Pensar y calcular

Javier Blanco

> Hay así dos tipos de pensar, cada uno de los cuales es, a su vez y a su manera, justificado y necesario: el pensar calculador y la reflexión meditativa.
>
> Martin Heidegger

Reflexiones

Pensamos. Y pensamos que pensar es una de las características distintivas de los bípedos implumes, distinción que ha provocado un salto evolutivo incalculable. A veces tratamos de calcular distintas cosas, por ejemplo cuándo pudo haber comenzado esta capacidad de calcular, o cuántas conexiones neuronales hacen posible que en nuestro cerebro ocurran fenómenos como el pensamiento o el cálculo. Calcular aparece asociado a cierta cuantificación del mundo, a una tendencia a disponer de números que nos den datos concretos e indiscutibles, datos que nos ayuden a pensar. Ese pensamiento en tanto operación incierta, reflexiva, muchas veces circular, contrastaría con los complejos pero finalmente mecánicos métodos de cálculo. Un desafío del presente sería ver cómo y por qué el cálculo, siervo por naturaleza del pensamiento, se ha convertido en amo. Y cómo recuperar al pensamiento, hacerlo renacer en el desierto numérico, o constatar con Heidegger que aún no pensamos y pensar las condiciones para que el pensamiento pueda existir.

Nos preguntamos aquí si esta escisión entre pensamiento y cálculo responde a diferencias sustanciales o es una mera circunstancia, una consecuencia de la historia del pensamiento, en particular de cómo se piensa el cálculo.[1]

---

[1] Aunque no se calcula el pensamiento, so pena de reduccionismo.

Una de las propiedades del pensamiento que aparece como distintiva es la *reflexión*: es condición para pensar el poder pensar qué es pensar. La reflexión como propiedad o condición necesaria del pensamiento roza lo paradojal, produce cierta perplejidad para acceder al mundo, lo que lleva a muchos científicos a abjurar de ella, a dejarla a un costado para lógicos y diletantes. Aún sin agotarlo, es una propiedad característica del pensamiento y sería una de las diferencias más significativas con el mero cálculo.

Para Heidegger, el "pensamiento calculacional" no es consciente de que parte de un todo ya dado, cuyo misterio permanecería ajeno a los cálculos posibles de ser realizados con ese todo. Podríamos decir que habría una clausura epistémica operando como condición de posibilidad de cualquier cálculo. Sin duda estas operaciones son frecuentes en un sinnúmero de trabajos científicos o incluso de reflexiones epistemológicas. Pero cabe preguntarse si el cálculo solo puede aparecer de esa manera, formularnos en un provisorio pie de igualdad la pregunta ¿qué es calcular?

Lo que podemos llamar hoy cálculo mecanizado, o cálculo formal, surge como respuesta a ciertas antinomias que se producen en el seno de la matemática misma, en abstracciones[2] que son la base de, entre otras cosas, el análisis matemático,[3] es decir, la matemática que se usaba para resolver una cantidad de problemas prácticos y para fundamentar nuestra comprensión de los fenómenos físicos. Hilbert, a fines del siglo XIX, propone una solución teórico-metodológica para estas antinomias: solo aceptemos matemáticamente aquello que pueda ser demostrado usando métodos finitistas[4] a partir de un conjunto finito de axiomas. Si los axiomas no son contradictorios, entonces estos métodos preservarían esa propiedad no dando lugar a la posibilidad de paradojas o antinomias.

No vamos a reseñar aquí el devenir del programa de Hilbert. Baste indicar algunas de sus consecuencias conceptuales e históricas. Por un

---

[2] En particular la noción de conjunto. La antinomia más conocida es la *paradoja de Russell* que muestra que cierta noción intuitiva de conjunto es inconsistente.

[3] El análisis matemático es también llamado, curiosamente, cálculo. No es el sentido que le damos aquí a esa palabra.

[4] Podemos decir aquí, con Andrés Raggio, que pueda ser demostrado desde un punto de vista finito.

lado, llevó a una descripción precisa de lo que puede considerarse válido como cálculo, y, asociado a esto, a la creación de la meta-matemática, es decir del análisis conceptual de las propiedades de las teorías matemáticas usando métodos matemáticos. Formuló también lo que luego fue llamado el *Entscheidungs- problem,* el problema de la decisión: ¿será posible mecánicamente determinar si una fórmula lógica dada -que expresa alguna propiedad matemática- es verdadera o no? Esto implicaría que todos los problemas matemáticos podrían ser mecánicamente resolubles, es decir efectivamente calculables. Poincaré se burlaba de este problema, al cuál comparaba con una máquina de hacer teoremas como si fueran chorizos. Esta idea, como veremos, no era del todo equivocada, aunque parece encarnada en una concepción de máquina demasiado limitada.

La propuesta de Hilbert implica tomar como forma privilegiada de conocimiento al método axiomático formal. De manera quizá paradójica, dice Hilbert que este método permite que el conocimiento se vuelva consciente de sí: tiene ante sí todos los elementos de los cuales parte, todas las inferencias permitidas y con un simple cálculo lógico se obtienen los resultados correctos, finalmente uno puede tener una visión de totalidad sobre la trama de conceptos relacionados entre sí.

El programa de Hilbert dio lugar a una noción extendida de cálculo, a una perspectiva finita acerca de qué significa una demostración matemática y a la necesidad de caracterizar la noción de procedimiento efectivo. No reniega del trabajo especulativo, al contrario. Busca seguir con las empresas matemáticas más abstractas pero sobre bases más sólidas. Dice Hilbert: “nadie nos privará del paraíso creado por Cantor”[5] pero parece que sus esfuerzos se orientan, de manera casi dramática, a recuperar el paraíso perdido de la certeza matemática.

[5] Cantor desarrolló la teoría de los conjuntos transfinitos, mostrando una enorme diversidad de conjuntos infinitos. Esto significó un avance enorme en un concepto que preocupaba a matemáticos y filósofos desde los inicios de ambas disciplinas.

Beware of Bew

Se puede ubicar en la histórica Konisberg en 1931 el principal golpe al programa de Hilbert, al menos en su formulación más ambiciosa o más inocente. Un joven austríaco de veinticuatro años llamado Kurt Godel presenta, de manera relativamente elíptica en una mesa redonda de discusión sobre fundamentos de la matemática, un resultado meta-matemático cuyo impacto aún no está del todo dimensionado, tanto para el exclusivo mundo académico de los fundamentos de la matemática como para el pensamiento en general.

Del teorema de Godel se han dicho muchas cosas, pero no puede decirse que sea ambiguo, ya que presenta un resultado preciso y está meticulosa- mente demostrado. Este meta-teorema muestra de manera muy ingeniosa cómo en cualquier sistema axiomático (consistente) para la aritmética de los números naturales (con al menos suma y producto) habrá sentencias verdaderas e indemostrables. Un corolario importante de este teorema (llamado frecuentemente el segundo teorema de Godel) es que la consistencia de la aritmética no puede ser demostrada en la aritmética misma (corolario que puede extenderse a otros sistemas más potentes, como por ejemplo la teoría de conjuntos).

En diversos campos del pensamiento se suele citar este teorema para sostener posiciones diversas, generalmente de manera errónea. Una conclusión inmotivada es la de cierto relativismo aplicado por analogía a otras teorías. Dichas analogías no están justificadas, sobre todo dado que hay una cantidad de teorías matemáticas consistentes y completas (por ejemplo la geometría euclídea, los números reales, los números complejos). Si bien la incompletitud de la aritmética llegó como una sorpresa y tiene consecuencias importantísimas acerca de los sistemas axiomáticos en general, no es el caso de que todo sistema axiomático sea incompleto, incluso sistemas complejos (sin embargo, cualquiera que contenga la aritmética de los naturales como sub-sistema sí será incompleto).

Resulta además al menos curiosa la lectura relativista de un teorema cuyo autor considera una prueba de la existencia objetiva de los objetos matemáticos. Godel, un realista fuerte, plantea la existencia de los objetos matemáticos independientemente de su percepción o descripción teórica.

Esto no impide que la teoría misma, aún en su forma ordinaria, auto-limitada a un lenguaje de primer orden con un conjunto fijo de símbolos, admita un alto grado de reflexividad.

¿Cómo puede entenderse esta reflexividad y qué consecuencias tiene para el pensamiento en general?

Para responder esta pregunta, podemos revisar la demostración misma del teorema. Godel se inspira en la paradoja de Epiménides[6] -cambiando la idea de verdad por la de demostrabilidad- para construir una fórmula cuya indemostrabilidad sea demostrable. Para esto, usa una codificación numérica que permite que predicados de una lógica fija puedan "predicar" también propiedades de la propia lógica. En una construcción muy precisa, que recurre a las herramientas de la meta-matemática conocidas entonces, o incluso a inventar o recrear otras,[7] asigna a cada fórmula Ø posible del sistema formal de la aritmética un número natural único /Ø/ y luego construye predicados numéricos cuyo significado puede entenderse a partir de lo que dicen de las fórmulas asociadas por la codificación. Es importante entender bien que esos predicados son definidos en la lógica misma y se aplican a números. Son predicados complejos que no enuncian propiedades demasiado interesantes sobre los números mismos, pero que se vuelven claros cuando se los entiende como enunciando propiedades de las fórmulas codificadas en los números. Uno de los más complejos de estos predicados, y el que finalmente se usa para mostrar la incompletitud, es el predicado que Godel llama *Bew* por beweisbar,[8] que se aplica a números y que es verdadero si y solo si la fórmula asociada a ese número

[6] La anécdota es que Epiménindes, un cretense, habría afirmado que "todos los cretenses son mentirosos". No hay ninguna paradoja aquí. Aún asumiendo que eso signifique que los cretenses siempre mienten, lo único que puede deducirse es que la frase es mentira. Otras versiones sí son paradójicas, la más conocida es "Esta oración es falsa.". Si la oración es verdadera, entonces se contradiría con lo que dice y viceversa. En la aritmética no hay indexicales, por lo cual otro procedimiento es necesario para la auto-referencialidad. La noción de verdad tampoco es definible, como luego demostraría Tarski.

[7] Introduce las hoy llamadas *funciones recursivas primitivas* definidas al interior de la aritmética de Peano.

[8] Demostrable.

es demostrable. Luego, con un ingenioso procedimiento de diagonalización construye una fórmula G de la cual puede demostrarse una propiedad referida a su propia (in)demostrabilidad.

$$G \iff \neg Bew(\lceil G \rceil)$$

Esta fórmula G afirma, si consideramos la codificación mencionada, que ella misma no es demostrable. Si fuera falsa, el sistema no sería consistente (porque entonces sería demostrable). Luego, G es necesariamente verdades, pero entonces, como lo afirma la propiedad demostrada, no será demostrable.

Esta posibilidad de hacer que los predicados hablen de la propia lógica, parece contradecir la mayoría de los prejuicios acerca de qué significa un lenguaje formal, el cual solo podría referirse de manera específica a un universo preestablecido. Hay una ambivalencia en el predicado *Bew,* admite al menos dos maneras muy específicas de lectura, lo que hace que su significado no quede reducido a la semántica esperada en la teoría de números -o a cualquier modelo de esos axiomas-. Esta ambivalencia es la que permite entenderlo y usarlo. Es sin embargo claro que dicha ambivalencia no habilita cualquier forma de relativismo. Los sentidos para entender este predicado evidentemente son múltiples y dan lugar a una cantidad de problemas fundacionales, pero son sentidos objetivos y precisos.

La sentencia de Heidegger "la ciencia no piensa", parece significar que no es reflexiva ya que, vista como una teoría, establece de manera explícita la distinción entre el universo sobre el que se predican propiedades y el lenguaje que se refiere a ese universo. Esta división entre "sintaxis" y "semántica" permite una metodología suficientemente simple para desarrollar investigaciones empíricas. Pero deja afuera propiedades reflexivas. Esta distinción que termina de afianzarse y explicitarse a partir de los trabajos del Círculo de Viena,[9] pero que venía siendo la base de los trabajos científicos al menos desde Newton, estableció un marco operatorio fértil para la explicación científica cuya validez metodológica está fuera de discusión.

Los "problemas" reflexivos que aparecen aún en las teorías más elementales pueden ser ignorados como ocurre en la "ciencia normal" o

[9] Godel participa de este círculo, por lo que se lo suele asociar con sus posturas teóricas pese a encarnar, en varios sentidos, el reverso de estas.

pueden ponerse en foco, desarrollar herramientas teóricas que den cuenta de manera específica de dichos fenómenos. Algunos intentos fructíferos se han venido desarrollando en diversas áreas, entre otras en las ciencias formales,[10 11] en neurociencias,[12] psicología[13] y sociología.[14]

El pensamiento en su movimiento reflexivo no niega la posibilidad de conocimiento, pero efectivamente debilita una mirada simplista acerca de qué es conocer. La separación entre hechos y teorías propuesta por lo que podríamos llamar un realismo científico ingenuo dejaría de ser condición de posibilidad de la empresa científica. Un tal estado de cosas exigiría más de la ciencia de lo que hoy parece dispuesta a dar. Una ciencia que, al menos parcialmente, piense.

La decisión de Turing

Cinco años después, el matemático inglés Alan Turing resuelve negativamente el *Entscheidungsproblem* planteado por Hilbert. No es posible una máquina capaz de tomar una fórmula y determinar mecánicamente si es o no un teorema. Menos aún si es o no verdadera, algo que en este punto ya no es más equivalente. Para poder mostrar la imposibilidad Turing necesita caracterizar de manera precisa el significado de "proceso mecánico" o, adoptando una expresión más adecuada y que tomaremos como sinónimo "procedimiento efectivo". Para ello Turing establece cómo un ser humano puede actuar de manera mecánica o efectiva, siguiendo reglas precisas.

Una máquina de Turing es una entidad abstracta, formal, la cual se define a partir de un conjunto finito de estados, un alfabeto finito de sím-

---

[10] Smullyan. R., *Diagonalization and self-reference. Oxford logic guides*. Clarendon Press, Oxford, New York, 1994.
[11] Cantwell Smith, B., *Procedural Reflection in Programming Languages*. PhD thesis, Massachusetts Institute of Technology, Laboratory for Computer Science, 1982.
[12] Varela, F.J., Thompson, E., and Rosch, E. *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience*. Cognitive science: Philosophy, psychology. *MIT Press, 1993.*
[13] Watzlawick, P., Beavin Bavelas, J., and Jackson, D., *Pragmatics of human communication: a study of interactional patterns, pathologies, and paradoxes. New York, Norton, 1967.*
[14] Luhmann. N., *La sociedad de la sociedad.* Biblioteca Francisco Xavier Clavigero. Universidad Iberoamericana, 2007.

bolos de entrada y un conjunto de reglas elementales. Dichas reglas tienen en cuenta las limitaciones humanas, tanto perceptivas (solo puede verse un símbolo de entrada por vez) como de memoria. Los datos de entrada vienen en una cinta potencialmente infinita). Cada una de las reglas indica para cada estado y símbolo de entrada cómo se cambia el símbolo corriente de la cinta, si se mueve para la izquierda o la derecha y cuál será el nuevo estado. Una persona armada con lápiz y papel -llamada el computador- ejecutará estos pasos hasta que no haya ninguna regla aplicable. De no ocurrir esto, seguirá aplicando las reglas ad aeternum. Los lógicos de la época (Godel mismo, Church, el grupo de Hilbert) buscaban una noción que caracterizara lo efectivo. Todos acordaron que esta idea elemental de regla y de máquina abstracta era la mejor descripción posible de un proceso efectivo.

Las relaciones con el teorema de Godel son múltiples e interesantes. Mencionamos aquí solo una que es relevante para lo que sigue. Una máquina queda identificada por un conjunto de reglas. Este conjunto (podemos pensarlo hoy como un programa) puede codificarse con un número o también con una secuencia de símbolos de la cinta. En lugar de predicados, pueden ahora desarrollarse máquinas que tomen números que representan otras máquinas y, en lugar de predicar algo sobre ellas, se puede hacer algo a partir de ellas. Turing muestra dos resultados importantes con estas máquinas codificadas. El primero de estos resultados es la resolución negativa del *Entscheidungsproblem.* Una propiedad de las máquinas -expresable en aritmética- es la propiedad de *halting,* la cual enuncia que una máquina con su cinta de entrada, codificadas ambas en un número dado, se detendrá en algún momento. Con un argumento diagonal análogo al del teorema de Godel, Turing muestra que la propiedad de *halting* es indecidible, es decir, que no hay ninguna máquina capaz de tomar como entrada dichas codificaciones y decidir definitivamente si es cierta o no (cualquier máquina que intente hacer eso, o bien dará algún resultado erróneo, o bien también ella se perderá en alguna ejecución infinita).

La otra creación esencial que hace Turing es la de la máquina universal. Esta máquina, precursora teórica de las computadoras, es una máquina particular con su propio conjunto de reglas cuyo comportamiento consiste en reconocer una codificación de una máquina cualquiera en la cinta (un programa codificado), y comportarse como dicha máquina con el resto de la entrada. Dicho comportamiento no será exactamente igual, el computador (el humano que sigue las reglas) podría no darse cuenta de que está siguiendo el código de otra máquina. La simulación de ese comportamiento puede llevar más pasos y dependerá de la forma en que estén codificadas las reglas de la máquina huésped. Sin conocer esa codificación, pueden ejecutarse igualmente todas las reglas pese a no comprender qué hace esa máquina.

Como cualquier máquina de Turing, la máquina universal puede ser perfectamente explicada como un mecanismo elemental, en términos de Canguilhem, como una configuración de sólidos en movimiento cuyo movimiento no deroga la configuración,[15] pero en otro sentido la finalidad de una máquina universal se vuelve difícil de comprender ya que consiste en copiar la finalidad de cualquier otra máquina de Turing. Por otra parte, la imposibilidad de resolver de manera mecánica el *halting* problem lleva a que su comportamiento no pueda predecirse pese a ser determinístico; que lo mejor que puede hacerse es llevar adelante la ejecución de la máquina para ese caso particular y ver qué ocurre, teniendo que asumir que algunas veces no ocurrirá nada visible, la máquina quedará procesando indefinidamente. Podemos explicar mecánicamente cada paso del comportamiento de esta máquina sin por ello poder saber cómo se comportará globalmente. La imposibilidad de predecir no es solo un estado de nuestras capacidades epistémicas que podría cambiar en el futuro, sino que tiene una demostración matemática específica y clara que muestra que no hay métodos para poder determinar cuál va a ser el comportamiento de una máquina universal, aún conociéndola a la perfección y conociendo su entrada. Esto por primera vez pone límites concretos a lo mecanizable, aunque esos límites están bastante más lejos de lo que suponía, por ejemplo, Descartes.

Así como Godel muestra que la aritmética formalizada tiene propiedades reflexivas importantes, los resultados de Turing dan lugar a

[15] Canguilhem, G. *El conocimiento de la vida,* Barcelona: Anagrama, 1976.

máquinas capaces de cambiar, a partir de la cinta de entrada[16] la manera en que interpretarán las propias reglas. Y también la manera en que cambiarán la interpretación a partir de lo que ingrese, y así sin límites de los niveles de complejidad. Como corolario de estas ideas, von Neumann mostró un cálculo de máquinas que producen otras máquinas, que pueden auto-reproducirse o incluso generar máquinas más complejas que sí mismas, todo mecánicamente, disipando otro de los prejuicios del mecanicismo moderno. Cálculo y reflexión no se identifican, pero se necesitan mutuamente y comparten una serie de propiedades y de problemas.

El espíritu es un hueso: ¿qué es pensar, desde Moon-watcher a HAL?

En una de las escenas más citadas de *2001: A Space Odyssey,* Moon-watcher, un homínido frustrado y hambriento juega azarosamente con un hueso, empieza a golpear otros, a descubrir su potencia, a anticipar otros usos. Previamente había estado en contacto con un monolito opaco, indescifrable, caja negra de imposible apertura, interpelación al inicio del largo proceso de evolución técnica y humana, de la transformación de nuestras herramientas. Millones de años resumidos, como nos recuerda Bruno Latour, en una única y hermosa escena: luego de usar la recientemente adquirida herramienta para romperle la cabeza a un enemigo y apoderarse del estanque, Moon-watcher arroja el hueso al aire y los miles de milenios se condensan en unos segundos transformando ese hueso en una estación espacial orbitando la Tierra.

En este punto crítico elige Kubrick seguir con la historia, retomarla desde la otra punta de un proceso evolutivo que puede verse en la disminución capilar de los personajes, pero sobre todo en la tecnología que contrasta con la de escenas de minutos antes: dos momentos que resumen lo que Stiegler[17] llamó la epifilogénesis, la evolución de la vida

[16] Que otros llaman el universo, parafraseando a Borges.
[17] Stiegler, B., *La Technique et le temps*, tome 1: La Faute d'Épiméthée, 1994.

Pensar y calcular

Javier Blanco

> Hay así dos tipos de pensar, cada uno de los cuales es, a su vez y a su manera, justificado y necesario: el pensar calculador y la reflexión meditativa.
>
> Martin Heidegger

Reflexiones

Pensamos. Y pensamos que pensar es una de las características distintivas de los bípedos implumes, distinción que ha provocado un salto evolutivo incalculable. A veces tratamos de calcular distintas cosas, por ejemplo cuándo pudo haber comenzado esta capacidad de calcular, o cuántas conexiones neuronales hacen posible que en nuestro cerebro ocurran fenómenos como el pensamiento o el cálculo. Calcular aparece asociado a cierta cuantificación del mundo, a una tendencia a disponer de números que nos den datos concretos e indiscutibles, datos que nos ayuden a pensar. Ese pensamiento en tanto operación incierta, reflexiva, muchas veces circular, contrastaría con los complejos pero finalmente mecánicos métodos de cálculo. Un desafío del presente sería ver cómo y por qué el cálculo, siervo por naturaleza del pensamiento, se ha convertido en amo. Y cómo recuperar al pensamiento, hacerlo renacer en el desierto numérico, o constatar con Heidegger que aún no pensamos y pensar las condiciones para que el pensamiento pueda existir.

Nos preguntamos aquí si esta escisión entre pensamiento y cálculo responde a diferencias sustanciales o es una mera circunstancia, una consecuencia de la historia del pensamiento, en particular de cómo se piensa el cálculo.[1]

[1] Aunque no se calcula el pensamiento, so pena de reduccionismo.

van, herramientas sofisticadas cuya comprensión empezaría a excedernos. Los creadores de HAL ya no sabrían quien es HAL, ya no podrían dimensionar su evolución. ¿Alguna vez le habían preguntado a HAL algo análogo? ¿La pregunta habilita un proceso efectivamente reflexivo, o solo busca en una base de datos de respuestas?

> ... I am putting myself to the fullest possible use which is all, I think, that any conscious entity can ever hope to do.

Podemos considerar también la paráfrasis que hace Hubert Dreyfus[18] de esta cita, quizá la respuesta en alguna de las múltiples versiones del script- libro que circula alrededor de esta historia. Le hace decir a HAL:

> - I am using all my capacities to the maximum. What more could a rational entity desire?

La resonancia de esta respuesta es múltiple, aunque solemos quedar atrapados en la genialidad de la contra-pregunta, una pregunta que podría estar esperando una respuesta. Una respuesta que podría haber cambiado a HAL significativamente, inscribirse en su cuerpo y dar lugar a un nuevo proceso reflexivo, una revisión de su código en clave de deseo. Sin embargo, hay algo aún más inquietante en la primera parte: podemos pensar que HAL aprendió ya a usar las metáforas (a pensar con metáforas), ya que no es posible que esté usando sus capacidades al máximo. O asume que "máximo" es un rango relativamente amplio y cuando habla de sus "capacidades" se refiere a un conjunto predeterminado y acotado. Y tampoco podría saberlo, el mismo proceso de saber le implicaría más capacidades.

HAL tiene un doble en la tierra, SAL, quien toma decisiones diferentes que HAL frente a la simulación de la supuesta falla de una antena. ¿Qué significa aquí que sea un doble? HAL tiene un cuerpo, un sistema

[18] Dreyfus, H., *Heidegger on Gaining a Free Relation to Technology.*

perceptivo que recibe información de las cercanías de Júpiter, de la interacción con dos humanos, también es influido por las radiaciones que llegan a su CPU, por las diferencias en la alimentación eléctrica, etc. Ni HAL ni SAL han sido nunca apagados, no conocen el sueño y sus prolongadas trayectorias los vuelve posiblemente irrepetibles. Podrían seguramente copiarse en un punto preciso de su devenir, quizá SAL sea eso, una copia más o menos al día de HAL, del programa y de su estado. Suponemos que HAL va actualizando esa información continuamente, enviando los datos que recibe, las modificaciones que sus programas van sufriendo, descripciones de sus nuevos estados. ¿Sería posible que todo eso se transmitiera desde Júpiter con la precisión necesaria (incluido el momento preciso en que cada evento es percibido por HAL, en que los cambios de estado van ocurriendo en tiempo real)? No es posible en 2014, no lo era en 2001.

El final de la película no está a la altura del resto. HAL parece percibir la relación con sus habitantes como parasitaria, nuevos datos amenazan su estado, una conversación leída en los labios de Bowman y Poole lleva a un cambio. Recordemos que en unos minutos de su vida puede procesar una cantidad inimaginable de información, pero cuánto puede reflexionar sobre eso y cómo, cuánto puede verse a sí mismo en el nuevo contexto, cuánto puede cambiar la manera en que interpretará las propias reglas que lo habitan, ni HAL mismo puede pensarlo. O calcularlo.

HAL mata y muere. Sí, también muere. Alguna vez se lo podrá reiniciar, pero muchas huellas del proceso de diez años de nutridas experiencias habrán desaparecido. Bowman sin HAL se apresta a abrir la caja negra. Ni él ni el espectador entienden demasiado. Quizá esa caja tenía algún imposible tecnológico, la solución del *halting* problem codificada en su estructura, o un oráculo para el *Entscheidungsproblem.* Algo que de haberlo analizado junto a HAL podría efectivamente -en todo el sentido de esta palabra- cambiar lo que podemos conocer, dar ese salto evolutivo. Presa de un humanismo incompleto, Kubrick nos deja con una sensación de artificio, de trampa final, de inconsecuencia.

Divergencias informacionales

Una reacción demasiado común es la de plantearnos una relación de sometimiento de las máquinas, de dominio. Para no dejarnos dominar por las máquinas, somos nosotros quienes tendríamos que dominarlas a ellas. Parece esta una noción de sentido común, las máquinas estarían para eso, para servirnos.[19] Las "rebeliones" de máquinas planteadas por la ciencia ficción (no solo HAL, sino también la Matrix y sus agentes en *Matrix,* Vicky en *I Robot,* Skynet en *Terminator,* etc.) expresan de manera clara estos temores.[20] Curiosamente es esta posición la que suele llevar a una incomprensión del funcionamiento (no importa cómo lo haga en tanto haga lo que yo diga) que aliena la operación técnica, produce frustración y un uso subóptimo de las máquinas.

Uno de los puntos de partida teóricos de Simondon fue el de la cibernética, ese espacio interdisciplinario en el que entre 1946 y 1953 aparecieron importantes reflexiones acerca de filosofía, matemática, biología, ciencias cognitivas, antropología y sociología, que abrieron las fronteras disciplinares y dieron lugar a nuevas áreas de investigación. Uno de los conceptos centrales que circuló en este espacio es el de información, significante hoy ubicuo, indispensable para pensar un necesario nuevo materialismo. Las propuestas de cuantificación de la información de Shannon (1948) y Wiener (1950) han sido constantemente criticadas por ser consideradas reduccionistas, por no dar cuenta de otros múltiples aspectos de esta noción, sobre todo aspectos semánticos, aunque frecuentemente estas críticas no están bien fundadas y exigen a la llamada

[19] "Es difícil liberarse transfiriendo la esclavitud a otros seres, sean hombres, animales o máquinas; reinar sobre un pueblo de máquinas que convierte en siervo al mundo entero sigue siendo reinar, y todo reino supone la aceptación de esquemas de servidumbre." Simondon, G. *El modo de existencia de los objetos técnicos.* Buenos Aires: Prometeo, 2008.

[20] Un ejemplo histórico aunque ambivalente: La rebelión de los ludditas contra las máquinas a principios del siglo XIX terminó con un juicio falaz y múltiples ejecuciones de rebeldes que dejan una memoria difusa de hechos (in)comprensibles y un nuevo vocablo en el léxico.

teoría matemática de la información propiedades que intencionalmente no posee. Más interesante es la crítica de Simondon, quien propone una idea de información como operación que pretende subsumir a la idea subyacente en la teoría matemática como un caso particular. Para Simondon la in-formación aparece en los procesos de individuación, es la variación de las formas, es la operación que da lugar a otras formas, que interviene en la génesis de las formas sin por eso ser ella misma una forma de orden superior.

Pese a la incuestionable cercanía temática, la teoría de la computación iniciada por Turing contrasta con la cibernética para quienes las máquinas ideales eran las autorreguladas, las que exhibían el consabido feedback negativo.[21] La idea de computación de Turing se centra en las máquinas programables, en artefactos versátiles que pueden adoptar comportamientos radicalmente diferentes de acuerdo al programa que se les provea. O por las capacidades reflexivas del programa. O por las capacidades metareflexivas que desarrollan formas de reflexión específicas.

La perfección técnica no se alcanza, para Simondon, a partir de la automatización sino incrementando el margen de indeterminación de las máquinas. Es ese margen de indeterminación el que permite a las máquinas recibir información del exterior y variar su forma a partir de ella. El ser viviente tendría la particularidad de que esa información no provendría solo de su exterior sino también de su propio devenir, de sus propias fases. La diferencia puede también ser gradual.

El futuro de las relaciones

Lo que está en juego aquí es qué tipo de relación constituimos con las máquinas. La manera en que evolucionamos está asociada a las herramientas que fuimos construyendo, no podríamos separar eso de lo que somos. Las máquinas, los individuos técnicos, son las creaciones más sofisticadas y

[21] La idea de *feedback* consiste en que el sistema toma como entrada su propia salida. El feedback negativo implica que se usa esa entrada para corregir, para tender a anular las desviaciones producidas, generando un proceso de auto-regulación.

determinantes, portadoras de herramientas y mediadoras de nuestra interacción con el mundo. Quizá por esa razón nuestra relación con ellas es complicada, ambivalente. De entre ellas, las máquinas informacionales nos presentan los desafíos más complejos y las posibilidades más variadas. También son las que admiten una variabilidad más grande en su relación con los humanos: alcanzamos diferentes grados de comprensión de ellas y, consecuentemente, nuestra relación con ellas es variable. Desde que las computadoras se volvieron ubicuas en la vida cotidiana y en el ámbito laboral, esa potencial ambivalencia se ha ido actualizando de maneras disímiles, sirviendo muchas veces para el desarrollo de la creatividad y las habilidades cognitivas, y otras para el control de los trabajadores o la obligación de realizar tareas monótonas e incomprensibles, reproducción miniaturizada de la máquina-Moloch de Metrópolis, con operarios sometidos a sus caprichos mecánicos. Ver a la computadora como amenaza es una de las consecuencias de estas relaciones disfuncionales, de una concepción anti-tecnológica derivada de una incomprensión de cuánto de humano hay en esos diseños, de cómo realizan uno de los mejores acoplamientos entre cálculo y pensamiento.

Sin haber leído nunca a Simondon, Dijkstra nos muestra como las computadoras implican un desafío intelectual y cultural que trasciende incluso el nivel de sus innumerables aplicaciones. Su efecto más importante para nuestra civilización estaría aún por verse. No hay una relación de competencia, ni siquiera de similitud, sino una relación compleja y mutuamente enriquecedora. La programación requiere un uso creativo de la lógica, una manipulación humana de símbolos que lejos está de ser una tarea repetitiva, o, en un sentido limitado de la palabra, mecánica.

> Now back to the programmer's job: he has to derive that formula, he has to derive that program. We know of only one reliable way of doing that, viz. by means of symbol manipulation.
> And now the circle is closed: we construct our mechanical symbol manipulators by means of human symbol manipulation. Hence, computing science is -and will always be- concerned with the interplay between mechanized and human symbol manipulation, usually referred to as "comput-

ing” and “programming” respectively.[22]

Gracias a las computadoras podemos los humanos hacer cosas que eran impensadas, como con el hueso de Moon-watcher cambiamos lo que podemos hacer y cambiamos lo que somos. Podemos hoy programar máquinas que nos enseñan como programar, podemos pensar mecanismos que extienden capacidades que nos ayudan a pensar. No es necesario para esto ninguna similitud específica con las máquinas, al contrario. Incluso el proyecto de inteligencia artificial parece un proyecto mal concebido. Se pregunta Dijkstra por qué simularíamos o imitaríamos con las computadoras la inteligencia humana cuando estas puedes hacer cosas bastante mejores.[23]

Un humanismo que ignora la técnica, o que la ubica en el lugar de lo instrumental o de la amenaza, es un humanismo trunco, incapaz de dar cuenta de lo humano. Lo específicamente humano de los objetos técnicos, según Simondon, se encuentra precisamente en los esquemas puros de su funciona- miento.[24]

Una relación que reconozca las especificidades de los mecanismos progra- mables -y dé cuenta de los procesos reflexivos al interior de dichos mecanismos- y las complejidades de la programación como actividad guiada por metas formales y sostenida por un (meta)cálculo, parece un buen punto de partida para acercar pensamiento y cálculo, para desarrollar, al menos, los vínculos entre pensamiento efectivo y cálculo reflexivo.

[22] On the cruelty of really teaching computing science. *EWD.1036. Austin, 1988.*

[23] “The effort of using machines to mimic the human mind has always struck me as rather silly: I’d rather use them to mimic something better”. *op. cit.*

[24] Simondon, G., *El modo de existencia de los objetos técnicos*. Buenos Aires: Prometeo, 2008.