

La arqueología de la innovación: enseñanzas para nuestro tiempo

Sander van der Leeuw

Arizona State University
y Santa Fe Institute

INTRODUCCIÓN

En este artículo he tratado de reunir diversas líneas de trabajo que he llevado a cabo durante los treinta últimos años como arqueólogo y como científico social generalista preocupado por la historia de la evolución humana a muy largo plazo, y por algunas de sus implicaciones para los retos que nos plantea el siglo XXI. El resultado representa una visión muy personal que difiere notablemente de las aportaciones de numerosos colegas en el sentido de que desde el principio planteo que lo que caracteriza a las sociedades y al comportamiento de los seres humanos modernos (*Homo sapiens sapiens*)¹ es el procesamiento de la información, que incluye no solo aprender, sino también aprender a aprender (aprendizaje de segundo orden; Bateson, 1972), así como la categorización, la abstracción, la organización (jerárquica) y otros fenómenos relacionados. Es más, los seres humanos modernos se comunican entre sí haciendo uso de distintos tipos de medios simbólicos y tienen capacidad para transformar su entorno natural y material de maneras muy diferentes y en diversas escalas espaciales y temporales. En consecuencia, este artículo diverge del pensamiento darwiniano habitual sobre la evolución humana basado en la población (por ejemplo, Boyd y Richerson, 1985, etc.) en el sentido de que, al hablar de periodos

posteriores (Lane *et al.*, 2009), se centra en el *pensamiento de la organización*, esto es, en estudiar cómo evoluciona la manera en que los seres humanos procesan la información, se organizan y transforman el mundo que los rodea.

La forma que ha adoptado este artículo ha sido necesariamente la de un resumen introductorio en torno a muchas de las disputas subyacentes sobre la trayectoria de la evolución humana y a los aspectos de esa historia particularmente relevantes para el presente y para el futuro. En la medida de lo posible, he tratado de hacer referencia a artículos y otras publicaciones que desarrollan mi línea de pensamiento principal. Sin embargo, otras referencias las he reducido al mínimo para no cargar el debate con las numerosas dudas y discusiones que se han producido en la comunidad antropológica y arqueológica acerca del periodo de gestación. De este modo, he podido reservar espacio para señalar algunas de las implicaciones que posee este planteamiento para los desafíos del presente y, en particular, la contradicción entre dos palabras actualmente en boga: *innovación* y *sostenibilidad*.

La historia evolutiva de la especie humana y, en concreto, su capacidad cognitiva y organizativa, se entiende aquí como compuesta de dos partes, una esencialmente biológica (el crecimiento

¹ La distinción entre el ser humano (*Homo sapiens*) y el ser humano moderno (*Homo sapiens sapiens*) a la que se hace aquí referencia sigue la costumbre actual entre los paleoantropólogos. Se calcula que la transición se produjo en torno a 200.000 años AP.

de nuestro cerebro y su capacidad cognitiva) y otra esencialmente cultural (aprender a explotar la plena capacidad del cerebro). De ahí que este trabajo se divida en tres grandes secciones dedicadas respectivamente a 1. la evolución biológica, 2. la evolución cultural y 3. las implicaciones que tiene la historia de la especie para los retos de hoy día.

Cabe destacar que cada una de estas tres secciones se basa en ideas y conocimientos procedentes de distintas disciplinas y subdisciplinas. La primera parte deriva de las disputas de la biología y la psicología evolutivas, y por tanto se basa en una epistemología y en argumentos que provienen esencialmente de las ciencias de la vida, así como en datos de la etología, de la paleoantropología y de la ciencia cognitiva. Trata de reconstruir la evolución de la especie humana hasta llevarnos a sus capacidades actuales comparando primates vivos, restos fósiles de seres humanos (así como artefactos hechos por ellos) en distintas etapas de su desarrollo y las características físicas y conductuales de los seres humanos modernos. Esto genera un mosaico de datos e ideas cuyo principal interés, en la medida en que encajan coherentemente, radica en el hecho de que plantea nuevos interrogantes y proporciona una base para la argumentación de la segunda parte.

Por otro lado, dicha sección proviene de argumentos procedentes de la arqueología y de la historia basados en las epistemologías de las humanidades y de las ciencias sociales respectivamente, así como de datos e ideas surgidas de fuentes arqueológicas, históricas escritas y observacionales modernas. Trata de esbozar el desarrollo de la organización social desde los pequeños grupos itinerantes de cazadores-recolectores-pescadores, pasando por los pueblos, los sistemas urbanos y los imperios, hasta la sociedad globalizada de nuestros días, haciendo hincapié en el papel que la energía y la información desempeñan en ese desarrollo y en cómo lo hacen. De este modo, utilizaré las limitaciones y las oportunidades que conlleva el carácter

biosocial de nuestra especie para explicar fenómenos observados en la historia humana, formulando la explicación en términos sistémicos que muchos arqueólogos y la mayoría de los historiadores tendrían dificultad en reconocer. Además, para empeorar las cosas, aplicaré un grado de generalización que trasciende al que suele emplearse en estas disciplinas.

Mi justificación para hacerlo se basa en que la mayoría de la investigación transdisciplinar —si no toda— debe tratar de «alterar constructivamente a los profesionales de todas las disciplinas involucradas» con el fin de plantear nuevos interrogantes y problemas para su estudio por parte de las comunidades que practican dichas disciplinas y por otras personas, con el fin de *ampliar las fronteras* de nuestros conocimientos e ideas. La dirección en la que he intentado ampliar esas fronteras proviene del hecho de que este artículo trata de aportar algo al debate actual sobre la sostenibilidad.

En la tercera sección del artículo he procurado esbozar cómo la naturaleza biosocial de los seres humanos y el curso de la historia de las especies durante los últimos 12.000-15.000 años han conspirado para crear el dilema al que hoy nos enfrentamos: ¿cómo utilizar la capacidad humana para innovar, cuyo uso incontrolado durante los tres últimos siglos ha dado lugar a la insostenibilidad de nuestro modo de vida actual, con el fin de llegar a una sociedad más sostenible? La respuesta breve a esta pregunta es clara: debemos utilizar nuestra capacidad para innovar de otra manera. Esta sección del artículo finaliza, por tanto, con algunas propuestas derivadas de la observación de una debilidad fundamental de nuestro pensamiento científico actual: la capacidad de extraer enseñanzas del pasado para el futuro.

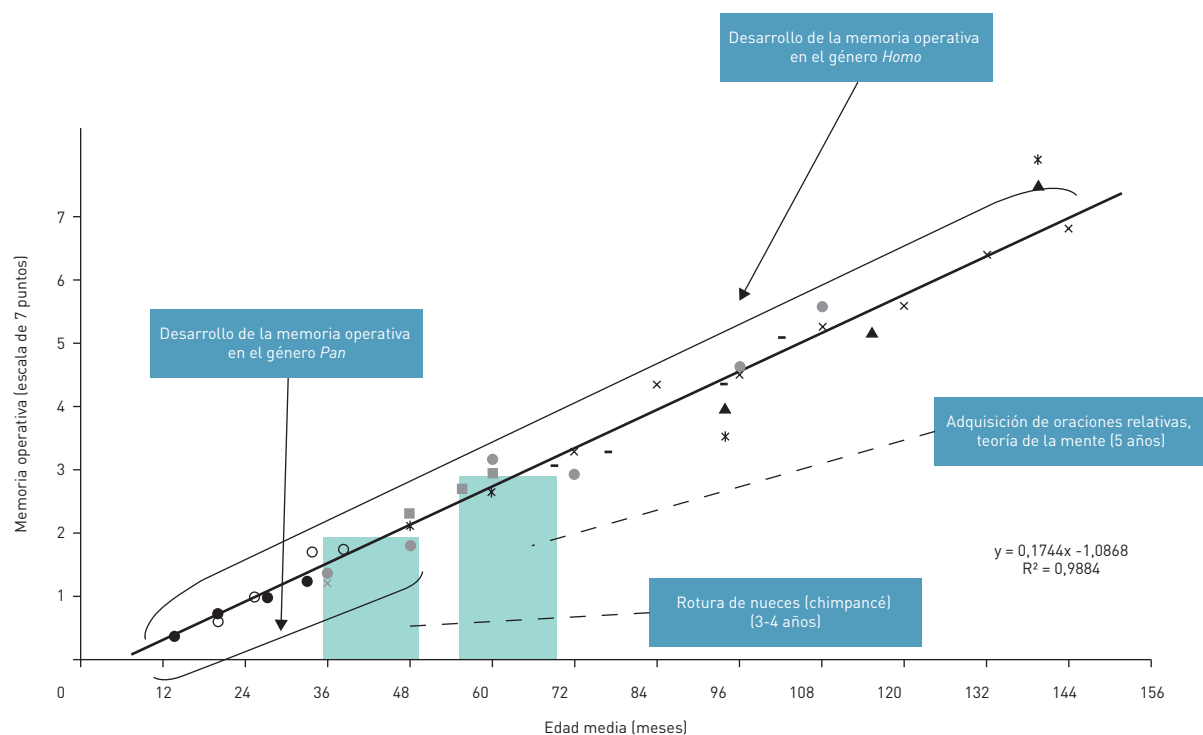
LA EVOLUCIÓN DEL CEREBRO HUMANO

La primera parte del artículo hace referencia al desarrollo físico del cerebro humano y a su capacidad para manejar un número cada vez mayor de fuentes de información simultáneas.

Aquí, la idea principal consiste en la evolución de la memoria operativa a corto plazo (en adelante, MOCP), que determina cuántas fuentes de información distintas se pueden procesar juntas para seguir una línea concreta de pensamiento o de acción. Existen diversas formas de reconstruir esta evolución (Read y Van der Leeuw, 2008, 2009). Indirectamente, se puede interpolar comparando la MOCP de chimpancés (nuestro antepasado más próximo en el árbol evolutivo que ha dado lugar al ser humano moderno) con la de los seres humanos actuales. El 75% de los chimpancés son capaces de combinar tres elementos (un yunque, una nuez y un percutor lítico) en la acción de romper una nuez, lo cual nos lleva a pensar que la MOCP de los

chimpancés es 2 ± 1 , porque el 25% no consigue dominarla. Por otra parte, los experimentos que estudian distintas formas de calcular la capacidad humana para combinar fuentes de información parecen apuntar a una MOCP de 7 ± 2 en el ser humano moderno. Esta diferencia coincide sutilmente con el hecho de que los chimpancés llegan a la adolescencia al cabo de tres o cuatro años, y el ser humano moderno a la edad de 13-14 años. Por tanto, se considera que el desarrollo de la MOCP tiene lugar antes de la adolescencia en ambas especies, y que la diferencia en la edad a la que se alcanza la adolescencia explica la diferencia en cuanto a capacidad de la MOCP (gráfico 1, Read y Van der Leeuw, 2008: 1960).

Gráfico 1. Relación entre capacidad cognitiva y desarrollo infantil en el género *Pan* y en el *Homo sapiens sapiens*. La línea de tendencia se proyecta desde la regresión de la respuesta tiempo-retraso (Diamond y Doar, 1989) en la primera infancia. Datos reescalados para cada conjunto de datos con el fin de que la línea de tendencia pase por la media de dicho conjunto de datos. Memoria operativa escalada a MOCP - 7 a los 144 meses. Las barras verticales difuminadas comparan la edad de romper nueces entre los chimpancés con la de adquisición de las oraciones relativas y la conceptualización de la teoría de la mente en el ser humano. (Los datos de la MOCP están representados aquí por los símbolos siguientes: • - imitación (Alp, 1994); + - retraso temporal (Diamond y Doar, 1989); * - recuerdo de números (Siegel y Ryan, 1989); x - puntuación total en lenguaje (Johnson *et al.*, 1989); x - oraciones relativas (Corrêa, 1995); ■ - etiqueta de recuento, amplitud (Carlson *et al.*, 2002); o - retest a los 6 meses (Alp, 1989); ▲ - recuerdo del mundo (Siegel y Ryan, 1989); ● - recuerdo espacial (Kemps *et al.*, 2000); ◆ - oraciones relativas (Kidd y Bavin, 2002); - - memoria operativa espacial (Luciana y Nelson, 1998); — - retraso de tiempo lineal (Diamond y Doar, 1989)).



Otro aspecto que corrobora el desarrollo de la MOCP son las mediciones de la encefalización: la evolución de la relación entre el peso del cerebro y el peso corporal de los antepasados del ser humano moderno a lo largo del tiempo. La evolución de estas proporciones se basa en los restos óseos de cada una de las subespecies encontradas y, como muestra la figura 1, se corresponde exactamente con la evolución de la MOCP tal y como se ha establecido a partir del modo y del grado en el que estos antepasados fueron capaces de modelar instrumentos de piedra (Read y Van der Leeuw, 2008: 164).

Aunque ambos enfoques dependen de hecho de la extrapolación y, por tanto, no proporcionan ninguna prueba *directa* para nuestra tesis, el estudio de la manera y del dominio adquirido a la hora de crear herramientas de piedra por parte de las distintas subespecies y variantes que han precedido al ser humano moderno sí constituye una evidencia directa, según el resumen que aparece en el cuadro 1. Dicho cuadro relaciona la evolución de las acciones en la fabricación de útiles de piedra con los conceptos que definen, con el número de dimensiones y con la MOCP involucrada en los instrumentos de piedra que proporcionan ejemplos de cada etapa.

Veamos un ejemplo para explicar el grado de desarrollo en cuestión: el dominio de la conceptualización tridimensional y de la manufactura de utensilios de piedra (véase el gráfico 2 a-d) (Pigeot, 1991; Van der Leeuw, 2000). Las primeras herramientas son básicamente guijarros de cuya superficie (generalmente en la zona más puntiaguda) se ha desgajado una lasca para obtener un borde más afilado (gráfico 2a). Extraer esa lasca requiere tres elementos de información: la futura herramienta de la que se va a desgajar la lasca, el percutor con el que se va a realizar y la necesidad de mantener entre ambos un ángulo inferior a 90° en el momento del golpe. Por tanto, he aquí una prueba de MOCP 3. En la etapa siguiente, esta acción —el lascado— se repite a lo largo del borde del guijarro, lo que requiere controlar las tres variables anteriores

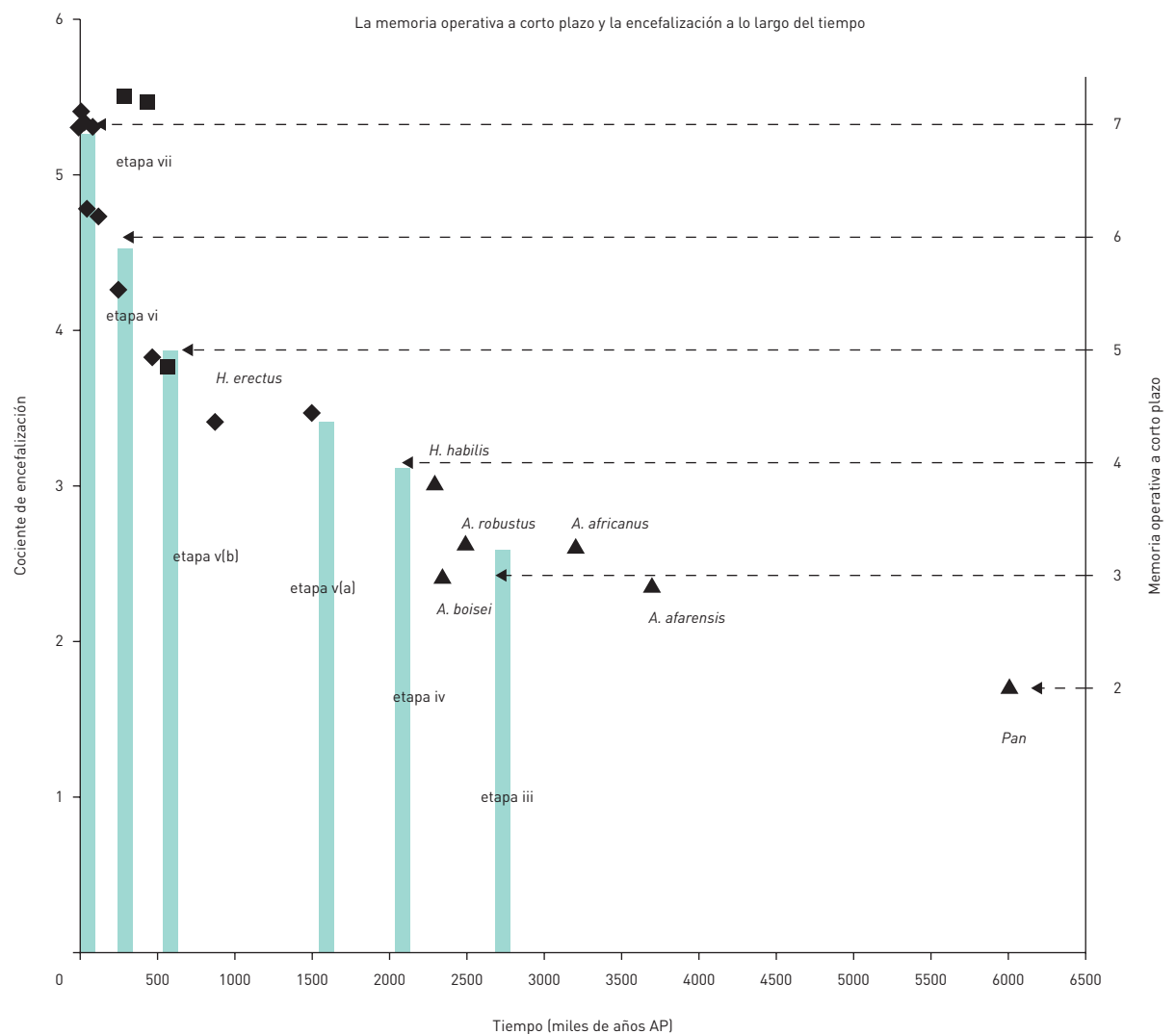
y una más: la sucesión de golpes en línea. Así pues, la MOCP es 4 (gráfico 2b). A continuación, se completa el borde: el tallista va rodeando todo el contorno del guijarro hasta que la última muesca queda adyacente a la primera. Esta etapa no es completamente nueva en sí, de manera que la hemos denominado MOCP 4,5. Sin embargo, una vez concebido el círculo cerrado para definir una superficie, el tallista tiene dos opciones: definir una superficie creando un borde a base de percutirla alrededor y después extraer el núcleo, o bien hacerlo a la inversa, extrayendo primero el núcleo y después perfeccionando el borde. La reversibilidad conceptual muestra que el tallista ya ha integrado cinco dimensiones y que su MOCP es de 5 (gráfico 2c). La etapa siguiente desarrolla de nuevo la secuencialidad, pero de manera más compleja. En la denominada técnica Levallois, la realización de un artefacto sirve al mismo tiempo de preparación para el siguiente, ya que el guijarro se divide conceptualmente en dos partes a lo largo de sus bordes. Por último, el tallista trabaja completamente en tres dimensiones, preparando dos superficies y después extrayendo lascas de la tercera. En esta etapa de MOCP 7 (gráfico 2d), por primera vez los tallistas no solo son capaces de trabajar sobre un fragmento de piedra tridimensional, sino también de concebirlo como tal y adaptar sus técnicas de trabajo en consecuencia, reduciendo considerablemente las pérdidas y aumentando la eficiencia.

Si examinamos atentamente los utensilios y otros vestigios de la existencia humana fechados alrededor del año 50.000 AP, veremos que, después de unos dos millones de años, los seres que vivieron en aquella época eran capaces de (Van der Leeuw, 2000):

- Distinguir entre realidad y concepto.
- Categorizar en función de semejanzas y diferencias.
- Mentalmente, hacer un ejercicio de reimaginación, de prealimentación y de retroceso en el tiempo (por ejemplo, invertir una secuencia causal observada para concluir a

- partir del resultado qué tipo de acción pudo llevar a ella).
- Recordar y representar secuencias de acciones, como bucles de control, y concebir secuencias de este tipo que se puedan incorporar como alternativas en las secuencias de fabricación.
 - Crear jerarquías básicas, como por ejemplo, de punto-línea-superficie-volumen, o jerarquías de tamaño o inclusión.
 - Concebir relaciones entre un todo y las partes que lo componen (incluida la inversión de dichas relaciones).
 - Retener en la mente secuencias complejas de acciones, como por ejemplo, las distintas etapas de un proceso de producción.
 - Representar un objeto empleando dimensiones reducidas (por ejemplo, pinturas rupestres sobre escenas de la vida real).

Gráfico 2. Gráfico que muestra cálculos del cociente de encefalización (CE) basados en fósiles de homínidos y en el género *Pan* (chimpancés). Los primeros fósiles de homínidos se indican mediante su taxón. Cada punto de datos refleja la media de los fósiles de homínidos correspondientes a este periodo. La altura de las barras verticales difuminadas muestra el CE de los homínidos correspondiente a los datos sobre la aparición de la etapa representada mediante dicha barra. El eje vertical derecho representa la MOCP. Datos adaptados de las fuentes que se indican a continuación: triángulos, Epstein, 2002; cuadrados, Rightmire, 2004; rombos, Ruff et al., 2004. CE = masa cerebral / (11,22 masa corporal^{0,76}), véase Martin, 1981.



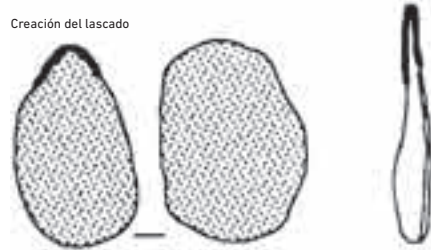
Cuadro 1. Evolución de la fabricación de instrumentos de piedra desde las primeras herramientas (etapa 2, hace más de 2,6 millones de años; halladas en Lokalalei 1) hasta las complejas técnicas para obtener hojas (etapa 7, encontrada en numerosos lugares del mundo en torno al 50.000 AP). Las columnas 2-5 indican las observaciones que nos llevan a deducir capacidades específicas de la MOCP; la columna 8 (negrita) muestra la capacidad de la MOCP en esa etapa, y en la 9 figura la edad aproximada de inicio de cada etapa. La columna 10 hace referencia a los tipos correspondientes de artefactos que documentan cada etapa. Para una explicación más detallada, véase Read y Van der Leeuw, 2008: 1961-1964.

| Etapa | Concepto | Acción | Novedad | Dimensiones | Objetivo | Modo | MOCP | Periodo AP | Ejemplo |
|-------|------------------------|--|---|--|--|------|------------|---------------------|-----------------------------|
| 1 | Atributo del objeto | Repetición posible | Ya están presentes atributos funcionales; se puede mejorar | 0 | Utilizar el objeto | | 1 | | |
| 1A | Relación entre objetos | | Usar más de un objeto para realizar la tarea | 0 | Combinar objetos | | 2 | | |
| 2 | Atributo impuesto | Repetición posible | Objeto modificado para realizar la tarea | 0 | Mejorar el objeto | | 2 | → 2,6 mill. de años | Lokalalei 1 |
| 3 | Lascado | Repetición | Lascado deliberado, pero sin un diseño general | 0: ángulo de incidencia $\leftarrow 90^\circ$ | Dar forma a las lascas | | 3 | 2,6 mill. de años | Lokalalei 2C |
| 4 | Borde | Iteración: cada lasca controla a la siguiente | Lascado (<i>débitage</i>) para crear un borde en un núcleo | 1: una hilera de lascas crea bordes parciales | Dar forma al núcleo | 1 | 4 | 2,0 mill. de años | Canto tallado olduvayense |
| 5 | Curva cerrada | Iteración: cada lasca controla a la siguiente | Lascado (<i>débitage</i>) para crear un borde y una superficie | 2: bordes como elementos que generan superficies | Dar forma a la bifaz a partir del borde | 2 | 4,5 | | |
| 5A | Superficie | Iteración: cada lasca controla a la siguiente | Tallado de hechuras (<i>façonnage</i>): lascado para obtener una forma | 2: superficies entendidas como elementos organizados entre sí | Dar forma a la bifaz a partir de la superficie | 2 | 5 | 500.000 años | Hachas de mano bifaces |
| 6 | Superficie | Algoritmo: la extracción de una lasca prepara la siguiente | Control del lugar y del ángulo de lascado para dar forma a una superficie | 2: superficie de la lasca extraída bajo control, pero con restricciones de forma | Producción en serie de utensilios | 3 | 6 | 300.000 años | <i>Levallois</i> |
| 7 | Intersección de planos | Aplicación recurrente de algoritmos | Técnica de hoja prismática; proceso regular | 3: la extracción de lascas conserva la forma del núcleo; sin limitaciones de forma | Producción en serie de utensilios | 4 | 7 | → 50.000 años | Técnicas para obtener hojas |

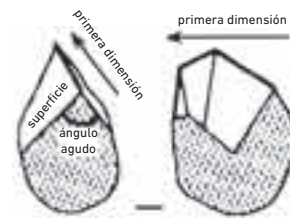
Figura 1. Para que el ser humano haya adquirido la capacidad de concebir un objeto tridimensional (un guijarro o un utensilio de piedra) en tres dimensiones han hecho falta cerca de dos millones de años. a. Desprender una lasca del extremo de un guijarro constituye una acción en 0 dimensiones, y requiere una MOCP 3; b. extraer sucesivamente varias lascas adyacentes crea una línea unidimensional que requiere una MOCP 4; c. prolongar la línea hasta que se encuentre consigo misma supone definir una superficie dibujando una línea alrededor de ella, y representa una MOCP 5; 5; distinguir entre esa línea y la superficie que engloba implica operar plenamente en dos dimensiones, y requiere una MOCP 5; d. preparar dos lados para extraer las lascas del tercero demuestra una conceptualización tridimensional del guijarro, y requiere una MOCP 7 (extraído de Van der Leeuw, 2000).

Dimensión 0: la punta

Creación del lascado



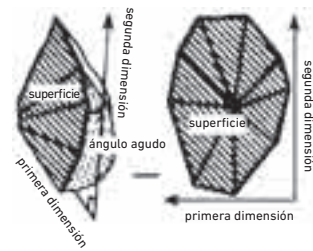
Primera dimensión: la línea



Secuencia de lascado



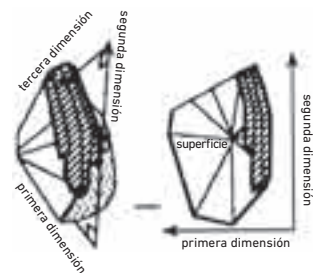
Segunda dimensión: la superficie



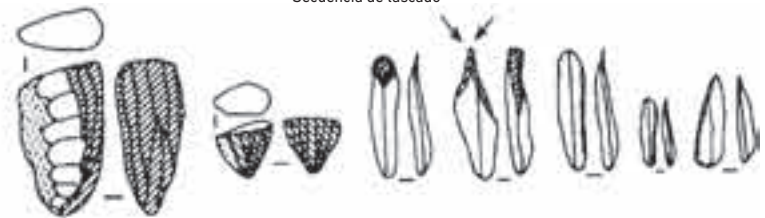
Secuencia de lascado



Tercera dimensión: el volumen



Secuencia de lascado



LA EXPLOSIÓN DE LA INNOVACIÓN: EL DOMINIO DE LA MATERIA Y EL APRENDIZAJE DE CÓMO APROVECHAR AL MÁXIMO EL CEREBRO

A partir del 50.000 AP² y, especialmente, desde alrededor del 15.000 AP, asistimos a una verdadera *explosión de la innovación* que se extiende casi por todo el planeta. La gran cantidad de invenciones que se producen en todos los dominios es verdaderamente sorprendente, y se ha ido acelerando hasta nuestros días. No hay motivos para pensar que se hayan producido desarrollos posteriores de la MOCP humana, dado que las pruebas experimentales indican que el ser humano moderno en la actualidad es capaz de manejar simultáneamente en el mejor de los casos siete, ocho o, en ocasiones, nueve dimensiones o fuentes de información, pero incluso un examen superficial de la tecnología moderna, de los idiomas y de otros avances muestra la gran variedad de logros que se pueden conseguir con una MOCP de 7 ± 2 . Así pues, cabe decir que en esta siguiente fase, *desde aproximadamente el 50.000 AP hasta ahora, la biología de la mente ha dejado de imponer limitaciones, y el objetivo principal consiste en adquirir la mayor gama posible de técnicas que permitan aprovechar la capacidad de la MOCP disponible.*

El advenimiento de tecnologías mejores

En este proceso podemos distinguir diversas fases. En la primera se desarrollan considerablemente las herramientas, pero el estilo de vida nómada de recolector-cazador-pescador permanece invariable. Algunos de los muchos operadores cognitivos que surgen en esta primera fase son (Van der Leeuw, 2000):

- El uso de *topologías* completamente *nuevas* (por ejemplo, la de un sólido en torno a un espacio vacío, como en el caso de una vasija o de una cesta).
- El uso de numerosos *materiales nuevos* con los que fabricar utensilios. Aunque resulta difícil demostrar que estos materiales no se hayan utilizado anteriormente, sin embargo se pueden encontrar a partir de este

momento objetos de hueso, madera y otros materiales perecederos.

- La *combinación de materiales distintos en un solo utensilio* (por ejemplo, poner a pequeños útiles de piedra afilados una empuñadura de madera o de hueso).
- La *inversión de la secuencia de fabricación desde lo reductivo* (que comienza con un objeto grande, como por ejemplo, un bloque de piedra, del que sucesivamente se van desprendiendo fragmentos cada vez más pequeños) para controlar la forma, *hasta lo aditivo*, donde se combinan partículas diminutas (como arcilla o fibras) para formar objetos lineales mayores (como hebras y bobinas) y, a continuación, un objeto bidimensional (como un tejido) al que después se da forma (cosiéndolo) para ajustarlo a un objeto tridimensional (una prenda de ropa), etc. Esto implica la *cognición de una gran variedad de escalas.*
- *Ampliación y reducción de la secuencia de acciones* en la mente: distinción entre fases de preparación complejas (por ejemplo, recolectar materias primas, prepararlas, moldear vasijas, ponerlas a secar, decorarlas y meterlas en el horno), y a la vez ser capaz de relacionar la lógica del proceso de fabricación a lo largo de estas fases (como la adaptación de la arcilla a la técnica de horneado, etc.).

La explosión resultante de nuevos utensilios marcó este periodo hasta cerca del 13.000 AP (en Asia Oriental) o del 10.000 AP (en Oriente Próximo). Pero el modo de subsistencia se siguió caracterizando por una *estrategia multirrecurso* de *recolección* de diversos alimentos en el entorno, aunque abarcando una gama mucho mayor al disponer de nuevas herramientas y al adaptarse a los cambios (condiciones atmosféricas, disponibilidad de alimento) *desplazándose*, aunque recorriendo distancias cada vez más limitadas para *mantenerse siempre por debajo de la capacidad que pudiera soportar* el entorno. En realidad, se carecía de conocimientos para *inter*-accionar con el entorno; solo podían *re*-accionar a él. *Los cambios incontrolables y los riesgos* estaban a la

² Las fechas que se mencionan en este artículo no solo son aproximadas, sino que además difieren en cada lugar del mundo y son objeto de continuas revisiones a medida que avanzan las investigaciones arqueológicas.

orden del día, pero siempre que se podía se reducían al mínimo (Van der Leeuw, 2000).

Los primeros poblados, la agricultura y el pastoreo

En la etapa siguiente, en torno al 13.000-10.000 AP, la continua aparición de innovaciones cambió por completo el estilo de vida de muchos seres humanos. Esta aceleración fue tan impresionante que en unos pocos miles de años había cambiado el modo de vida de la mayoría de los seres humanos que habitaban la Tierra: en lugar de vivir en pequeños grupos nómadas, empezaron a concentrar sus actividades en territorios más pequeños, idearon diversas estrategias de subsistencia y, en algunos casos, literalmente se asentaron formando pequeños poblados (Van der Leeuw, 2000, 2007 y sus bibliografías correspondientes).

Juntos, estos avances abrieron de manera considerable el abanico de opciones de que se disponía para hacer frente a los problemas ocasionados por el entorno. Con ello se incrementó rápidamente la capacidad de nuestra especie para inventar e innovar en muy diversos ámbitos y le permitió hacer frente a problemas más y más complejos en plazos cada vez más breves, con lo que aumentó enormemente la capacidad de adaptación del ser humano. Sin embargo, la otra cara de la moneda era que estas soluciones, al involucrar a las personas en la manipulación de un mundo material que ya controlaban parcialmente, terminaban generando nuevos problemas, a menudo imprevistos, cuya superación puntual requería un gran esfuerzo.

Durante este proceso se produjo una serie de cambios fundamentales. En primer lugar, la relación entre las sociedades y sus entornos pasó a ser *recíproca*: desde ese momento, el entorno terrestre no solo afectó a la sociedad, sino que esta influyó también en el entorno terrestre. En consecuencia, las sociedades sedentarias trataron de *controlar los riesgos ambientales interviniendo sobre el entorno*, principalmente mediante 1. *la reducción y la optimización de su dependencia del*

entorno, 2. *la simplificación e incluso la homogeneización (parcial) de sus entornos*, y 3. *la diversificación y especialización espaciales y técnicas* (Van der Leeuw, 2000). Las nuevas técnicas de subsistencia introducidas, como la horticultura, la agricultura y el pastoreo, redujeron el abanico de elementos que las personas necesitaban para su subsistencia. A lo largo del proceso, ciertos espacios del entorno se *despejaron* y se dedicaron al fin específico de cultivar determinados tipos de plantas, lo cual requirió *inversiones* en algunos lugares del entorno, dedicando estas zonas a actividades específicas y retrasando la obtención de recompensas por las inversiones realizadas. Por ejemplo, despejar el bosque y sembrar permitía obtener una cosecha al cabo de un año.

El incremento resultante de inversiones en el entorno dio lugar a su vez a que diversas comunidades estrecharan cada vez más sus vínculos con el territorio en el que habían elegido vivir. Ahora se construían viviendas permanentes *utilizando la nueva topología* (receptáculos dispuestos boca abajo) y se diseñaban muchas otras clases de herramientas y de técnicas para la fabricación de estas que facilitaron la aparición de nuevas estrategias de subsistencia viables en su entorno (p, ej., el arado, la domesticación de animales, el almacenamiento en cestas y vasijas, el uso de vasijas para cocer). Al margen de los *especialistas* a tiempo completo, algunas personas de los poblados empezaron a dedicar más tiempo, por ejemplo, a tejer o a la alfarería, lo que les permitía ofrecer los productos de su trabajo a otras personas a cambio de lo que estas producían. Así, las diferencias en cuanto a disponibilidad de recursos y a conocimientos técnicos dio lugar a la diversificación económica y, para proporcionar a todos lo que necesitaban, a la aparición del comercio.

De este modo surgió una simbiosis entre los distintos paisajes y los medios de vida inventados y construidos por los grupos humanos para aprovecharlos, *lo cual redujo el número de opciones adaptativas para cada una de estas sociedades y las impulsó a idear soluciones de creciente complejidad*

y con consecuencias cada vez más imprevistas a las que, a su vez, había que hacer frente.

De acuerdo con mi principio fundamental de que el procesamiento de la información es crucial para estos cambios, atribuyo la evolución expuesta en esta sección al comienzo de una nueva dinámica en la que *el aprendizaje pasaba del individuo al grupo* porque las dimensiones de los problemas que había que resolver superaban la capacidad de los individuos para abordarlos. Esto supuso la aparición del siguiente bucle de realimentación (Van der Leeuw, 2007):

La resolución de problemas estructura el conocimiento → al aumentar el conocimiento, aumenta la capacidad de procesar información → esto a su vez permite la cognición de problemas nuevos → se crean nuevos conocimientos → la creación de conocimientos involucra a más y más personas en el procesamiento de la información → aumenta el tamaño del grupo involucrado y su grado de concentración → se crean más problemas → aumenta la necesidad de resolver problemas → la resolución de problemas estructura más conocimiento, etcétera.

Esto ha permitido la acumulación continua de conocimientos y, por tanto, de capacidad de procesamiento de información, lo que ha dado lugar a su vez a un aumento concomitante en el intercambio de materia, energía e información a través de la sociedad, así como al *crecimiento de grupos interactivos*. Sin embargo, dicho crecimiento se ha visto en todo momento limitado por la cantidad de información que podía transmitirse entre los miembros del grupo, dado que un error de comunicación puede dar lugar a malentendidos y conflictos, y, por tanto, puede afectar a la cohesión de las comunidades involucradas. Desde mi punto de vista, las tensiones en la comunicación supusieron un incentivo para 1. *mejorar los medios de comunicación*, por ejemplo, *inventando* conceptos nuevos y más precisos con los cuales transmitir ideas (Van der Leeuw, 1982), y 2. *reducir el tiempo de búsqueda de las personas con las que necesitaban comunicarse* (mediante la adopción de un estilo de vida sedentario).

Por último, a medida que se ha ido diversificando el sistema social y las personas han empezado a depender más unas de otras, el patrón de riesgo ha ido acumulando más tensiones sociales causadas por malentendidos y errores de comunicación. Así pues, la gestión de los riesgos ha ido orientándose cada vez más hacia las habilidades sociales, hacia la invención colectiva y hacia la aceptación de herramientas organizativas y de otros tipos para mantener la cohesión social.

Las primeras ciudades

A partir de este momento, voy a dejar de señalar las innovaciones o las operaciones cognitivas surgidas a medida que las sociedades humanas han ido creciendo en tamaño y se ha ido extendiendo la fundación de ciudades en todo el planeta. Por el contrario, me centraré en los importantes problemas que han traído consigo el sistema de realimentación en el que se ha basado el crecimiento social y la conquista del mundo material a través de la innovación. Superarlos ha dado paso en último término a la aparición de verdaderos *sistemas mundiales*, como los imperios coloniales del comienzo de la época moderna (Van der Leeuw, 2007) o del mundo *globalizado* actual.

A lo largo de la tercera fase, desde alrededor del 7.000 AP, *la comunicación siguió representando una importante limitación* porque cada vez interactuaban entre sí más personas a medida que crecían las dimensiones de los asentamientos hasta llegar a lo que ahora denominamos una ciudad. De nuevo, en esta fase surge una gran cantidad de innovaciones, como la escritura, los mercados regulares, la administración, las leyes, las burocracias o las comunidades dedicadas a tiempo completo a actividades específicas (sacerdotes, escribas, soldados, diferentes tipos de artesanos y de artesanas, etc.). Buena parte de ello vino asociado a la mejora de la comunicación (como la escritura y los escribas), a la regulación social (la administración, las burocracias, las leyes), al aprovechamiento de más y más recursos (minería) o al intercambio de

objetos y materiales a través de distancias cada vez mayores en parte (mercados, comerciantes de largas distancias, innovaciones en el transporte). Sin embargo, a medida que los grupos se iban haciendo más grandes, el territorio —la *huella*, por utilizar un término moderno— del que dependían para sus necesidades materiales y energéticas se ampliaba exponencialmente a la par que el esfuerzo necesario para transportar alimentos y otros materiales. *Esto dio lugar a la aparición de la energía como una importante limitación que frenó la evolución de las sociedades durante los milenios siguientes.*

Al objeto de hacer frente a esta limitación, surgió una interesante dinámica núcleo-periferia para explotar esa huella creciente: el intercambio de organización por energía. *En torno a las ciudades aparecieron estructuras de flujo dinámicas, en las que la capacidad organizativa se generaba en las ciudades y después se extendía alrededor de ellas,* lo cual iba ampliando el territorio que controlaba la ciudad; a su vez, las cantidades de energía cada vez mayores que se obtenían en dicho territorio (en forma de alimentos y de otros recursos naturales) regresaban hacia la urbe para abastecer a una población creciente que mantenía la estructura del flujo mediante la innovación (creación de nueva capacidad organizativa y de procesamiento de la información). Tales *estructuras de flujo* se convirtieron en el motor que impulsó la creación de aglomeraciones cada vez mayores de personas y territorios asociados a ellas.

Lo que permitió a las poblaciones urbanas seguir innovando y mantener así las estructuras de flujo fue nuevamente el aumento de la capacidad de más y más mentes que interactuaban para determinar nuevas necesidades, funciones y categorías, así como nuevos artefactos y problemas. Lo que sustenta esta dinámica es algo de sobra conocido en el mundo moderno. La invención es, por lo general —y sin duda en los tiempos de la pre y de la protohistoria—, algo en lo que participan individuos o equipos muy reducidos. De ahí que, en sus primeras etapas, esté relacionada con un número relativamente

pequeño de dimensiones cognitivas: resuelve problemas de los que pocas personas son conscientes. Dado que estas invenciones se convierten en el foco de atención de un número mucho mayor de personas, pasan a ser aprehendidas simultáneamente en muchas más dimensiones (se les encuentran más usos, formas de mejorarlas ligeramente, etc.), lo cual, en algunos casos, desencadena una *cascada de innovación*, esto es, una serie de innovaciones posteriores, como nuevos artefactos, usos nuevos de los ya existentes y formas nuevas de comportamiento y de organización social e institucional. En dicho proceso, las ciudades y los pueblos obtienen claramente un mayor éxito que las zonas rurales, debido a que en ellos se concentra un mayor número de individuos interactivos. Esto se ve corroborado por el hecho de que, al hallar la correlación entre diversos sistemas urbanos de varios tamaños y sus respectivas mediciones en cuanto a población, energía e innovación, la población guarda una proporción lineal, la energía sublineal y la capacidad de innovación supralineal (Bettencourt *et al.*, 2006).

Imperios

Las *estructuras de flujo* antes mencionadas siguieron creciendo —aunque con altibajos— hasta que, transcurridos varios milenios (desde alrededor del 2500 AC en el Viejo Mundo y en torno al 500 AC en el Nuevo), comenzaron a cubrir regiones muy extensas, como los imperios prehistóricos y protohistóricos (por ejemplo, el chino en Asia, el aqueménida, el macedonio y el romano en el Viejo Mundo, los imperios maya e inca en el Nuevo Mundo o, posteriormente, los imperios coloniales europeos), en cuyo centro se aglutinó un gran número de habitantes y para cuyo abastecimiento acumularon tesoros, materias primas, cosechas y muchos otros bienes de sus tierras remotas. *A lo largo de este periodo, la comunicación y la energía fueron las principales limitaciones* que afectaron a ciudades, estados e imperios. Así, hemos visto avances en el aprovechamiento de la energía de origen animal

(incluida la esclavitud), eólica (para el transporte náutico y para impulsar molinos de viento), de los saltos de agua (para molinos) y demás, pero también en la facilitación de las comunicaciones (por ejemplo, *carreteras* terrestres de larga distancia, el sextante y la brújula para facilitar la navegación marítima) y en todos los medios posibles para crear y concentrar riqueza con el fin de sufragar los gastos inherentes al control de las tensiones sociales, al mantenimiento de la administración y del ejército, etcétera.

Estos gastos limitaron en definitiva la extensión de los imperios en el espacio y en el tiempo. Tainter (1988), por ejemplo, argumenta de forma convincente que solo los tesoros acumulados fuera del Imperio Romano en los siglos anteriores a la conquista romana permitieron a esta metrópolis mantener los grandes ejércitos y burocracias necesarios para el funcionamiento de su imperio. En su opinión, cuando dejaron de obtenerse tesoros a través de las conquistas y el imperio tuvo que volver a depender de la energía recurrente (esencialmente solar), ya no pudo seguir manteniendo la estructura de flujo. Con ello disminuyeron las ventajas de formar parte del imperio, por lo que este empezó a perder el control de sus vastos territorios y la población volvió a establecer redes más pequeñas, regionales o locales. Así pues, el cese de los flujos que había generado inicialmente la coherente estructura socioeconómica del imperio dio paso al descontento o incluso a la dispersión de la población.

LOS TRES ÚLTIMOS SIGLOS

En los tres últimos siglos hemos asistido a la culminación (provisional) de la trayectoria que he esbozado en la segunda parte. Dicha trayectoria muestra cómo las limitaciones y las oportunidades ligadas al carácter biosocial de nuestra especie explican ciertos fenómenos observados si concebimos la historia humana en términos generales. En este sentido, estos tres últimos siglos no difieren de las épocas precedentes, pero en ellos se ha producido una aceleración galopante de la actividad innovadora de nuestra

“Por lo que respecta a la innovación, entre los siglos XVIII y XX, y especialmente en la segunda mitad de este último, *el equilibrio entre oferta y demanda se decantó a favor de la oferta*. En lugar de que las necesidades sociales impulsaran la innovación, fue esta la que impulsó a las necesidades sociales”

especie, inicialmente debido a que la *domesticación* de las energías fósiles acabó con las limitaciones energéticas de muchas actividades humanas, y posteriormente porque la introducción de la electrónica permitió separar la información de la mayoría de los sustratos que se habían utilizado para transmitirla hasta ese momento. La combinación de estos dos avances ha dado lugar a un *salto cuántico* o a un *cambio de estado* en la dinámica social de donde han surgido muchos de los problemas actuales, pero que también ha introducido posibles formas de solucionarlos que hasta ahora no estaban a nuestro alcance.

La introducción de la energía fósil y la dependencia de la innovación por parte de la sociedad

La última fase —hasta el momento— de este proceso a largo plazo de evolución social a través de la innovación abarca los dos últimos siglos y

medio, en los que, primeramente, han desaparecido las limitaciones energéticas gracias a la introducción de abundante energía fósil, y recientemente lo están haciendo las limitaciones para la comunicación y para el procesamiento de la información como consecuencia del advenimiento de nuevas tecnologías. La introducción de fuentes de energía fósil trae consigo primero nuevas tecnologías para permitir, facilitar o reducir los costes del transporte (locomotoras de vapor, automóviles, etc.), de la manufacturación (fábricas con maquinaria de vapor) y de la propia energía, y, más adelante, tecnologías que reducen la cantidad de energía necesaria para satisfacer las necesidades de la sociedad.

No obstante, sin disponer de una explicación clara inmediata, me gustaría señalar otro motor emergente que, en esta época, transforma la innovación desde una actividad impulsada por la demanda hasta otra impulsada por la oferta. Durante la mayor parte de la (pre-)historia humana parece que las invenciones se han producido como consecuencia de necesidades percibidas, o bien no se han introducido realmente a gran escala en las sociedades hasta que ha surgido dicha necesidad. Por ejemplo, tuvieron que transcurrir casi mil años desde la invención de la siderurgia hasta que dicha técnica se difundió realmente por toda Europa a un ritmo bastante rápido (Sørensen). En ese caso, el freno inicial para la transformación de esta invención en una innovación parece haber estado relacionado con la estructura de la sociedad. En la Edad del Bronce surgieron jerarquías que dominaban extensas redes de intercambio debido a que controlaban las fuentes de extracción del bronce, algo más o menos sencillo de conseguir porque los lugares de acceso a este metal eran relativamente escasos y distantes entre sí. Este no es el caso del hierro, que se puede encontrar prácticamente en cualquier lugar de Europa donde haya agua en abundancia, y, una vez se extendió la tecnología para su uso, nadie pudo seguir enriqueciéndose mediante el control de la fabricación de utensilios de hierro. Por tanto, la introducción de la

tecnología del hierro permitió a un gran número de personas fabricar y utilizar utensilios y armas mucho mejores, con lo que tuvo, en cierto sentido, un efecto democratizador.

Por lo que respecta a la innovación, entre los siglos XVIII y XX, y especialmente en la segunda mitad de este último, *el equilibrio entre oferta y demanda se decantó a favor de la oferta*. En lugar de que las necesidades sociales impulsaran la innovación, fue esta la que impulsó a las necesidades sociales. Las empresas competían por hacerse con invenciones (o las desarrollaban internamente) y después creaban mercados para ellas, instando a la sociedad a utilizarlas para aumentar sus beneficios. *Esto ha dado lugar a que la innovación haya pasado a ser endémica en nuestras sociedades, y estas sociedades, a través de su dependencia de un PIB y de cifras de ganancias en continuo aumento, se han convertido en dependientes de la innovación para seguir existiendo*. Esta nueva dinámica posee importantes consecuencias a la hora de abordar los problemas del siglo XXI, entre ellos la sostenibilidad. Más adelante volveremos sobre este punto.

Este fenómeno ha surgido en un periodo en el que se ha transformado la perspectiva de nuestra sociedad en el tiempo. Hasta el siglo XVII, por lo general se explicaba el presente invocando a la «historia» o al «pasado», o bien alegando que «las cosas siempre han sido así», mientras que socialmente estaba mal visto hablar de «novedades» o de «innovaciones». Esto cambió durante la Ilustración, situación que dio paso en última instancia a nuestra actitud actual, en la que se suele preferir lo «nuevo» frente a lo «viejo», lo «probado» o lo «ancestral» (Girard, 1990). Curiosamente, este cambio de perspectiva ha ido acompañado de la institucionalización de las universidades y de las disciplinas académicas como *crisoles de investigación*, en un principio con la expectativa de que en último término se acabaría inventando algo útil, pero cada vez más en torno a la idea de que la investigación sirve para obtener beneficios económicos.

Separación de la información de sus sustratos materiales y energéticos

Aunque la *tecnología de la información* cuenta con miles de años de existencia en forma de gestos, lenguaje, escritura, contabilidad y muchos otros medios, como las señales de humo de los indios norteamericanos y los tamtanes de África, en la segunda mitad del siglo xx se ha definido el concepto de *información* (Shannon y Weaver, 1948), y, rápidamente desde entonces, se ha mecanizado el procesamiento de la información, primero en el ámbito de la comunicación, pero después también en el del cálculo, la representación y muchos otros. Así pues, el actual hincapié que se hace en ciertas esferas de nuestra sociedad actual al calificar esta de *sociedad de la información* es erróneo: desde el comienzo de la evolución humana, todas las sociedades han sido *sociedades de la información*.

Queda claro que, dado que nos hallamos tan solo en el inicio de un proceso que con el tiempo permitirá aplicar la electrónica y otras formas de procesamiento de información a todos los aspectos de nuestro pensamiento y de nuestra sociedad —y que aportará numerosas soluciones innovadoras a problemas existentes y a muchos otros nuevos—, actualmente no podemos conocer los *impulsores* de nivel superior que pueden surgir como consecuencia de dicho proceso. Sin embargo, señalamos que, de nuevo, estos acelerarán la dependencia de la innovación en nuestra sociedad. De hecho, la recopilación y el tratamiento masivos de la información, así como la aplicación del concepto de información a procesos físicos, biológicos y sociales, comienzan a erigirse como un nuevo problema: la *revolución* de las NBIC, donde convergen (y pueden interactuar) las tecnologías «nano», «bio», de la información y de las comunicaciones.

Sea como fuere, después de dominar la *materia* mediante la ideación de maneras de separar conceptualmente su manipulación del espacio/tiempo en el que se ha producido dicho proceso —que para la humanidad ha durado unos dos millones de años— y de dominar la energía

separándola conceptualmente del movimiento y del cambio —algo que se prolongó durante los siete mil años siguientes—, solo se han tardado doscientos años más en conceptualizar la información, separándola de su sustrato material o energético. Por tanto, nuestra capacidad colectiva de procesar información se ha acelerado más o menos exponencialmente, al igual que la población de la Tierra y —lo más importante desde nuestro punto de vista— el tamaño y el número de ciudades, que constituyen el principal crisol de invenciones e innovaciones. Una vez identificado el impulsor que subyace a este proceso, al igual que ante cualquier otro crecimiento exponencial, cabe preguntarse: «¿Cuánto más puede durar esto?». Para responder a esta pregunta debemos examinar las consecuencias a largo plazo de la *explosión de la innovación*, desde el Neolítico hasta nuestros días.

LOS RETOS DEL FUTURO. INNOVACIÓN, SOSTENIBILIDAD Y CONSECUENCIAS IMPREVISTAS

Una manera de adentrarnos en este tema, al que dedicaremos la última sección del artículo, consiste en señalar la contradicción que existe entre el hecho de que se considere que la innovación es la salida al síndrome de sobrepoblación que nos afecta, de escasez de recursos actual o futura, de contaminación omnipresente y demás, a pesar de que estos dos siglos de innovación sin control hayan sido los responsables del advenimiento de la sociedad de consumo y del actual desafío de la sostenibilidad. Esto nos lleva a la conclusión de que la innovación, tal como está integrada ahora en nuestras sociedades, difícilmente será la panacea que nos saque del atolladero de sostenibilidad en el que, para muchos, nos encontramos. Esto a su vez plantea el interrogante de si existe alguna opción que no consista en eliminar los problemas con la *varita de la innovación* y, en caso de haberla, cuál podría ser.

Tengo la sensación de que la raíz de este problema se encuentra en la relación entre las limitaciones fundamentales de la mente humana, tanto colectivas como individuales, y en la complejidad

del mundo que nos rodea. En mi opinión, a lo largo de los milenios, esta relación ha cambiado como consecuencia de la propia explosión innovadora. Así pues, para comprender la naturaleza de dicho cambio, tendremos que examinar la relación entre las personas y su entorno.

La cognición humana, por mucho dominio que haya adquirido a la hora de manejar el medio, constituye solo un extremo de la interacción (asimétrica) entre las personas y su entorno, aquel en el que la percepción del mundo externo pluridimensional se reduce a un número de dimensiones muy limitado. El otro extremo de dicha interacción es la acción humana sobre el entorno, y la relación entre cognición y acción es exactamente lo que tanto aleja a nuestras necesidades de nuestras capacidades. Aquí, el concepto crucial es el de las consecuencias *imprevistas* o *insospechadas*, que hace referencia al hecho bien conocido y a menudo observado de que, independientemente del cuidado que se ponga en el diseño de las intervenciones humanas en el entorno, nunca se obtendrán los resultados previstos. Tengo la sensación de que este fenómeno se debe a que cada acción humana sobre el medio modifica este último de muchas más formas de lo que perciben los agentes humanos, simplemente debido a que la dimensionalidad del medio es mucho mayor de lo que es capaz de captar la mente humana. En la práctica, cada vez que el ser humano ha interactuado de una manera determinada con su entorno durante un periodo prolongado se ha producido un proceso de agotamiento: en todos estos casos, al final el medio ambiente acaba tan degradado a los ojos de las personas involucradas que o bien se trasladan a otro lugar, o cambia su manera de interactuar con el entorno.

¿Cómo sucede este fenómeno? Supongamos que un grupo de personas se traslada a un nuevo medio sobre el cual posee escasos conocimientos, como los colonos europeos que llegaron a los bosques del este de Norteamérica (Cronon, 1983). Tras un periodo relativamente breve, detectarán problemas u oportunidades

de interacción con este entorno y *harán algo* al respecto. Sus actividades en relación con estos obstáculos se basarán en una percepción insuficiente de ellos, que consistirá principalmente en observaciones relacionadas con la dinámica a corto plazo en cuestión. Sin embargo, esas acciones transformarán el medio de maneras que afectarán a esta dinámica no solo a corto, sino también a largo plazo en aspectos desconocidos. Con el tiempo, poco a poco, todos los problemas frecuentes se acabarán conociendo y abordando a través de la interacción de la sociedad con el entorno, mientras que se irán acumulando los problemas desconocidos a largo plazo que se hayan ido introduciendo. En términos más abstractos, podemos decir que, debido a la interacción humana con el entorno, el *espectro de riesgo* del sistema socioambiental se transforma en uno en el que los riesgos desconocidos y a largo plazo (centenarios o milenarios) se acumulan en detrimento de los más próximos en el tiempo.

A la larga, esto termina por conducirnos necesariamente hacia una *bomba de relojería* o *crisis* en la que surge tal cantidad de elementos desconocidos que la sociedad corre el riesgo de verse abrumada por el número de retos a los que tiene que enfrentarse al mismo tiempo. Inicialmente tratará de salir del paso innovando cada vez más deprisa, como ha hecho nuestra sociedad durante aproximadamente los dos últimos siglos, pero dado que esto lo único que consigue es acelerar los cambios en el abanico de riesgos, se trata, en definitiva, de una batalla que ninguna sociedad puede ganar. Inevitablemente, llegará un momento en que la sociedad tenga que cambiar de forma drástica su manera de interactuar con el entorno, o perderá su coherencia. En este último caso, transcurrido un tiempo, todo el ciclo volverá a repetirse de nuevo, como demuestran el auge y la decadencia de empresas, ciudades, naciones, imperios o civilizaciones.

¿Qué consecuencias tiene el incremento exponencial de la capacidad de procesamiento de la información sobre esta asimetría entre el entendimiento y las acciones del ser humano? Es

evidente que, a medida que aumenta la capacidad de procesar información, el número total de dimensiones aprehendidas (colectivamente) del proceso crece más o menos en proporción. Por tanto, las acciones humanas sobre el medio afectan cada vez a más dimensiones de los procesos que tienen lugar en él. Dado que el multiplicador entre las dimensiones aprehendidas y las ambientales ignoradas que se ven afectadas por las acciones humanas es elevado, esto implica que, como consecuencia del incremento exponencial en el número de dimensiones aprehendidas, la cifra de dimensiones ambientales afectadas crecerá aun más deprisa, lo cual planteará desafíos ambientales de una forma cada vez más rápida y compleja para la humanidad.

Esta tensión continua y creciente entre la capacidad cognitiva total de una sociedad y la complejidad de su entorno ha constituido en sí uno de los principales impulsores (por no decir el más importante) del incremento en la capacidad de procesamiento de la información de los seres humanos y las sociedades. Esto ha tenido importantes repercusiones para la estructura del procesamiento de la información en las sociedades involucradas. A lo largo de este artículo ya hemos mencionado algunas, como el aumento de la población, la concentración de poblaciones humanas en pueblos y posteriormente en ciudades, la invención de la escritura, los mercados, la administración y otros fenómenos asociados a la organización. Sin embargo, otras no han recibido apenas atención, como por ejemplo, su impacto sobre nuestro lenguaje y sobre la manera de hacer ciencia en el pasado (y a menudo en la actualidad).

Detengámonos primero en el lenguaje. Inicialmente, dado que los grupos pequeños pasaban buena parte del tiempo juntos, el ser humano disponía de oportunidades y de momentos adecuados para una comunicación multicanal: lenguaje hablado, gestos, lenguaje corporal, contexto visual y cualquier otro tipo de comunicación. Eso permitió acumular a largo plazo confianza y entendimiento para reducir y

corregir muy diversos errores de comunicación. Sin embargo, a medida que iban creciendo estos grupos y se reducía el tiempo dedicado a cada interacción, disminuía el número de canales de comunicación, y el lenguaje hablado acabó imponiéndose como principal canal de comunicación entre personas que se encontraban ocasionalmente y durante periodos breves, debido sobre todo a que permite transmitir conceptos con relativa precisión. Con el tiempo, al ir creciendo aun más las redes de comunicación, la necesidad de evitar malentendidos y errores debe de haber influido sobre el propio lenguaje, con lo que las comunidades en cuestión tuvieron que desarrollar medios de expresión cada vez más precisos y rápidos. En mi opinión, esta influencia se manifiesta en la proliferación de conceptos (categorías) cada vez más abundantes y concretos en todos los niveles de abstracción, lo que ha reducido el número de dimensiones en las que se pueden interpretar estos conceptos. La abundancia de significados asociados en distintos contextos a palabras o a raíces léxicas comunes, según puede verse en cualquier diccionario etimológico, da fe de este proceso, al igual que la proliferación de categorías de artefactos a lo largo del tiempo con funciones cada vez más precisas y limitadas. Simultáneamente, el propio incremento en el número de niveles de abstracción ha compensado esta fragmentación, de manera que aún encontramos formas de agrupar estos conceptos cada vez más concretos mediante dimensiones transversales. La *información* no es más que una de las últimas grandes abstracciones que se han introducido.

En la ciencia occidental hemos asistido a un proceso similar de fragmentación al menos desde el siglo XIV por motivos muy similares (véase Evernden, 1992). A lo largo de estos siglos, la ciencia ha hecho hincapié en la necesidad de consolidar en la medida de lo posible la relación entre las observaciones y las interpretaciones, y por tanto entre la esfera de lo real, con su número infinito de dimensiones, y la de las ideas, en la que solo se aprehende un número limitado

“A lo largo de estos siglos, la ciencia ha hecho hincapié en la necesidad de consolidar en la medida de lo posible la relación entre las observaciones y las interpretaciones, y por tanto entre la esfera de lo real, con su número infinito de dimensiones, y la de las ideas, en la que sólo se aprehende un número limitado de dimensiones”

de dimensiones. Así pues, numerosas explicaciones científicas han consistido en reducir el elevado número de dimensiones involucradas en los procesos observados a uno mucho más reducido que fuera controlable para el cerebro humano (individual o colectivo) y que por tanto pudiera tomar la forma de una narración coherente y comprensible. De ahí que esta ciencia fuera generalmente *reduccionista*. Consecuencia de ello es el hecho de que, sobre todo en las ciencias empíricas, todo fenómeno complejo se *desglosara* en sus elementos constituyentes con la esperanza de que, una vez explicados dichos componentes, estos pudieran aglutinarse para explicar el fenómeno en su conjunto y con toda su complejidad. Esto dio lugar al mismo tipo de *fragmentación* que se ha producido en los lenguajes en general, algo que se puede apreciar sobre todo en la actual división de los estudios humanos en disciplinas, subdisciplinas,

especializaciones y demás, cada una de ellas practicada por una comunidad que ha desarrollado epistemologías, perspectivas, argots, conceptos, métodos, técnicas y valores propios.

Vemos ahora que la fragmentación constituye uno de los principales obstáculos a la hora de intentar captar toda la complejidad de los procesos que se producen a nuestro alrededor. Es más, las interpretaciones han vinculado los fenómenos investigados a procesos anteriores en el tiempo en los que se han observado dichos fenómenos, en lugar de relacionarlos con lo que aún está por venir (y que por tanto no se ha podido observar). Así pues, el razonamiento científico se ha centrado en la explicación de fenómenos existentes en términos de *cadena de causa y efecto*, y (mucho después) en bucles de realimentación, relacionando en ambos casos el avance de los procesos a lo largo del tiempo con la trayectoria precedente. En particular, se ha hecho hincapié en la reflexión acerca de los *orígenes* en lugar de en la *emergencia*, en la *realimentación* más que en la *prealimentación*, en *aprender del pasado* en lugar de *prever el futuro*. De ahí que no nos sorprenda que *pensar en el futuro* —al margen de si lo denominamos futurología, pronósticos, previsión de situaciones o visión de futuro— sea en realidad una actividad *hijastra* en nuestras actuales instituciones académicas e investigadoras, y que principalmente se lleve a cabo en empresas o gobiernos.

Como resultado de estas tendencias, tanto en la comunicación y la cultura como en la investigación científica que caracteriza a nuestras sociedades, hemos llegado a un punto en el que las consecuencias imprevistas de nuestras intervenciones en el entorno amenazan con superarnos debido a su complejidad. En la dinámica de nuestro entorno sacionatural intervienen tantas dimensiones desconocidas que cada vez tenemos más la sensación de que no somos capaces de entender, limitar o controlar sus efectos. Esa sensación se experimenta como una *crisis* y la encontramos con una frecuencia creciente, ya sea en el ámbito económico, en la seguridad

alimentaria, en los peligros naturales, en la seguridad de nuestras sociedades frente al terrorismo o en otras actividades destructivas.

Podríamos definir tales *crisis* como la incapacidad temporal por parte de nuestra sociedad de procesar la información necesaria para afrontar adecuadamente la dinámica externa e interna en la que participa. Desde nuestro punto de vista, esta incapacidad resulta del hecho de que la diferencia entre el número de dimensiones que ha aprehendido la sociedad y las que desempeñan un papel en la dinámica sociocultural en la que está inmersa está superando un umbral a partir del cual el primero es inadecuado para abordar el último. En el camino hacia ese umbral, existe una clara señal de advertencia en el hecho de que la sociedad padece un *cortoplacismo* cada vez mayor, es decir, que se centra en los desafíos inmediatos que se va encontrando sin tener en cuenta los procesos a largo plazo, o, dicho con otras palabras, en el hecho de que la táctica haya llegado a prevalecer sobre la estrategia en buena parte de las decisiones que se toman.

El principal obstáculo parece ser la necesidad de buscar maneras de transformar las lecciones aprendidas *del* pasado en lecciones *para* el futuro. Con este fin, es necesario idear argumentos coherentes —y, en la medida de lo posible, falsables, en el sentido que apuntaba Popper (1959)— desde lo simple hasta lo complicado para así prever mejor las consecuencias complejas de nuestras acciones. Esto nos permitiría volver a centrarnos en el largo plazo, en el pensamiento estratégico y en una visión holística que favorezca la fusión intelectual entre distintas comunidades y puntos de vista científicos. Para ello, es crucial que adquiramos la capacidad de incrementar, en lugar de reducir, el número de dimensiones que podemos captar al objeto de comprender fenómenos complejos, de manera que conozcamos mejor las consecuencias de nuestras acciones al poder tener en cuenta más dimensiones en nuestros procesos decisorios sobre las intervenciones en el entorno.

CONCLUSIÓN: ¿HAY SALIDA?

Inicialmente parece como si nuestra tradición intelectual y científica, el tamaño de nuestra población interactiva, las características de muchos de nuestros lenguajes, la subdeterminación de nuestras teorías por nuestras observaciones (véanse Atlan, 1992 y Van der Leeuw) y las limitaciones de nuestra memoria operativa a corto plazo constituyesen sendos retos para nuestra capacidad de cambiar esencialmente la naturaleza de nuestro pensamiento y, más específicamente, para nuestra capacidad de centrarnos de forma explícita en el futuro y de extrapolar nuevas dimensiones a partir de las que ya conocemos en cualquier punto concreto del tiempo. Sin embargo, existen numerosos ejemplos de individuos o de grupos (reducidos) de personas que sí lo han conseguido con cierto éxito, desde filósofos de la Grecia clásica, pasando por Leonardo da Vinci, hasta escritores de ciencia-ficción de los siglos XVIII y XIX, como Julio Verne o Paul Deleutre³. Han sido capaces de diseñar utopías o de realizar una extrapolación positiva al futuro a partir de sus observaciones cotidianas, aunque algunas de sus ideas no se llevaran a la práctica jamás o quizás años o incluso siglos más tarde. Los inventores también han sido capaces de anticiparse, y la mayoría de nosotros invocamos a nuestra *intuición* cuando necesitamos hacerlo.

Asimismo, podemos hablar de algunos (tímidos) pasos hacia una tendencia mayor en esta dirección. En estos últimos veinticinco años, la ciencia reduccionista, fragmentada y *explicativa* surgida de estas tendencias ha recibido ataques crecientes desde la teoría de los *sistemas complejos* que apareció en la década de 1980 (por ejemplo, Mitchell, 2009). Según dicha teoría, para obtener una representación realista de la realidad es necesario estudiar la emergencia, ejercer la prealimentación y desarrollar una perspectiva generativa para la cual resulta esencial ampliar el número de dimensiones aprehendidas. En otros sectores, la *visión de futuro* se está extendiendo desde el campo relativamente limitado

³ Bajo el seudónimo «Paul d'Ivoi», este escritor francés se adelantó al concepto de las telecomunicaciones modernas (sistemas inalámbricos y televisión).

de los sistemas de apoyo a las decisiones industriales y económicas hacia los profesionales académicos, que en realidad profundizan en los retos epistemológicos y de otros tipos que hay que resolver para que florezca este tipo de ciencia (Wilkinson y Eidinow, 2008; Selin, 2006). Además, por todas partes, bajo la presión que suponen los retos medioambientales del siglo XXI, la comunidad científica está empezando a adelantarse a las *consecuencias imprevistas* y a lo que estas pueden implicar para los desafíos del futuro (por ejemplo, Ostrom, 2009). Esto parece indicar que la tendencia actual se debe más a un exceso de inversión en el viejo planteamiento reduccionista que a otros aspectos más fundamentales, y que, al menos en teoría, deberíamos ser capaces de superar nuestra incapacidad relativa para abordar las complejidades de la dinámica en la que estamos inmersos.

Superación de las limitaciones de la MOCP humana

Aunque no sea en absoluto experto en la materia, tengo la impresión de que la revolución de las tecnologías de la comunicación y de la información ha creado las condiciones adecuadas para que podamos superar las limitaciones en cuanto a capacidad cognitiva inherentes a nuestra memoria operativa a corto plazo. Los ordenadores actuales disponen de hecho de la capacidad necesaria para manejar un número casi ilimitado de dimensiones y de fuentes de información en tiempo real, y así superar lo que, a simple vista, parecía el mayor de los obstáculos antes mencionados. Pero esa capacidad no se ha explotado plenamente debido a nuestra larga y ubicua tradición científica e intelectual, que ha hecho hincapié en el uso de esa clase de equipos en el marco del proceso de reducción de dimensiones que proporciona explicaciones aceptables, en lugar de como herramientas para incrementar el número de dimensiones estudiadas con el fin de comprender fenómenos complicados. Esto está cambiando claramente por influencia de la ciencia de los sistemas complejos

—como puede verse, por ejemplo, en el mayor uso de modelos basados en agentes con numerosas dimensiones—, pero aún queda mucho por hacer, sobre todo en cuanto al desarrollo de instrumentos conceptuales y matemáticos y de un *software* adecuado.

Superación de la subdeterminación de nuestras teorías por las observaciones

De modo similar, y con la misma advertencia de que no soy profesional de este ámbito, parece que la recientísima revolución que se ha producido en la capacidad de las tecnologías de la información para supervisar continuamente procesos en línea y para manejar y almacenar el aumento exponencial de los flujos de datos que genera dicha supervisión, apunta hacia el hecho de que tal vez estemos próximos (al menos en parte) a superar la subdeterminación de nuestras teorías por nuestras observaciones debida a las prácticas científicas tradicionales de reducción dimensional (Atlan, 1992). La disminución del tamaño y del coste del equipo de supervisión está poniendo a nuestro alcance con rapidez todo este conjunto masivo de datos. Simultáneamente, el desarrollo de las nuevas técnicas de minería de datos nos está ayudando a encontrar sentido a la información recopilada, o al menos a seleccionar los datos susceptibles de análisis con el fin de fundamentar mejor nuestras teorías.

Transformación de nuestra tradición científica e intelectual

Aunque no soy de los que se deja encandilar fácilmente por las panaceas, estoy convencido de que el planteamiento de los sistemas complejos (adaptativos) constituye un primer paso de utilidad para transformar radicalmente nuestra tradición científica e intelectual, avanzando desde el estudio del estancamiento y la preferencia por las explicaciones simples frente a las complejas hacia el análisis de las dinámicas, poniendo el énfasis en la emergencia y en la inversión de la navaja de Occam incrementando el número de dimensiones que se toman en consideración.

Es obvio que aún tenemos mucho camino por delante en este ámbito, pero los rápidos e importantes avances que se están produciendo en ciertos campos, como la física, la biología y la economía, unidos a la rápida y reciente difusión de este enfoque desde universidades repartidas por todo el mundo y a la consciencia cada vez mayor de la necesidad de planteamientos más holísticos en terrenos como la sostenibilidad y la salud, me infunden un optimismo moderado sobre las posibilidades que tenemos de transformar nuestra tradición científica e intelectual.

El desafío de la comunicación

El desafío subyacente de la comunicación consiste en cómo comunicarse de formas no lineales y mediante el lenguaje escrito o hablado con un número cada vez mayor de colaboradores situados a distancias muy variables. Esta es la tendencia que, en mi opinión, ha sido la responsable de la evolución específica antes mencionada: conceptos cada vez más circunscritos y la consiguiente fragmentación de nuestra visión del mundo. A diferencia de algunos, no creo que el lenguaje esté experimentando un cambio deliberado: se adapta a las necesidades y a las ideas humanas mediante un proceso ascendente. Pero aunque se pudiera transformar nuestra manera de hablar y de escribir, seguiríamos disponiendo de un instrumento de comunicación básicamente lineal. La cuestión es, por tanto, si las formas radicalmente distintas de comunicarse de manera interactiva que nos proporcionan las modernas tecnologías de la comunicación, y en particular la acumulación colectiva de conocimientos multimedia, como sucede con Web 2.0, nos permitirán comunicarnos de forma no lineal y en más dimensiones. Esto requeriría el uso dirigido de material visual, que generalmente permite transmitir a la vez más dimensiones que el lenguaje hablado o escrito.

La transformación de nuestro pensamiento

El pensamiento reduccionista al que me estoy refiriendo está tan fuertemente interiorizado y

extendido en nuestra cultura y en nuestros tipos de ciencia que será necesario un gran esfuerzo para modificarlo. Nuestra visión del mundo, nuestro lenguaje, nuestras instituciones, todo actúa en contra de dicho cambio y, lo que es más importante, por el momento carecemos de una manera de pensar alternativa coherente con la que poder contrarrestar nuestra ciencia actual. Con mucho, para mí el principal problema desde el punto de vista del capital y del esfuerzo humano y económico reside, por tanto, en la esfera de la educación, desde la primera infancia y pasando por la universidad hasta la edad adulta. Por encima de todo, el sistema educativo actual en el mundo desarrollado ha dejado de estar adaptado a los desafíos del siglo XXI, entre los cuales destaca considerablemente la sostenibilidad. Tenemos que pasar de la obtención de conocimientos orientada a una investigación basada en las preguntas hacia una educación centrada en los desafíos que contribuya a subsanar retos importantes, es decir, desde la *explicación lineal* en términos de causa y efecto hasta la *proyección multidimensional* en términos de alternativas; o, lo que es lo mismo, desde la enseñanza de uno a muchos, en la que un instructor dice a los alumnos lo que tienen que hacer, lo que está bien y lo que está mal, hasta un aprendizaje de muchos a muchos en el que interactúen, aprendan y enseñen instructores y estudiantes. Al mismo tiempo, debemos crear sistemas educativos que fomenten el desarrollo de la creatividad, la asunción de riesgos y la diversidad en lugar de la conformidad y la aversión al riesgo. Para ello debemos aprovechar los medios antes mencionados, pero por encima de todo tenemos que flexibilizar nuestras mentes para pensar de formas nuevas e inéditas. Un obstáculo para ello es el hecho de que la economía, las estructuras de las carreras, las evaluaciones, el impulso disciplinario y muchos otros factores y dinámicas suponen un lastre para lograr el éxito en este sentido. Queda por tanto mucho camino que recorrer.

BIBLIOGRAFÍA

- ALP, I. E. (1994), «Measuring the size of working memory in very young children: the imitation sorting task», *International Journal of Behavioral Development* 17, pp. 125-141.
- ATLAN, H. (1992), «Self-organizing networks: weak, strong and intentional. The role of their underdetermination», *La Nuova Critica*, N. S., 19-20(1/2), pp. 51-70.
- BATESON, G. (1972), *Steps to an Ecology of Mind*, Nueva York: Ballantine.
- BETTENCOURT, L. M. A., J. LOBO, D. HELBING, C. KÜHNERT, G. B. WEST (2007) «Growth, innovation, scaling, and the pace of life in cities. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 104(17), pp. 7301-7306.
- BOYD, R., y P. J. RICHERSON (1985), *Culture and the Evolutionary Process*, Chicago: University of Chicago Press.
- CARLSON, S. M., L. J. MOSES y C. BRETON (2002), «How specific is the relation between executive function and theory of mind? Contributions of inhibitory control and working memory», *Infant Child Development* 11, pp. 73-92.
- CORRÉA, L. M. S. (1995), «An alternative assessment of children's comprehension of relative clauses», *Journal of Psycholinguistic Research* 24, pp. 183-203.
- CRONON, W. (1983), *Changes in the Land: Indians, colonists, and the ecology of New England*, Nueva York: Hill and Wang.
- DIAMOND, A., y B. DOAR (1989), «The performance of human infants on a measure of frontal cortex function, the delayed-response task», *Developmental Psychobiology* 22, pp. 271-294.
- EPSTEIN, H. T. (2002), «Evolution of the reasoning brain», *Behavioral Brain Science* 25, pp. 408-409.
- EVERNDEN, N. (1992), *The Social Creation of Nature*, Baltimore: Johns Hopkins Press.
- JOHNSON, J., V. FABIAN y J. PASCUAL-LEONE (1989), «Quantitative hardware stages that constrain language development», *Human Development* 32, pp. 245-271.
- KEMPS, E., S. DE RAMMELAERE y T. DESMET (2000), «The development of working memory: exploring the complementarity of two models», *Journal of Experimental Psychology* 77, pp. 89-109.
- KIDD, E. y E. L. BAVIN (2002), «English-speaking children's comprehension of relative clauses: evidence for general – cognitive and language-specific constraints on development», *Journal of Psycholinguistic Research* 31, pp. 599-617.
- LANE, D., R. MAXFIELD, D. W. READ y S. E. VAN DER LEEUW (2009), «From Population thinking to Organization thinking», en D. Lane, D. Pumain, S. E. van der Leeuw y G. West (eds.), *Complexity Perspectives on Innovation and Social Change*, pp. 11-42, Berlín: Springer (serie Methodos).
- LUCIANA, M., y C. A. NELSON (1998), «The functional emergence of prefrontally-guided working memory systems in four-to-eight-year old children», *Neuropsychologia* 36, pp. 273-293.
- MARTIN, R. D. (1981), «Relative brain size and basal metabolic rate in terrestrial vertebrates», *Nature* 293, pp. 57-60.
- MITCHELL, M. (2009), *Complexity: a guided tour*, Nueva York: Oxford University Press.
- OSTROM, E. (2009), «A General Framework for Analyzing Sustainability of Social-Ecological Systems», *Science* 325 (5939), pp. 419-422.
- PIGEOT, N. (1991), «Reflexions sur l'histoire technique de l'homme: De l'évolution cognitive à l'évolution culturelle», *Paléo* 3, pp. 167-200.
- POPPER, K. (1959), *The logic of scientific discovery*, Londres: Hutchinson.
- READ, D. W., D. A. LANE, y S. E. VAN DER LEEUW (2009), «The innovation innovation», en D. A. Lane, D. Pumain, S. E. van der Leeuw, G. West (eds.), *Complexity perspectives on innovation and social change*, Berlín: Springer Verlag.
- READ, D. W., y S. E. VAN DER LEEUW (2008), «Biology Is Only Part Of The Story...», *Philosophical Transactions of the Royal Society, Series B* 363, pp. 1959-1968.
- READ, D. W., y S. E. VAN DER LEEUW (2009), «Biology Is Only Part Of The Story...», en A. C. Renfrew y L. Malafouris, (eds.), *Sapient Mind*, Oxford: Oxford University Press, pp. 33-49.
- RIGHTMIRE, G. P. (2004), «Brain size and encephalization in Early to Mid-Pleistocene Homo», *American Journal of Physical Anthropology* 124, pp. 109-123.
- RUFF, C. B., E. TRINKHAUS y T. W. HOLLIDAY (1997), «Body mass and encephalization in Pleistocene Homo», *Nature* 387, pp. 173-176.
- SELIN, C. (2006), «Trust and the Illusive Force of Scenarios», *Futures* 38(1), pp. 1-14.
- SHANNON, C. E., y W. WEAVER (1948), «A mathematical theory of communication», *Bell System Technical Journal* 27, pp. 379-423 y 623-656.
- SIEGEL, L. S., y E. B. RYAN (1989), «The development of working memory in normally achieving and subtypes of learning disabled children», *Child Development* 60, pp. 973-980.
- TAINTER, J. A. (1988), *The Collapse of Ancient Societies*, Cambridge: Cambridge University Press.
- VAN DER LEEUW, S. E. (1986), «On settling down and becoming a "big-man"», en M. A. van Bakel, R. R. Hagesteijn y P. van de Velde (eds.), *Private Politics: a multi-disciplinary approach to 'Big-Man' systems*, Leiden: Brill Academic Publishers, pp. 33-47.
- VAN DER LEEUW, S. E. (1990), «Archaeology, Material Culture and Innovation», *SubStance* 62-63, pp. 92-109.
- VAN DER LEEUW, S. E. (2000), «Making tools from stone and clay», en A. Anderson y T. Murray (eds.), *Australian archaeologist: Collected papers in honour of Jim Allen*, Coombs: Academic Publishing.
- VAN DER LEEUW, S. E. (2007), «Information processing and its role in the rise of the European world system», en R. Costanza, L. J. Graumlich y W. Steffen (eds.), *Sustainability or collapse?*, Cambridge, MA: The MIT Press (Dahlem Workshop Reports), pp. 213-241.
- WILKINSON, A. y E. EIDINOW (2008), «Evolving practices in environmental scenarios: a new scenario typology», *Environmental Research Letters* 3(4) 045017.