

EL CUERPO COMO VARIABLE EXPERIMENTAL*

The body like experimental variable

Frédéric Kaplan y Pierre Yves Oudeyer**

Traducción de Rodrigo Zapata Cano***

Resumen: la evolución de los conceptos de cuerpo y de procesos de animación en el campo de la robótica lleva hoy a definir el concepto de un núcleo, conjunto de algoritmos estables, independiente de los espacios corporales en los que se aplican. Se vuelve posible, entonces, estudiar la manera por la cual algunas inscripciones corporales consideradas como variables, estructuran el comportamiento y a más largo plazo, el desarrollo de un robot. Este trabajo metodológico puede conducir a un enfoque original del desarrollo del niño al subrayar la importancia de un cuerpo variable con fronteras en continua redefinición.

Palabras clave: cuerpo, historia de la robótica, encarnación, inteligencia artificial, organismo.

Abstract: in the field of robotics, the evolution of the concepts of embodiment and animation processes lead to define the concept of a kernel consisting of a set of stable algorithms, independent of the specific embodiment on which these algorithms could be applied. Thus, it becomes possible to study experimentally how particular embodiments, considered as experimental variables, shape the robot's behavior and its longer-term developmental patterns. This methodological stance results into a new approach to children development stressing the importance of a continuously changing body.

Keywords: body, history of the robotics, embodiment, artificial intelligence, organism.

*Kaplan, Frédéric y Oudeyer, Pierre Yves, "Le corps comme variable expérimentale", *Revue philosophique de la France et de l'étranger*, 2008/3, n° 3, pp. 287-298. [En línea] http://www.cairn.info/article.php?ID_REVUE=RPHI&ID_NUMPUBLIE=RPHI_083&ID_ARTICLE=RPHI_083_0287. Agradecemos la amabilidad de la señora Maria Vlachou, Foreign Rights Manager Presses Universitaires de France, y a los autores por permitirnos traducir y publicar este artículo.

**Frédéric Kaplan es ingeniero especialista en los interfaces hombre-máquinas y en inteligencia artificial. Investigador de la École Polytechnique Fédérale de Lausanne. Ha publicado entre otras obras: (2009). *La métamorphose des objets*, Lymoges, Fyp; (2005). *Les machines apprivoisées: comprendre les robots de loisir*, París, Vuibert; (2001). *La naissance d'une langue chez les robots*, París, Hermès Science Publications. Contacto: frederic.kaplan@epfl.ch. Pierre Yves Oudeyer es doctor en informática, especialista en inteligencia artificial y en teoría computacional. Ha publicado numerosos artículos y capítulos en libros colectivos. En el 2013 publicó *Aux sources de la parole: auto-organisation et évolution*, París, Odile Jacob. Contacto: Pierre-yves.oudeyer@inria.fr.

***Historiador, docente Universidad de Antioquia, Medellín-Colombia, rodrigozapatak@yahoo.com

Tradicionalmente, los robots, y antes los autómatas, siempre han tenido tres funciones. Son máquinas útiles, capaces de efectuar tareas repetitivas o peligrosas, algunas veces de manera tan precisa o eficaz, que los hombres no las podrían realizar en las mismas condiciones. También son máquinas divertidas, fascinantes y algunas veces turbadoras o incluso molestas por el hecho de parecerse al hombre o a los animales. En fin, son de manera potencial buenos modelos para comprender al hombre. Históricamente, estas tres funciones siempre han mantenido vínculos estrechos y entremezclados (Baudrillard, 1978; Kaplan, 2005). Desde la primera mitad del siglo XVIII, Jacques de Vaucanson, que ofició de exhibidor de feria, de ingeniero al servicio del rey o de científico en busca de los secretos de la vida, se propuso construir «anatomías movientes» que reprodujeran las funciones vitales del ser humano (respiración, digestión y circulación sanguínea) utilizando los materiales más innovadores de su época. Es difícil distinguir, en su producción, lo que depende estrictamente del trabajo del científico y lo que corresponde a la investigación del ingeniero (Chapuis, Droz, 1949). Más cerca de nosotros, en los años 1940, Grey Walter, investigador en neurofisiología, reconocido por su trabajo sobre el electroencefalograma y por los numerosos avances que con su equipo introdujo en este campo, estaba convencido que desarrollar nuevos sistemas de visualización y análisis era sin duda necesario, pero no suficiente para comprender el cerebro en acción. Construía pequeños robots móviles para demostrar que, más allá de la organización cerebral, son también las características anatómicas y físicas del cuerpo las que determinan el comportamiento (Walter, 1967; Cordeschi, 2002). En la actualidad, los experimentos «robóticos» se realizan en muchos campos, desde las neurociencias (Edelman, 2007) hasta la psicología del desarrollo (Revel, Nadel, 2007) o incluso en la lingüística (Kaplan, 2001; Steels *et al.*, 2002).

¿Pero qué se puede aprender realmente al trabajar con robots? Los experimentos robóticos pueden algunas veces dar la impresión de ser solo teatralización, la reintroducción de modas de representación de la ciencia en público que se remontan al siglo XVIII: escenificación de la ciencia sin un verdadero problema epistemológico. Quisiéramos mostrar que el problema de estos experimentos sobrepasa la simple comunicación científica, y que el trabajo de modelización con robots permite extraer nuevos conceptos difíciles de abordar por otros métodos.

Ya sea en el imaginario popular o en la práctica científica, el robot siempre tiene dos características complementarias: tiene un cuerpo y está animado. Su cuerpo lo une a las otras máquinas, y en particular a las herramientas, que actúan en el mundo físico, su animación lo acerca al viviente. La historia de la robótica se caracteriza por una sucesión de redefiniciones de las fronteras entre cuerpo y procesos de animación.

Alternando entre trabajos holísticos y dualistas, los científicos e ingenieros de la robótica han desarrollado enfoques radicalmente diferentes según las épocas para concebir máquinas capaces de desempeñarse y evolucionar en el mundo físico.

A cada trabajo de ingeniería le corresponde, de manera directa, una cierta concepción del papel del cuerpo para la cognición. Por esta razón, la robótica se puede comprender no solo como el saber-hacer tecnológico que se ocupa de la construcción de cuerpos animados sino como una ciencia de la inscripción corporal.

EL CUERPO SEPARADO

El flautista de Jacques de Vaucanson podía ejecutar hasta doce temas diferentes. Al contrario de la mayoría de las máquinas de comienzos del siglo XVIII que todavía

son, en su concepción, esencialmente holísticas, este autómata introduce una forma de separación entre una mecánica corporal y un procedimiento de animación programable. Perfeccionando el mismo género de mecanismo, *El escritor* de Pierre y Henri-Louis Jaquet-Droz está equipado con cuarenta levas que controlan el movimiento de su pluma. El mismo cuerpo puede efectuar así diferentes secuencias según las posiciones del sistema de levas. De manera progresiva, se multiplican los dispositivos mecánicos que permiten la programación: telares, tarjetas perforadas y cilindros de cera. Los procedimientos de animación se desarrollan como módulos cada vez más independientes del cuerpo mecánico del autómata (Chapuis, Droz, 1949).

A mediados del siglo XX, con la llegada del computador numérico, se consuma el divorcio entre el cuerpo físico y el procedimiento de animación. El autómata, que en adelante se denomina robot, se concibe como un cuerpo físico dotado de sensores y actuadores controlados por un programa informático, descripción abstracta e «informativa» de su comportamiento. Y es fácil entonces poder «ejecutar» sucesivamente muchos programas diferentes sobre el mismo cuerpo robótico.

Aparecen dos disciplinas complementarias. De un lado, los investigadores en inteligencia artificial se dedican a imaginar algoritmos que le permitan a la máquina clasificar, predecir y decidir. Del otro, los científicos e ingenieros de la robótica desarrollan nuevos sensores y accionadores ampliando así el «mundo» en el que los robots evolucionan.

Inevitablemente, las dos disciplinas divergen. Muchos investigadores en inteligencia artificial en particular ya no consideran más la encarnación como un componente esencial de su investigación. Prefieren concentrar su esfuerzo en la modelización de comportamientos cognitivos humanos complejos y elaboran modelos de inteligencia humana adaptados al diagnóstico médico, a la prueba

de teoremas matemáticos o a los juegos de salón. Estos algoritmos llegan a sostener una visión de la inteligencia humana sobre todo como un sistema de manipulación de símbolos (Haugeland, 1985).

La psicología cognitiva se apodera de esta hipótesis al sostener que este tipo de proceso de tratamiento de la información muestra mejor los mecanismos de la inteligencia que las teorías del comportamiento, tan influyentes al otro lado del Atlántico.

Se imponen las hipótesis cognitivistas y computacionalistas, que estipulan que el pensamiento se puede reducir a un conjunto de cálculos simbólicos (Fodor, 1987). El cuerpo está olvidado, irremediamente separado de los mecanismos de la inteligencia.

De manera simétrica, mientras que todo un campo de investigación explora la inteligencia sin cuerpo, el otro se dedica a desarrollar cuerpos sin inteligencia. Los primeros robots industriales se instalaron en medios predecibles y controlados al extremo. En las cadenas de montajes ejecutan movimientos calibrados. En los talleres, realizan manipulaciones estandarizadas con precisión. Desafortunadamente, desde que se trata de hacer evolucionar a las máquinas en medios no adversos, no conocidos de antemano o cambiantes, el comportamiento de los robots parece imposible de programar.

Entre los años cincuenta y finales de los ochenta, el cisma que separa a los diseñadores de «cuerpos» y a los investigadores en «inteligencia» tiene consecuencias directas sobre los resultados de las máquinas producidas. Los algoritmos de inteligencia artificial concebidos para manipular símbolos, definidos *a priori* y sin ambigüedad, se muestran muy inadaptados para la complejidad y la imprevisibilidad del

mundo real. Como ejemplo, consideremos el problema que consiste en poner a caminar un robot cuadrúpedo a partir de un algoritmo de inteligencia artificial clásico. No se trata de manipular símbolos abstractos sino de un cuerpo complejo que, según las configuraciones, se puede desequilibrar rápidamente, sobre todo si, como en la mayoría de los robots, está constituido por miembros rígidos cuyo programa debe controlar la posición. El revestimiento del suelo, los grados de fricción sobre las patas influyen directamente en los movimientos de la máquina. Para funcionar, es necesario que el sistema esté equipado con un modelo preciso del cuerpo del robot y también con el medio en cual evoluciona. En muchos casos, es casi imposible. Visto desde este ángulo, caminar en cuatro patas puede ser un problema más difícil que demostrar teoremas matemáticos.

EL CUERPO RECOBRADO

Para salir de este impase, aparece pues una nueva escuela de pensamiento a finales de los años ochenta, alrededor de investigadores como Rodney Brooks, Luc Steels y Rolf Pfeifer. La inteligencia artificial encarnada (*embodied artificial intelligence*) rechaza el enfoque simbólico y desencarnado de la inteligencia artificial «clásica» al postular que no puede haber inteligencia artificial sin cuerpo y sin medio (Pfeifer, Scheier, 1999). Rodney y Brooks agregan que el cuerpo y el medio no se pueden modelizar y que la investigación debe entonces renunciar a construir modelos de la realidad exterior para concentrarse en la interacción directa con el medio: «El mundo es el mejor modelo de sí mismo» (Brooks, 1999; Steels y Brooks, 1995).

Este cambio de perspectiva anuncia una renovación de los experimentos robóticos y un regreso a los métodos de concepción y experimentación que caracterizaban a la robótica anterior al computador numérico.

Las «tortugas» cibernéticas de Grey Walter, construidas en 1948, se toman pues como ejemplo de lo que debe ser una buena concepción que integra finamente el proyecto de la máquina física a los comportamientos deseados. Estos robots completamente análogos eran capaces de comportamientos complejos, sin embargo, no utilizaban «representaciones» internas (Guy Walter, 1949). Su concepción tenía en cuenta el hecho de que se trataba de máquinas físicas, sometidas a la gravedad o a las fricciones y que producían su simulación sensorial por su propio movimiento. La naturaleza y la disposición de su sistema sensorial les permitían resolver «tareas» como encontrar su estación de recarga, sin que fuera necesario, no obstante, recurrir a algún «razonamiento».

Inspirados en las teorías de von Uexküll (1965), los investigadores definieron en adelante los comportamientos del robot teniendo en cuenta su *Umwelt*, por el hecho de que el cuerpo lo hace pertenecer a algunos nichos ecológicos en los que algunos estímulos son significativos y otros no. También se apoyan en la renovación de una corriente filosófica fundamentalmente no dualista que, en la tradición de Merleau Ponty, concibe la cognición como encarnada y asentada en el mundo (Merleau Ponty, 1949; Varela *et al.*, 1993).

Para intentar convencer a los cognitivistas que solo veían en la inteligencia una forma sofisticada de tratamiento de la información, los investigadores en inteligencia artificial encarnada intentan definir el tipo de tratamiento «computacional» morfológico (*morphological computation*) realizado por el mismo cuerpo (Pfeifer, Bongard, 2007). Para resolver un problema como la locomoción cuadrúpeda, antes que construir un sistema de control más sofisticado, es más eficaz construir un cuerpo dotado de las dinámicas físicas adaptadas. Si se reemplazan los miembros rígidos y los motores potentes del robot por un sistema equipado de resortes inspirados en la dicotomía músculo-tendón que se encuentra en los

animales cuadrúpedos, basta con un sistema de control sencillo que produzca justo un movimiento periódico de cada pata para obtener una locomoción elegante y adaptada. Una vez ubicado en el suelo, el robot se estabiliza después de algunos pasos en un ritmo de marcha que corresponde a sus dinámicas naturales. La velocidad de marcha correspondiente no es arbitraria y es difícil para el robot además salir de lo que constituye «una cuenca de atracción» de este sistema dinámico. Solo una perturbación suficientemente importante puede permitir al robot dejar este ritmo natural para recaer enseguida hacia otro «atractor» que, por ejemplo, corresponde a un comportamiento de «trote» (Pfeifer y Bongard, 2007).

De esta manera, en ruptura con la división heredada de la posguerra de la segmentación en disciplinas, la inteligencia artificial encarnada reafirma la importancia del cuerpo al mostrar su papel en la construcción de comportamientos complejos: la concepción corporal y los procedimientos de animación se deben considerar como un todo coherente.

EL CUERPO COMO VARIABLE EXPERIMENTAL

A comienzos de los años noventa, los experimentos de la nueva inteligencia artificial se concentran esencialmente en la modelización de comportamientos de insectos, ejemplos estratégicamente alejados de los programas de inteligencia artificial clásica que jugaban ajedrez. Pero, en los años siguientes, algunos investigadores tienden a ampliar este mismo enfoque para construir robots capaces de aprender como lo hacen los niños. La idea no es nueva, puesto que fue expresada por Alan Turing en uno de los artículos fundadores de la inteligencia artificial (Turing, 1950), pero la perspectiva «sensorio-motriz» desarrollada por la inteligencia artificial encarnada le da una dimensión inédita. En efecto, ¿cómo podría una máquina desarrollar por sí misma competencias sensorio-motrices para interactuar con su medio? ¿Por medio de qué mecanismos podría inscribirse en una trayectoria

de desarrollo abierta como las que caracterizan el desarrollo del niño? En solo algunos meses, un niño aprende a controlar su cuerpo, a manipular objetos, a intercambiar con sus compañeros para volverse un ser autónomo capaz de interacciones complejas, tanto físicas como sociales. Cada día adquiere saberes-hacer cada vez más complejos, tanto en el plano perceptivo como en sus posibilidades de interacción. ¿En qué medida una máquina podría hacer lo mismo?

Al plantear estas preguntas, los investigadores en robótica del «desarrollo» o «epigenética» (Lungarella *et al.*, 2004; Kaplan y Oudeyer, 2006) ponen parcialmente en entredicho las bases iniciales de la inteligencia artificial encarnada e introducen una ruptura metodológica.

Siempre se afirma la importancia del cuerpo, puesto que se trata de desarrollar competencias sensorio-motrices íntimamente ligadas a una morfología y a un medio dados. Pero, al mantener un enfoque holístico, parece de nuevo necesario identificar, en el seno del sistema robótico, un proceso independiente de cualquier cuerpo, nicho ecológico y tarea particular. En efecto, por definición, un mecanismo que pueda permitir llegar a aprender siempre nuevas competencias no puede ser específico de ciertos tipos de comportamientos, del medio o incluso del cuerpo. Debe ser general y abstracto e independiente del cuerpo.

De este modo, apenas recobrado, el cuerpo está de nuevo dividido. Pero la separación ya no es la que se hereda de las tarjetas perforadas y del computador numérico que distinguía lo material del programa. En este nuevo dualismo metodológico, se trata de separar una *envoltura corporal* potencialmente variable que corresponde a un espacio sensorio-motor dado y a un *núcleo de entrenamiento*,

conjunto de procesos generales y estables capaces de controlar cualquier interfaz corporal. Así, al distinguir un proceso de encarnación general y de espacios corporales particulares, los desarrollos más recientes de la robótica epigenética llevan a considerar el cuerpo desde otro ángulo. Al contrario de los cuerpos físicos y pesados, completamente anclados en lo real, las envolturas corporales son en potencia espacios variables y cambiantes. A la inversa de los programas de animación siempre diferentes de la robótica y de la automática, consideramos ahora un núcleo estable, siempre idéntico, que actúa como un motor para el desarrollo. Ya no es el cuerpo el que permanece mientras los programas cambian. Es exactamente lo inverso: el programa permanece y el cuerpo cambia.

Se pueden considerar varios tipos de núcleos de entrenamiento. Algunos conducirán a desarrollos abiertos y otros no. Imaginemos una sala de control que comprende un conjunto de aparatos de medida y otro de botones. En ninguno de estos aparatos figura el rótulo de identificación. Imaginemos ahora a un operador tratando de comprender, a pesar de la ausencia del rótulo de identificación, cómo funciona el sistema que tiene en frente. Una posible estrategia consiste en pulsar los botones al azar y observar el tipo de signos evaluados en los aparatos de medición. Tal vez no hay ninguna relación predecible entre las acciones emprendidas y los resultados obtenidos. ¿Tal vez solo algunos botones tuvieron un efecto? Así pues, para el operador, una mejor estrategia consiste en evaluar en cuáles configuraciones progresa en la comprensión de los efectos de sus acciones y en explorar más particularmente las correspondientes acciones.

Es posible construir un algoritmo que efectúe precisamente esta operación. Dado un conjunto de señales de entradas y salidas, el algoritmo puede intentar construir un modelo predictivo de los efectos de las señales de salida sobre las de entrada. Antes que intentar combinaciones al azar, el algoritmo evalúa las situaciones donde más progresa en sus predicciones y elige las señales de salidas con el

propósito de optimizar su propio progreso (*Oudeyer et al., 2007*). Al seguir este principio, el algoritmo evita a la vez las zonas impredecibles o, por el contrario, muy fácilmente predecibles del espacio que explora, con el objetivo de concentrarse en las acciones más susceptibles de hacerlo progresar en sus predicciones. Podemos denominar a estas zonas «nichos de progreso». Así, este algoritmo permite una exploración organizada de un espacio desconocido, comenzando por los aspectos más simples de predecir para, de manera progresiva, dedicarse a las zonas más difíciles de modelizar. El término *núcleo* es apropiado aquí en muchos aspectos para describir el comportamiento de este algoritmo. Se trata de un proceso central y estable, protegido con relación a los espacios corporales periféricos. También es el origen y el punto de partida de los comportamientos observados.

Volvamos a nuestro ejemplo de la locomoción cuadrúpeda y consideremos un experimento en el cual es ahora este algoritmo el que controla el movimiento de los diferentes motores. Para cada motor, fija el periodo, la fase y la amplitud de una señal periódica.

El sistema de predicción intenta pronosticar los efectos de estos diferentes juegos de parámetros en la manera por la cual se modifica la imagen captada por una cámara ubicada sobre la cabeza del robot, lo que indirectamente refleja el movimiento de su busto.

En cada iteración, el algoritmo produce el valor del próximo juego de parámetros a experimentar con el propósito de maximizar la reducción del error en la predicción.

Cuando se comienza un experimento de este género, se exploran diferentes juegos de parámetros durante los primeros minutos. El robot agita sus patas de manera

desordenada. La mayor parte de sus movimientos tiene un efecto muy fácilmente predecible: el robot casi no se desplaza. El robot permanece inmóvil, a pesar de su agitación. El error en la predicción es mínimo: estas situaciones no son «interesantes» para el algoritmo. Por azar, al cabo de unos diez minutos un movimiento lleva en general al robot a efectuar un ligero desplazamiento. Cierta combinación de parámetros tiene como resultado un ligero desplazamiento hacia atrás. En primer lugar, esta nueva situación conduce a un aumento del error en la predicción y después, a medida que el robot tiene nuevas ocasiones de efectuar movimientos similares, este error comienza a mermar: el sistema ha descubierto «un nicho de progreso».

En segundo lugar, el robot explorará las diferentes maneras de retroceder. En el transcurso de esta exploración, es probable que descubra que algunas ligeras modificaciones de parámetros conduzcan a efectuar lo que un observador exterior llamaría movimientos de rotación: un nuevo conjunto de «nichos de progreso» que el robot podrá explotar cuando las competencias ligadas a la marcha hacia atrás hayan sido dominadas en lo esencial.

En general, se necesitan más de tres horas para que el algoritmo descubra varios conjuntos de parámetros que le permitan al robot caminar hacia adelante, hacia atrás, lateralmente o girar sobre sí mismo. En ningún momento el robot tiene como objetivo aprender a caminar. Guiado por la maximización de la reducción del error en la predicción, el robot desarrolla, no obstante, competencias versátiles para la locomoción. Además, lo que permite esta versatilidad es el carácter no específico de la arquitectura. Por ejemplo, un robot motivado para acercarse a un objeto no habría sin duda aprendido a caminar hacia atrás o a girar sobre sí mismo.

No era fácil prever el hecho de que caminar hacia atrás se muestre en esta trayectoria más fácil de descubrir que las otras competencias. Dada la estructura física de este robot y

el tipo de suelo sobre el que se desplazaba, los movimientos hacia atrás fueron el primer nicho descubierto. Para saber si este nicho constituye un «atractor» recurrente para este tipo de trayectoria, es preciso implementar un programa de experimentos sistemáticos haciendo variar eventualmente la morfología del robot. Así pues, es posible estudiar las consecuencias de desarrollo de un cambio corporal. Una pierna más larga o un dorso más flexible pueden cambiar profundamente los nichos de progreso y, por ende, las trayectorias exploradas por el núcleo. Desde el punto de vista metodológico, se trata de hacer del cuerpo una variable experimental de la cual se puedan estudiar los efectos de *todas las cosas en igualdad de condiciones*.

Estos experimentos robóticos abren naturalmente la vía a interrogantes experimentales en neurociencia: «¿se pueden identificar los circuitos neuronales como el equivalente de un núcleo?» (Kaplan y Oudeyer, 2007a); en psicología del desarrollo: «¿se pueden interpretar las secuencias de desarrollo de los niños como una sucesión de nichos de progreso?» (Kaplan y Oudeyer, 2007b), o en lingüística: «¿se puede reubicar el debate entre lo innato y lo adquirido en el aprendizaje de la lengua considerando el papel del cuerpo en este proceso?» (Kaplan et al., 2008).

EL CUERPO VARIABLE

Paradójicamente, la robótica, tan a menudo asociada a los comportamientos bruscos de cuerpos rígidos y fijos, propone en la actualidad un marco teórico y experimental para estudiar la influencia del cuerpo: permite pensar el cuerpo como una variable. Además de su interés metodológico, este enfoque abre la vía hacia una nueva

concepción del cuerpo, fluido y en continua redefinición. Pensar el cuerpo como una variable experimental nos permite pensar la variabilidad del cuerpo.

Más que una tecnología de los cuerpos animados, la robótica aparece entonces como la ciencia y la práctica de la encarnación. Al poner de relieve el concepto de núcleo estable y genérico, origen de la motricidad y de la exploración, y el concepto de envolturas corporales cambiantes, ofrece un nuevo marco explicativo para reconsiderar los problemas del desarrollo, de lo innato y lo adquirido.

En efecto ¿no es acaso el desarrollo una serie sucesiva de encarnaciones: no solo un cuerpo en perpetuo cambio, sino además espacios corporales que se suceden los unos a los otros? Cada nueva competencia adquirida cambia el espacio para explorar. La locomoción es un ejemplo demostrativo. Una vez dominada, le permite al niño el acceso a un nuevo espacio de búsqueda.

Pensar el cuerpo variable es pensar también una noción de cuerpo extendido capaz de incorporar los objetos que lo rodean como agenciamientos transitorios. En esta perspectiva, herramientas, instrumentos de música y vehículos son otras envolturas corporales para explorar, sin diferencia fundamental con su semejante biológico (Clark, 2004).

Por último, al pensar el cuerpo variable, ¿no se podría considerar el razonamiento simbólico y el pensamiento abstracto como otras formas de extensiones corporales? Si, como lo sugieren Lakoff y Núñez, existe una correspondencia directa entre la manipulación sensorio-motriz y los razonamientos matemáticos más abstractos

(Lakoff y Núñez, 2001), podemos considerar naturalmente que incluso los procesos mentales más «interiores» se pueden interpretar de manera pertinente como envolturas corporales para explorar. ¿No se podría interpretar el uso de la lengua como una encarnación corporal particular? (Oudeyer y Kaplan, 2006).

Como siempre fue el caso históricamente, la robótica plantea más que nunca problemas filosóficos importantes e introduce una metodología experimental para explorarlos. Nos permite pensarnos por diferencia. Al estudiar el desarrollo de los robots dotados de espacios corporales muy diferentes de los nuestros, permite pensar el papel del cuerpo en nuestro propio desarrollo. De esta manera, los robots no son tanto modelos como experiencias de pensamiento aparejado para intentar representar separaciones imposibles, como la del cuerpo y los procesos de animación o, más recientemente, la de un núcleo estable y de envolturas corporales fluidas.

BIBLIOGRAFÍA

- Baudrillard, J. (1978). *Le système des objets*, París, Gallimard. [(2004). *El sistema de los objetos*. México: siglo XXI].
- Brooks, R. (1999). *Cambrian Intelligence: The early history of the new AI*, Cambridge (Mass.). The MIT Press.
- Chapuis A., y Droz, E. (1949). *Les automates, figures artificielles d'hommes et d'animaux*. Neuchâtel: Éd. du Griffon.
- Clark, A. (2004). *Natural-Born Cyborgs: Minds, technologies, and the future of human intelligence*. Oxford: Oxford University Press.
- Cordeschi, R. (2002). *The discovery of the artificial. Behavior, mind and machines, before and beyond cybernetics*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.

- Edelman, J. (2007). Learning in and from brain-based devices. *Science*, 318, 1103-1105.
- Fodor, J. (1987). *Psychosemantics: The problem of meaning in the philosophy of the mind*. Cambridge (Mass.), The MIT Press.
- Grey Walter W. (1953). *The living brain*. London: Penguin.
- Haugeland, J. (1985). *Artificial intelligence: The very idea*. Cambridge (Mass.), The MIT Press.
- Kaplan, F. (2001). *La naissance d'une langue chez les robots*. París: Hermès.
- _____. (2005). *Les machines apprivoisées: comprendre les robots de loisir*. París: Vuibert.
- Kaplan, F. y Oudeyer, P-Y. (2006). Trends in epigenetic robotics: Atlas 2006, en F. Kaplan, P-Y., Oudeyer, A. Revel, P. Gaussier, J. Nadel, L. Berthouze, H. Kozima, C. Prince, C. Balkenius, *Proceedings of the Sixth International Workshop on Epigenetic Robotics: Modeling Cognitive Development in Robotic Systems*, LUCS 128.
- Kaplan, F. y Oudeyer, P-Y. (2007 a). Un robot motivé pour apprendre: le rôle des motivations intrinsèques dans le développement sensorimoteur. *Enfance*, 59(1), 46-58.
- _____. (2007 b). In search of the neural circuit of intrinsic motivation. *Frontiers in Neuroscience*, 1(1), 225-236.
- Kaplan, F., Oudeyer, P-Y. y Bergen, B. (2008). *Computational Models in the debate over language learnability. Infant and Child Development*, 17(1), 55-80.
- Lakoff, G., y Núñez, R. (2001). *Where Mathematics comes from: How the embodied mind brings Mathematics into being*. New York: Basic Books.
- Lungarella, M., Metta, G., Pfeifer R. y Sandini G. (2004). Developmental robotics: A survey. *Connection Science*, 15(4), 151-190.
- Merleau-Ponty M. (1942). *La structure du comportement*. París: PUF. [(1976). *La estructura del comportamiento*. Buenos Aires: Hachette].
- Oudeyer, P-Y. y Kaplan F. (2006). Discovering communication. *Connection Science*, 18(2), 189-206.
- Oudeyer, P-Y., Kaplan F. y Hafner, V. (2007). Intrinsic motivation systems for autonomous mental development. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 11(1), 265-286.
- Pfeifer, R. y Scheier, C. (1999). *Understanding intelligence*. Cambridge (Mass.), The MIT Press.
- Pfeifer R. y Bongard, J. (2007). *How the body shapes the way we think: A new view of intelligence*. Cambridge (Mass.), The MIT Press.
- Revel, A. y Nadel, J. (dir.) (2007). *L'enfant, le robot et l'ordinateur. Dossier d'Enfance*, 59(1).
- Steels, L. y Brooks, R. (1995). *Building situated embodied agents*. New Haven: Lawrence Erlbaum.
- Steels, L., Kaplan, F., McIntyre, A. y Van Looveren, J. (2002). Crucial factors in the origins of word-meaning. En A. Wray (ed.). *The Transition to Language*, Oxford. Oxford University Press.
- Turing, A. (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind*, 59, 433-460.
- Uexküll, J. von (1965). *Mondes animaux et monde humain*. París: Denoël.
- Varela, F., Thompson, E. y Rosch, E. (1993). *L'inscription corporelle de l'esprit: sciences cognitives et expérience humaine*. Paris: Le Seuil.