional. Lo que esta hipótesis defiende es, en pocas palabras, la necesidad de que cualquier sistema que construyamos esté conectado con el mundo físico (mediante sensores y motores) para poder ser llamado inteligente. Otra de las características de los robots que Brooks desarrolla es que el sistema está construido según una arquitectura de subsunción, esto significa que está compuesto de distintos módulos independientes que actúan de forma individual, pero que, gracias a su estructura reticular, al coexistir y cooperar logran que nuevas capacidades del sistema emerjan. Estos módulos se pueden ir añadiendo a la red inicial sin necesidad de que esta sea alterada, permitiendo así comportamientos del robot cada vez más complejos.

Tal vez uno de los robots paradigmáticos del laboratorio de Brooks en el MIT es Genghis.¹⁰ Genghis es un pequeño robot que fue presentado en 1991, su peso es de aproximadamente un kilo y tiene seis patas que le permiten moverse en terreno escarpado y evitar obstáculos, además es capaz de percibir la presencia de otros

¹⁰Para una revisión de los principios y el funcionamiento de Genghis vease Brooks (1989). Para ver las destrezas del robot hay videos en internet, por ejemplo: <http://www.youtube.com/watch?v=RKeBI0-msGQ&feature=related>

agentes y seguirlos o ponerse en movimiento a su llegada. Según su creador el éxito de este autómata se debe a que su sistema de control no está centralizado:

"It [the control system] is not at all hierarchical. It directly implements walking through many very tight couplings of sensors to actuators. It is very distributed in its nature, and we believe its robustness in handling rough terrain comes from this distributed form of control." (Brooks 1990: 10)

3.3. La cucaracha de Beer

Randall D. Beer diseñó en los 90 un robot basado en el comportamiento de los insectos y el cual, dado que tenía seis patas, fue llamado cucaracha. Para Beer, interesado en seguir los principios ecológicos, no se trataba de construir únicamente un autómata, sino también un medio en el que éste se desarrollase y que fuera inseparable del insecto robótico, es decir, que ambos formasen parte de un mismo sistema. En este sentido, el sistema nervioso del robot no sólo estaba especialmente pensado para el cuerpo en que iba a ser implementado, sino también para el nicho en el que iba a vivir, respetando así la correspondencia entre las *affordances* del contexto con las *effectivities*¹¹ del agente (Effken y Shaw 1992: 253).

Uno de los mayores éxitos de la cucaracha de Beer fue el de lograr una locomoción muy semejante a la de los insectos. El autómata podía emplear patrones de movimiento diferentes para las patas según la velocidad, sin necesidad de recurrir a un sistema de control central, sino exclusivamente a través de la información que cada uno de los apéndices obtenía de la posición de los otros apéndices (algo que podría equipararse con lo que Brooks llamaba arquitectura de subsunción). A su vez también extraía información del entorno, como por ejemplo si había o no una superficie bajo alguna de las patas, información que resultaría suficiente para que la cucaracha cambiara su patrón de movimiento o lo detuviese.

El robot de Beer basa su autonomía en que está dirigido por su estado interno, generalmente orientado a la alimentación. El sistema tiene un sensor para monitorizar la cantidad de energía de la que dispone, cuando el nivel es lo bastante bajo, el robot

¹¹Las *effectivities* son acciones efectivas que un agente puede llevar a cabo, dadas sus constricciones biomecánicas.

lo interpreta como "hambre" y entra en funcionamiento el sensor químico que sirve para localizar las fuentes de energía, a las cuales la cucaracha se aproxima y de las que se alimenta una vez han sido localizadas hasta que está saciada. El robot es codependiente del medio en el sentido de que:

"the insect's response to food is the result of complex interaction dynamics between an internal positive feedback loop and a negative feedback loop closed through the external environment." (Effken y Shaw 1992: 257).

3.4. BEAMbots

A principios de los 90 Mark Tilden, muy influido por la robótica de Brooks, comenzó a diseñar una serie de robots que se caracterizan por desenvolverse con cierta eficiencia en el medio a pesar de ser sumamente simples. Los BEAM Robots (Biology, Electronics, Aesthetics, Mechanics Robots) son pequeños autómatas constituidos por redes neuronales artificiales completamente analógicas (Nv Nets), es decir, que prescinden de microcontroladores y que, por lo tanto, no pueden ser programados (actualmente existen robots híbridos que emplean un procesador para situaciones muy concretas en las que el circuito analógico no puede responder adecuadamente).

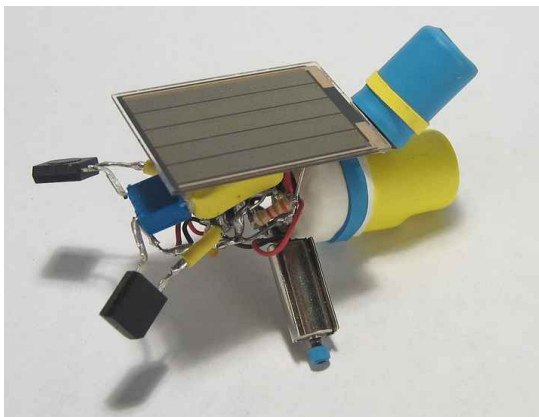


Figura 3:

Ejemplo de robótica BEAM: el photopopper busca el camino hacia la mayor fuente de luz disponible en el entorno. Fotografía de Zach DeBord. Disponible en <http://www.beam-wiki.org/>

La idea inicial de la robótica BEAM no se limita exclusivamente al uso de componentes analógicos, también procura

que los robots funcionen gracias a energía radiante, de forma que puedan mantenerse en funcionamiento por ellos mismos y que, por lo tanto, sean más autónomos; además de promover el uso del menor número posible de elementos en la construcción de un autómata. A este respecto el propio Tilden explicaba las ventajas de que los robots obtuvieran energía por sí mismos en el prefacio de un manual para construir este tipo de autómatas:

"Small, elegant, solar-powered, almost perpetual, they can live in home and lab as a form of "robot ecology" without benefit of computer brains or battery. Initially, I studied them as they roamed about; now I just have to remember to put them in the dishwasher once a year to get the dust off. A different approach, still fledgling, but these "living machines" are quiet, careful, small, out of the way, and very easy to live with." (Hrynkiw y Tilden 2002: XIX).

Existen BEAMbots de muchas clases, ya sea por el tipo de estímulo que son capaces de percibir, como por la tarea que pueden llevar a cabo. Existen, por ejemplo, robots cuya única actividad es alinearse con el campo magnético de la tierra, mientras que hay otros más sorprendentes que pueden llegar a desplazarse con soltura por terrenos escarpados e irregulares.

3.5. Ramona & Louie

A finales del pasado siglo en la universidad de Brown desarrollaron una pareja de robots que controlaban su movimiento y comportamiento a partir del flujo óptico. El flujo óptico es la variación acontecida en lo que se percibe a través del propio movimiento, gracias a él pueden conocerse y calcularse cosas tales como la dirección o la velocidad del desplazamiento de forma muy precisa (Gibson 1979).

Ramona y Louie fueron diseñados, principalmente, para jugar al "pilla pilla", lo cual suponía una serie de tareas tales como evitar obstáculos, escapar, fijar un objetivo, perseguirlo o alcanzarlo. Para ello fueron programados según ciertas leyes de control que les permitían llevar a cabo una tarea u otra según el flujo óptico que percibiesen en un momento concreto, sin necesidad de que tuvieran una reconstrucción visual de la escena completa o una representación a modo de mapa preprogramada. A los ojos de sus creadores la virtud de Ramona y Louie es que poseen la capacidad de conectar de forma directa e inseparable la percepción con la acción, y

algunas de las conclusiones a las que su experiencia con estos autómatas los han conducido las resumen así:

"Neural networks would be an ideal means of satisfying the many soft constraints (affordances) of an object and of choosing a single output (action mode). In any case, knowledge of the affordances of an environment provides a basis for a choice of action, and that action, once chosen, can be controlled without a central model of the world. Such procedural, functional knowledge seems necessarily prior to more abstract, declarative knowledge". (Duchon et al. 1998: 502)

3.6. BigDog & LittleDog

Desde los años 80 la DARPA (Defence Advanced Research Project Agency), una agencia que depende del Departamento de Defensa de Estados Unidos, ha estado trabajando en el desarrollo de autómatas capaces de acompañar a los soldados sobre el terreno. Este objetivo ha financiado y alimentado la investigación en una robótica centrada en la interacción con el terreno y la capacidad de respuesta en tiempo real, en numerosas universidades y empresas (Boston Dynamics, Harvard, el MIT, etc.).

Tal vez los robots más interesantes a los que esta investigación ha dado lugar son los novísimos BigDog y LittleDog, que comenzaron a desarrollarse en 2005. BigDog es un cuadrúpedo de 110 kilogramos de peso cuya principal función es la de mula de carga (puede transportar hasta 150 kg). Cada una de sus patas dispone de 16 motores hidráulicos que le permiten desplazarse por casi cualquier tipo de terreno, incluso si este es muy inclinado, y mantener la estabilidad a pesar de los golpes o los grandes desniveles.

LittleDog (Pongas et al. 2007) es una versión mucho más pequeña de BigDog que aún está en periodo de prueba. La mayor diferencia con respecto al otro robot, además del tamaño, es que LittleDog tiene la capacidad de aprender por sí mismo. Es capaz de generar información estadística sobre qué puntos concretos de un terreno irregular son los mejores para desplazarse, de tal forma que, cuantas más veces se enfrenta con un mismo terreno, más eficiente y veloz es el autómata al recorrerlo.¹²

¹²Es interesante comparar este video: <http://www.youtube.com/watch?v=nUQsRPJ1dYw>, uno de los más recientes de LittleDog, con videos anteriores para observar cómo ha mejorado su capacidad de movimiento.

3.7. iCub

El iCub¹³ es un robot que nace a partir de un proyecto europeo. Se trata de un agente antropomorfo con capacidad para dirigir la mirada, así como las extremidades superiores. Aunque no es como tal un robot ecológico, en tanto que tiene un sistema de control central y trabaja a través de representaciones, intenta incorporar ciertos principios tales como la detección de *affordances* y el aprendizaje a través de la interacción con el medio, reproduciendo el proceso llamado *attunement* en la literatura ecológica (e.g. Michaels y Carello 1981).

4. Conclusiones

A la vista de los últimos desarrollos en I.A. parece que el salto en autonomía de los robots pasa por su desvinculación de las estrategias y planes de acción preprogramados. La robótica ecológica está abriendo caminos en los que, a través de la combinación de modelos simples de inspiración biológica, puedan generar la emergencia de características propias de la inteligencia humana. El paso del código simbólico a las constricciones físicas es el paso que debe dar el *software* para quedar anclado al *hardware*, al soporte físico de los robots, del mismo modo en que la cognición no puede entenderse correctamente si no es anclada al cuerpo y al nicho ecológico en que se desarrolla.

Los sistemas simbólicos centralizados generan una forma de representar el pensamiento de gran utilidad para simular los *outputs* de algunas actividades tales como el ajedrez, en que la formalización parece bastante eficaz. Sin embargo, esto que podría parecer una lícita estrategia funcionalista pasa por alto que, al ignorar la dinámica interna real que conlleva el uso biológico de la información (i.e. la cognición), gran parte de ésta -generada en estados intermedios de los procesos mentales- queda perdida, encubierta por una potencia de procesamiento que permite alcanzar las metas propuestas para los diseñadores de I.A.

La I.A. ecológica no sólo permite reproducir *outputs* motores como los observados en seres vivos sino también que éstos tengan toda la flexibilidad en su forma de articulación (i.e. puedan alcanzarse con diversas combinaciones mecánicas, en base

¹³Para ver el comportamiento de iCub: <http://www.youtube.com/watch?v=Dmj5TP7XIFE&feature=related>

a estímulos diferentes...) como los que tienen en los sistemas cognitivos.

Este nuevo horizonte de posibilidades puede superar las carencias que lastraban las grandes promesas de la I.A. La ausencia

de una necesidad de programación y la autonomía motora y energética suponen un paso adelante para la aproximación de los robots a las características de los seres vivos.

Referencias

- Beer, R. D. (1990) *Intelligence as Adaptive Behavior: An Experiment in Computational Neuroethology*. New York: Academic.
- Brooks, R.A. (1989) A Robot that Walks; Emergent Behaviors from a Carefully Evolved Network. *Neural Computation*, 2(1), pp. 253-262.
- Brooks, R. A. (1990) Elephants Don't Play Chess. *Robotics and Autonomous Systems*, 6, pp. 3-15.
- Carello, C. et al. (1989) Visually Perceiving What is Reachable. *Ecological Psychology*, 1(1), pp. 27-54.
- Dewey, J. (1896) The Reflex Arc Concept in Psychology, *Psychological Review*. 3, pp. 357-370.
- Dreyfus, H. L. (1992) *What Computers Still Can't Do*. Cambridge, MA: The MIT Press.
- Duchon, A. P. et al. (1998) Ecological Robotics, *Adaptive Behavior*. 6(3/4), pp. 473-507.
- Effken, J. A. y Shaw, R.E. (1992) Ecological Perspectives on the New Artificial Intelligence. *Ecological Psychology*, 4(4), pp. 247-270.
- Foley, J. M. y Held, R. (1972) Visually Direct Pointing as a Function of Target, Distance, Direction and Available Cues. *Perception & Psychophysics*, 12, pp. 263-268.
- Gibson, J. J. (1979) *Ecological Approach to Visual Perception*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Hrynkiw, D. y Tilden, M. (2002) *JunkBots, Bugbots, and Bots on Wheels: Building Simple Robots With BEAM Technology*. Berkeley, CA: McGraw-Hill.
- Hurley, S. L. (1998) *Consciousness in Action*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Michaels, C. F. y Carello, C. (1981) *Direct Perception*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Nilsson, N. J. (2010) *The Quest For Artificial Intelligence, a History of Ideas and Achievements*. New York: Cambridge University Press.
- Pongas, D. et al. (2007) A Robust Quadruped Walking Gait for Traversing Rough Terrain. *Robotics and Automation, 2007 IEEE International Conference on*, pp. 1474-1479
- Runeson, S. (1977) On the Possibility of "Smart" Perceptual Mechanisms, *Scandinavian Journal of Psychology*. 18(1), pp. 172-179.
- Schöner, G. (2008) Dynamical Systems Approaches to Cognition. In R. Sun (ed.), *Computational Psychology*. New York: Cambridge University Press.
- Simon, H. A. (1965) *The Shape of Automaton: For Men and Management*. New York: Harper & Row.
- Strogatz, S. H. (2001) Exploring Complex Networks. *Nature*, 410, pp. 268-276.
- Turvey, M. T. (1990) Coordination. *American Psychologist*, 45(8), pp. 938-953.
- Walter, W. G. (1950) An Imitation of Life. *Scientific American*, 182(5), pp. 42-45.