

Epistemología de lo analógico. Una revolución material en la Era Digital

Wolfgang Schäffner[†]

Las tecnologías digitales y sus impactos en la vida humana se perciben cada vez más como procesos inmateriales y virtuales. Las operaciones informáticas ocurren en un hardware invisible y en las redes virtuales que parecen tratar la realidad física como algo externo. La materialidad sólo sirve como un soporte neutro para la implementación de los códigos digitales en el mundo físico. En este sentido la época de lo digital completa y radicaliza algo que se inició con la industrialización: la estrategia de considerar lo material como una base pasiva de las actividades artificiales. De tal modo se enfatiza la división clásica entre actividad y materialidad inerte concebida por René Descartes con la dicotomía entre el pensamiento —“res cogitans”— y el cuerpo o la realidad física —“res extensa” (Descartes, 1996, p. 37). Esta estrategia y sus tecnologías correlativas se han insertado globalmente en todas las realidades físicas y sociales durante los últimos 200 años y a una escala sin precedentes a partir de 1950. Produciendo un impacto destructivo sobre la naturaleza, la estrategia del material pasivo debe considerarse una causa esencial de la crisis antropocénica (Crutzen & Stoermer, 2000, pp. 17-18).

Frente a la idea de los códigos inmateriales que se insertan para controlar el mundo físico, en lo siguiente se enfocará la idea de una nueva relación entre lo material y lo inmaterial, entre material y código, en la que los materiales ya no se consideran una sustancia pasiva o mero soporte como es el fundamento incuestionable de nuestra tecnología. Hoy, en el apogeo de la Era Digital se está produciendo clandestinamente una revolución del material. Durante las últimas décadas un giro hacia la idea de una materia activa se está manifestando en los estudios de bio-materiales fibrosos y genera una suerte de fusión entre materialismo e idealismo.

.....
[†] Department of History and Theory of Culture at the Humboldt-Universität zu Berlin. Para contactar al autor, por favor, escribir a schaeffner@hu-berlin.de.

Los materiales activos constituyen un desafío esencial para el pensamiento filosófico porque nos llevan más allá de las epistemologías clásicas: materiales activos se presentan como la integración de dicotomías y distinciones clásicas en una misma estructura. Integran en su geometría material un código intrínseco, un diferente modo energético y forman la base de una *epistemología de lo analógico*. Lo analógico o el código analógico se consideran aquí como operaciones simbólico-materiales que no solo representan su información sino la ejecutan también físicamente. Esto va más allá de lo que conocemos como códigos alfanuméricos digitales, que solo procesan y representan las operaciones simbólicas sin transformarlas a la vez en la actividad física equivalente. Tal materialismo activo reúne lo inmaterial con lo material y hace posible un nuevo tipo de hardware. Por el contrario, el hardware digital se basa en el silicio como soporte neutro para la inscripción e implementación del programa digital. Los circuitos electrónicos que consisten en elementos lógicos de conmutación y sus conexiones operan según sus reglas simbólicas y procesan los impulsos eléctricos secuencialmente. En este sentido el hardware digital requiere una materialidad como el silicio que está absolutamente controlado por la manipulación externa. Es un artefacto que depende de la entrada de energía y señales externas para su funcionamiento.

Todo lo contrario es el material activo, entendido como un hardware analógico que ya no combina código y material mediante la implementación externa de algoritmos simbólicos en una base material pasiva, sino que encarna su fusión radical (Fratzl et al., 2022). Con el material activo la teoría de los medios se extiende a todo material, lo que significa que el hardware no está solo en las unidades centrales de procesamiento (CPU) sino por todos lados. El estudio de los materiales activos es un desafío que cambia el rol y la manera de hacer filosofía e historia de las ciencias y tecnologías: la filosofía ocurre, por un lado, como estamos acostumbrados en el archivo con el trabajo teórico-histórico, pero también incorpora la cooperación con las ciencias en el trabajo experimental y con los antropólogos en el trabajo de campo, y además su transformación a las prácticas proyectuales del diseño y de ingeniería. Todos estos métodos teóricos y prácticos se reúnen y convergen en una filosofía experimental e integradora que forma una parte esencial del laboratorio interdisciplinario “Matters of Activity”¹ en la Universidad Humboldt de Berlín.

Sólo con este enfoque interdisciplinario el estudio de esta revolución de materiales activos es posible. La elaboración de una epistemología material implica en sus procedimientos los experimentos modelo y los prototipos especulativos que permiten operar y reflexionar dentro de y con los materiales mismos. En lo analógico confluye lo simbólico y lo material, pero ya no más a través de los códigos alfanuméricos. Porque los códigos analógicos materializan lo que representan. Se trata de un materialismo simbólico que permite entrelazar intrínsecamente material, código y energía en una misma estructura material integrada (Fratzl & Schäffner, 2022, pp. 37-54).

.....

¹ Véase la página web “Matters of Activity. Image Space Material” (<https://www.matters-of-activity.de>).

Hemos llegado a un momento histórico sin precedentes: El viejo sueño de la coincidencia de las palabras y las cosas se refirió de manera distinta a la fusión de lo material y lo inmaterial. Actualmente se presenta de una manera diferente: Por un lado, existe la visión de la digitalización: Uno de los pasos más radicales en este sentido es la visión de los “átomos radicales”, desarrollado en el MIT Media Lab por Hiroshi Ishii y otros: “una generación hipotética de materiales que pueden cambiar la forma y la apariencia de manera dinámica, por lo que son tan reconfigurables como píxeles en una pantalla. Átomos Radicales es una visión para el futuro de las interacciones hombre-material, en la que toda la información digital tiene manifestación física” (Ishii et al., 2012). Esta inserción de lo digital en lo material permite imaginar los materiales maleables, blandos, en los llamados *smart matters*. Esta visión imagina a los átomos materiales que obedecen perfectamente a los códigos ajenos al material como tal, y cumple con la idea clásica de la materia pasiva e inerte que solo se transforma en movimiento o tecnología a través de una actividad aplicada desde lo externo. La estrategia de la materia pasiva está en el fondo de la destrucción tecnológica de la naturaleza. Lo que aquí se presenta va en dirección opuesta a una fusión completamente diferente entre lo material y lo inmaterial que puede ser vista como una revolución material que responde a la urgencia de la crisis global.

Para desarrollar este pensamiento analógico habrá que enfocarse en 1) la separación cibernética de lo material y la información como fue concebida en la segunda mitad del siglo xx; 2) esbozar el análisis de los materiales activos con dos fuentes diferentes basado en experimentos y prácticas modelo, 3) presentar el giro al diseño inspirado por los materiales activos como práctica filosófica, 4) las consecuencias para una teoría de la información, y finalmente 5) resumir los criterios esenciales para una epistemología de lo analógico.

Material pasivo y la división cibernética de información y materia

Concibiendo y fabricando los materiales como pasivos es una estrategia de dominio y control que el mundo moderno ha realizado con la tecnología. Y de este modo podían utilizarse como materiales fiables para la ingeniería mecánica. Sólo los componentes rígidos y estables podían actuar como elementos obedientes dentro de las máquinas, en la construcción de edificios o en otros artefactos. Durante el siglo XIX el uso del hierro, acero y hormigón reemplazó en gran medida a la madera como material de construcción. La producción masiva de estos materiales fue posible gracias a la energía barata del carbón, promotor esencial de la industrialización. El extractivismo global es otro componente importante dentro del paradigma de los materiales pasivos.² Además, el

.....
² Una visión actual sobre el extractivismo presenta Gudynas (2015).

hierro y el hormigón sirvieron como modelos del hilomorfismo, ya que en su estado líquido permitían moldear libremente cualquier forma o elemento mecánico.

De esta manera la actividad intrínseca de los materiales fue reducida a un mínimo, detectada y excluida como falla, defecto o disfunción. El invento de la madera contrachapada demuestra esta estrategia de silenciar y pasivar los materiales: Las direcciones de las fibras de cada capa apilada están orientadas en sentidos opuestos para neutralizar mutuamente su actividad (Eder et al., 2021). El material resultante consiste en el equilibrio de estas fuerzas intrínsecas que le dan un parecer pasivo. Si se aplican fuerzas más fuertes o humedad, la estructura estable puede “explotar” y ejercer su actividad interna. Lo más habitual para nosotros es el material que se produce de forma muy similar: el papel plano y seco como soporte pasivo que debería obedecer nuestras órdenes para almacenar la escritura.

Cualquier elemento modular de artefactos, cualquier máquina clásica o tecnología, desde la máquina de vapor, el ferrocarril, hasta las máquinas electrónicas y digitales se basan en los materiales pasivos tal es el caso del hierro, el cobre, el cristal o el silicio, dónde se implementan los códigos operativos desde el exterior. Por eso, la separación clásica del espíritu vivo y la materia muerta es mucho más que un modelo epistemológico u ontológico abstracto; es un principio que se realizó en nuestras tecnologías de manera radical. Como ejemplo paradigmático puede servir el brazo robótico, una pieza de mecánica material, donde las juntas controlables conectan los elementos rígidos a una cadena cinética que define sus movimientos posibles. Pero sólo la doble entrada, de energía y código externos, por dos cables diferentes hace que el brazo material pasivo se mueva de manera controlable. Esta estructura sigue todavía al modelo clásico de máquina dividida en tres partes: el motor, la transmisión o caja de cambios y la unidad de trabajo; un modelo que se acuñó en la *École Polytechnique* de París a principios del siglo XIX (Poncelet, 1845, p. 15).

El robot también está marcado por el desarrollo histórico de las máquinas hacia la electrificación, momento en que se hizo necesario que las operaciones técnicas se basaran en materiales pasivos, energía eléctrica y, por último, información procesada eléctricamente. Como resultado, las operaciones de control simbólico se separaron de las operaciones mecánicas. En términos de electricidad, la ingeniería de corriente débil del procesamiento de la información se separó de la ingeniería de corriente fuerte de la máquina de trabajo. Desde los inicios de la cibernética, la materia se concibe solo como un portador pasivo de energía e información y, por ende, esta sufrió una diferenciación aún más nítida de lo simbólico, como dijo Norbert Wiener: “La información es información, no materia ni energía. Ningún materialismo que no admita esto puede sobrevivir en la actualidad” (Wiener, 1961, p. 132). Esta triple separación es fundamental para la tecnología electrónica digital.

Actividad material – Material activo

El concepto de *materia activa* alcanzó notoriedad durante los últimos años en el contexto del nuevo materialismo (Schäffner, 2017, pp. 1-9; Bennett, 2010). Se relacionó tanto con los enjambres de pájaros que se homogeneizan como materia con una sola y simple regla de distanciamiento constante entre los elementos, como con los materiales propiamente dicho que desarrollan su actividad intrínseca. En lo siguiente haré hincapié en estos últimos que se encuentran en los materiales biológicos caracterizados por estar compuestos de fibras (Burgert & Fratzl, 2009, p. 367). En estos la relación entre código y material es completamente diferente. La comparación con el robot muestra que las aristas de algunas semillas representan un caso extraordinario de estructuras celulósicas activas.³ El material realiza una fuerte torsión por secado y elongación por humedad, ambas como operaciones reversibles. El cambio de temperatura y humedad entre el día y la noche desencadena y alimenta esa actividad, empujando la semilla hacia el suelo y metiéndose paso por paso. El sol inunda el sistema natural alterando las condiciones energéticas para los materiales periódicamente. Este cambio hace que la arista se mueva en una velocidad relativamente baja.

El biomaterial es un sistema abierto y compuesto por estructuras fibrosas. Sus propiedades dependen de las condiciones ambientales. El entorno interactúa con la estructura de la celulosa compuesta por microfibrillas y superficies internas hidrófilas o hidrófobas. La expansión y la contracción del material como actividades fundamentales suceden debido a la humedad que entra o sale de los intersticios e interfaces de la estructura celulósica. Es un material donde la geometría intrínseca define su comportamiento reaccionando a los cambios del entorno o las condiciones límites de la humedad y la temperatura. En las plantas, el comportamiento real depende de la geometría interna de las fibras de celulosa, cuyas propiedades pueden variar entre la rigidez y la flexibilidad.

Es evidente que dicho material debe entenderse de una manera diferente. Combina los tres componentes de una máquina: pero aquí, el motor, el engranaje, y la unidad de trabajo están integrados a la vez en una misma estructura geométrica. Contiene el código de su operación, se alimenta como motor con el intercambio de humedad con el exterior y actúa como sensor. Lo que le permite responder, adaptarse e interactuar con el contorno. Nada de esto ocurriría si el agua no actuara en las interfaces de la estructura material. Su actividad no se restringe a los materiales biológicos, sino que opera con cualquier material. Es aquí donde la investigación sobre los biomateriales activos se relaciona directamente con la física de la actividad de los materiales, impulsada por las interfaces internas, donde la atracción del agua controla tanto sus actividades mecánicas como eléctricas (Lin et al., 2019). Son la geometría del material y el agua con su carácter dipolar que establecen la base de la actividad energética del

.....

³ Para poner un ejemplo bien conocido: Las aristas son partes filiformes de las espigas de trigo.

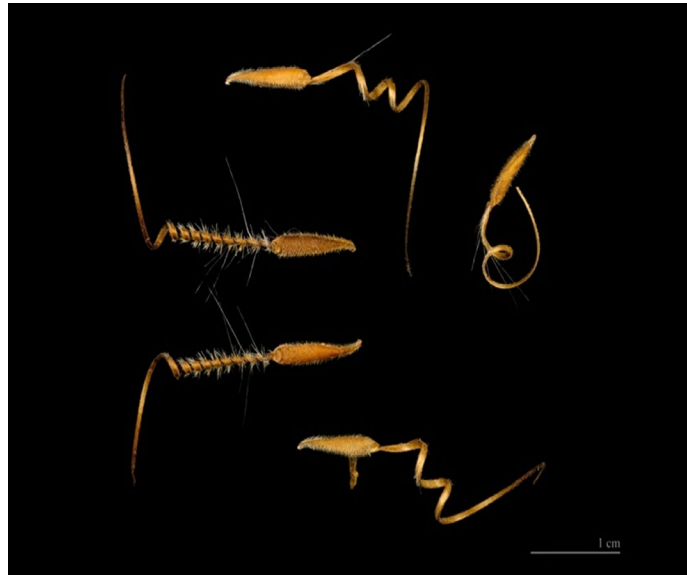


Imagen 1. Aristas de semillas de *Erodium cicutarium*. Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Erodium_cicutarium_MHNT.jpg

material: Es una geometría suave, elástica y húmeda de fibras, capas y estratos, y como tal no representa la equivalencia clásica entre geometría y cuerpos rígidos (Evans & Schröder-Turk, 2015). En el laboratorio interdisciplinario de la Universidad Humboldt de Berlín se entrecruzan los materiales activos de las semillas con las interfaces minerales: Sirven como experimentos modelo en el desarrollo de un código analógico. Esta colaboración constituye el contexto donde la filosofía va al laboratorio y la epistemología histórica y teórica se reúnen con una práctica experimental. Y esto puede ser considerado una filosofía experimental, donde el trabajo conceptual se convierte en operaciones materiales.

Lo simbólico o el código analógico aparecen como estructuras geométricas que se entienden desde la antigüedad como híbridas: Las operaciones geométricas se veían tanto ideales como físicas y extendidas. En lugar de la visión de la unión de palabras y cosas, hay que sustituir las palabras por objetos geométricos. Se trata de una idea vieja surgida entre Euclides y Epicuro que reúne lo material y lo geométrico en el átomo, el punto y el ángulo. Estos elementos nos sirven como perspectiva histórica para la genealogía del código analógico.⁴ Desarrollar conceptualmente la idea del material activo mediante experimentos materiales abre un mundo de nuevas posibilidades en nuestro laboratorio interdisciplinario.

.....
⁴ Esta genealogía de la geometría como código analógico es objeto de mis investigaciones desde hace años y se publicará próximamente en dos volúmenes (*El punto: Hacia una genealogía de lo analógico*). Para conocer los elementos de esta genealogía, véase: (Schäffner, 2005); sobre Epicuro: *Birth of Physics* (Serres, 2000).

El razonamiento a través de la geometría elástica y el agua puede ser transformado en experimentos enfocándose solo en el agua como el material más activo: En los experimentos de las nubes de Clemens Winkler el ambiente húmedo, que en la actividad de las semillas sirvió como actor mecánico estadístico, se convierte en el propio objeto de estudio.

La nube como compuesto de agua, aire y energía no es solo una fluctuación termodinámica, sino desarrolla una actividad material concreta: como los enjambres de animales que generan formaciones, las partículas del agua crean una homogeneidad que se percibe como nube (Popkin, 2016). El agua que por lo demás sirve como un medio energético se transforma en un objeto volador cuyo material es tan activo como la estructura material de la celulosa. Cuando la nube y la estructura de celulosa se encuentran en la mesa del laboratorio, se produce lo siguiente: la nube se transforma en ambiente para la estructura de mimbre que ahora comienza a reaccionar como una máquina.

Mientras esta primera fuente de inspiración se debe a la observación de los materiales activos en los laboratorios, una segunda fuente de inspiración consiste en el uso de materiales fibrosos de las culturas tradicionales. Prácticas como el trenzado y el tejido fueron desarrolladas durante largo tiempo. Incorporan conocimientos sobre la actividad de los materiales y pueden entenderse, en forma paralela a la naturaleza, como estrategias y soluciones técnicas basadas en la materia fibrosa activa (Arnold, Espejo & Maidana, 2013; Arnold & Espejo, 2019).



Imagen 2. Clemens Winkler, Exposición “Stretching Materials”, Matters of Activity, Berlín, 2022.

Es aquí donde las expertas de las prácticas culturales —en el caso de los tejidos se trata mayormente de mujeres— pueden ser incorporadas en el trabajo interdisciplinario de los materiales activos. La adaptación mutua entre la actividad de las fibras vegetales y animales y la artesanía humana constituye un saber importante en las comunidades tradicionales e indígenas ya perdido en los procesos industrializados. Es evidente que una nueva cultura de lo material también debe incluir los cambios fundamentales de perspectiva que se articulan en las cosmologías de las culturas tradicionales. En el núcleo de las ontologías de tales comunidades se encuentran inversiones y disoluciones de la relación moderna del sujeto activo y objeto pasivo: los animales, las plantas y los materiales pueden experimentarse como actores personificados cuya esencia es un ser humano, y no una naturaleza ajena y desconocida. Este “perspectivismo” descrito por antropólogos como Eduardo Viveiros de Castro, Tânia Stolze Lima, o Eduardo Kohn (Viveiros de Castro, 1996, 2013; Stolze Lima, 2005; Kohn, 2013) se manifiesta en estas prácticas tradicionales cuyo estudio requiere del trabajo colaborativo: Eligiendo el uso de las fibras como una práctica modelo se trata de entender la lógica de fibras activas desde el hilado con el huso manual hasta el tejido con los telares y el diseño de las estructuras tridimensionales de las fibras. En este contexto los textiles se convierten en seres activos y adaptativos con “ojos” insertados y pasan a ser parte de las redes de actores sociales. Las prácticas tradicionales se adaptaron a los materiales naturales cuya actividad inherente se integró en sus procedimientos. Al mismo tiempo fueron capaces de almacenar y transmitir esa inteligencia como operaciones heredadas. En América Latina pueden encontrarse en las zonas rurales, pero también en las áreas urbanas híbridas. Y son estas prácticas y las comunidades asociadas a ellas que están peligro de desaparecer.

Giro al diseño como práctica filosófica

El trabajo conceptual de la epistemología de lo analógico incorpora las prácticas de manera esencial. Lo analógico es simbólico, inmaterial y material a la vez. Los experimentos modelo con las fibras de las semillas, las interfaces físicas y la nube experimental, al igual que los tejidos se encuentran en la mesa de la epistemología experimental produciendo una fusión radical entre la teoría y la práctica material. El trabajo conceptual enfocado en el rol epistemológico de la geometría, las estructuras espaciales, se retroalimenta con las prácticas en el laboratorio y en el campo.

Pero en los experimentos modelo los materiales activos solo se analizan para entender su modo operativo e interactivo dentro de su contexto original. Para pasar de un simple análisis a la transformación de los materiales activos en un nuevo tipo de tecnología blanda, un nuevo *soft y wetware*, haría falta entrar en el mundo proyectual. Aquí la fusión entre teoría y práctica se hace vigente en su manera esencial. El análisis teórico y experimental todavía no produce consecuencias concretas. Recordemos la

famosa frase de Karl Marx, la tesis XI de su tesis de Feuerbach (1845), puesta en la escalinata del hall de la Universidad Humboldt en Berlín donde se lee: “Los filósofos no han hecho más que interpretar de diversos modos el mundo, pero de lo que se trata es de transformarlo”.⁵ Es necesario un giro al diseño para que la filosofía vincule su análisis crítico con el hacer (Schäffner, 2010; Ribault, 2022). El nuevo impacto filosófico, sin embargo, tiene que ocurrir de una manera diferente para evitar las formas destructivas que sufrió y sufre la naturaleza, y en consecuencia nosotros mismos. Para ello hace falta un diseño cuidadoso, como dijo Bruno Latour (Latour, 2009), una revolución material que no sea violenta sino inspirada por los materiales biológicos. Eso supone un cambio radical en la estrategia: Mientras el diseño se entienda como la implementación de ideas preconcebidas para generar productos materializados, el material sigue desempeñando el papel de un receptor pasivo. El diseño —especialmente en su forma moderna hasta la impresión 3D, la biología sintética o la realidad virtual— es un proceso altamente invasivo que se sustenta en materiales pasivos: Este núcleo idealista del diseño es igual al proceso clásico de ingeniería de la implementación y, por tanto, forma parte de la misma estrategia hilomórfica.

Esta situación cambia radicalmente cuando tomamos la actividad intrínseca del material como punto de partida en los procesos de diseño (Schäffner, 2022). Así, el diseño se transforma de un procedimiento invasivo en un proceso que incluye la adaptación mutua entre el material, las circunstancias ambientales y el proceso de construcción. Y es obvio que este proceso es comparable a las prácticas culturales tradicionales desarrolladas durante mucho tiempo y, sobre todo, a los procesos naturales del crecimiento biológico. El hardware analógico como se descubre en los materiales activos requiere, por lo tanto, en vez de implementar la inteligencia humana en el mundo físico, un nuevo tipo de procedimiento.

Para diseñar los procesos materiales analógicos hay que comenzar a transferir la mecánica suave de las fibras en nuevos contextos y entender estos dispositivos como la posibilidad de un nuevo mundo tecnológico. Se obtendría algo que se podría definir como máquinas blandas y húmedas que ya no funcionan con engranajes ni con circuitos digitales. En el taller de diseño interdisciplinario de la Universidad Humboldt la especulación epistemológica se transforma y se materializa en prototipos de artefactos para una tecnología del futuro. Esta filosofía con las fibras permite transformar el diseño especulativo en objetos concretos. Es un procedimiento que se puede considerar una biologización de la tecnología, o, para usar un concepto de Immanuel Kant, el análisis y síntesis de una “tecnología de la naturaleza” (Kant, 1876). Esa perspectiva elaborada en la *Critica del Juicio* puede entenderse como el inicio de una bio-tecnología (Tamborini, 2022). Según Kant los elementos de la naturaleza biológica se perciben como tecnología diseñada. Por eso, los prototipos especulativos que resultan de este proceso intentan explorar las nuevas posibilidades de los materiales. El uso de las

.....
⁵ Karl Marx (1845): Tesis sobre Feuerbach, tesis XI; https://es.wikisource.org/wiki/Tesis_sobre_Feuerbach.

fibras no se queda restringido al contexto de textiles o a la optimización de las técnicas clásicas. Sino las fibras flexibles forman la base de una nueva mecánica suave que puede desarrollarse en un proceso adaptivo.

Más allá de Claude Shannon

Para elaborar la lógica compleja de las fibras que constituye un sistema operativo de geometría del entrelazamiento hay que incorporar las tres formas mecánicas elementales de girar, plegar y estirar. Las estructuras elásticas con su geometría interna definen un código específico. El material puede considerarse un operador en sí que contiene un cierto código y transforma un input en un output diferente (Fratzl & Schäffner, 2022).

Es evidente que eso implica una diferente teoría de la información. La teoría clásica de Claude Shannon está basada en que la información debe transmitirse de un emisor a un receptor que se considera una entidad vacía porque no contiene información sobre su propio comportamiento, y por lo tanto, debe ser entendido como un soporte pasivo para obedecer al código recibido desde el exterior. La tecnología digital enfatiza la transmisión y el procesamiento de la información como un flujo secuencial de señales eléctricas discretas. Por tanto, el hardware se basa en un material que es un soporte neutro para la transmisión de las señales. El material de los circuitos eléctricos constituye un diagrama de flujo. De este modo, las operaciones lógicas que durante más de 2000 años se procesaron en papiro, papel o el cerebro, pudieron ser “interpretadas”, según Shannon en su tesis de maestría de 1936, como circuitos eléctricos y transferidas a las máquinas electrónicas.⁶ Esta estructura informática está profundamente marcada por esas condiciones eléctricas. Además, refleja la vieja ideología de “res cogitans” que contiene toda la información, mientras “res extensa” carece de ella y solo sirve como espacio vacío o tabula rasa de la transmisión.

Si hoy analizamos los materiales biológicos como códigos materiales, se genera una situación parecida a los años 50, cuando se intentó introducir la teoría de la información en la biología. Nuestra extensión del concepto de código a los materiales biológicos va mucho más allá del ADN. En su famoso ensayo: *What is life?* (1944) Erwin Schrödinger subrayó que el gen debía considerarse como una forma muy especial de código: “El término código-script es, por supuesto, demasiado estrecho. Las estructuras cromosómicas son, al mismo tiempo, un instrumento para llevar a cabo el desarrollo que presagian. Son el código de la ley y el poder ejecutivo —o para usar otro símil, el plan del arquitecto y el oficio del constructor— en uno” (Schrödinger, 1992, p. 20). Sin embargo, la idea de los códigos digitales y genéticos siguen manteniéndose en el ámbito de los mensajes y el lenguaje, reduciéndose a procedimientos lineales secuenciales que están caracterizados por la transmisión.

.....

⁶ La tesis de maestría de Shannon de 1936 se publicó en una revista: Shannon, 1993; la cita es de p. 474.

También el matemático René Thom criticó esta idea reducida de la información en biología en 1972: “A veces se dice que toda información es un mensaje, es decir, una secuencia finita de letras tomadas de un alfabeto, pero éste es sólo uno de los aspectos posibles de la información; cualquier forma geométrica puede ser portadora de información”. Thom criticó el uso del concepto de código con el ADN que significa “reducir su complejidad topológica[...], y tirar por la borda casi todo su significado” (Thom, 2018, pp. 144-145, p. 157). Se refiere precisamente a la complejidad espacial y topológica que actúa en todas las estructuras materiales. Y ese carácter geométrico se convierte en el punto de partida para una nueva comprensión del código.

Desde entonces, en el contexto de la biología se discute la insuficiencia de la teoría de la información para explicar los modos funcionales e interactivos referidos principalmente a la transición de lo no vivo a lo vivo, y de los sistemas vivos a los que poseen consciencia. En su libro *Incomplete Nature* (2011), Terrence Deacon intenta concebir estos umbrales mediante potencialidades simbólicas que emergen dentro de estructuras jerárquicas anidadas.⁷ Nuestro análisis de los materiales no aborda principalmente la “vida” o la “conciencia”, sino se concentra en lo más básico posible: en las cualidades activas y simbólicas fundamentales del material y su estructura codificada. En consecuencia, hablar de material activo no es añadir una dimensión adicional a la materia, sino hacer visibles la memoria y las potencialidades más allá de la mera presencia de una estructura material.

Hacia un código analógico

Ya se mencionaron una serie de características del material activo que serían esenciales para desarrollar la idea de un código materializado diferente a los códigos conocidos. Este código analógico es intrínseco e inseparable de su material y se realiza mecánicamente. Para concluir se pueden resumir las siguientes características:

a) **El material con su geometría blanda y húmeda permite una estructura operativa integrada:** Resulta evidente el papel dominante de las estructuras geométricas y morfológicas: puntos, defectos puntuales, agujeros, fibras, capas, interfaces, estructuras hiperbólicas, etc.; siendo las operaciones geométricas los elementos más activos que producen relaciones y límites que redefinen la propiedad del material entrelazando la estructura y su entorno. Aquí es donde la información y lo simbólico emergen como un proceso intrínseco de los materiales. Las fibras como elementos lineales generan estructuras complejas y forman parte de capas jerárquicas. Un ejemplo importante son las semillas con sus estructuras de nidos de abeja que son actuadores esenciales que operan ante el impacto del agua. Son máquinas que permiten a las semillas perforar el

.....

⁷ Deacon habla de estructuras de “nested hierarchy” (Deacon, 2012, p. 270).

suelo. Otros efectos pueden ser los tejidos auto-formables que permiten elaborar las mecánicas blandas para nuevas tecnologías.

Todas estas operaciones geométricas y mecánicas deben elaborarse como una lógica de las fibras, un requisito necesario para la teoría del código analógico. Las fibras establecen estructuras integradas y energéticas, y por eso actualmente la geometría redescubre a D'Arcy Thompson (Hyde et al., 2017, pp. 1-3). Y como máquina, las fibras integran en una misma estructura activa el motor, el engranaje o procesamiento informático, y la unidad de trabajo. Con la integración de las operaciones mecánicas e informáticas se supera la separación cibernética: Las fibras son dispositivos muy pequeños y reúnen el procesamiento de la información con el trabajo mecánico; para alcanzar el manejo de mayor fuerza se componen muchas unidades pequeñas. Una fibra celulósica se multiplica muchas veces para resultar en un mecanismo fuerte. La composición de las microfibrillas y sus ángulos de orientación definen el carácter operativo de la madera. Además, su carácter adaptativo y relacional-operativo entrelaza profundamente las estructuras y los entornos como límites de los límites, donde la materia, la energía y la información están intrínsecamente integradas.

b) Una característica importante es la inversión epistemológica que las restricciones no reducen, sino aumentan la información: La materia no es una sustancia, sino un operador y una relación entre algo presente y algo ausente, algo que no es, o que todavía no es. Eso puede ser por un lado una memoria que se refiere a algo ocurrido que ya no es presente, pero que todavía produce un impacto; por otro lado, las potencialidades que definen lo que puede ocurrir. Con eso lo material se caracteriza como lo simbólico. Esa ausencia es la “incompleteness” de la naturaleza que es el tema del libro de DeaconTerrence: *Incomplete Nature* (2012, pp. 22-31). y para nosotros es el núcleo de la cuestión sobre el material activo. Las funciones, los procesos responsivos, adaptativos y las potencialidades como elementos básicos de la dimensión simbólica resultan de esta ausencia inherente a la estructura geométrica de los materiales. Pero la dimensión simbólica no es un elemento adicional, sino una característica intrínseca de los materiales activos y, por lo tanto, la condición básica de un código analógico.

Es útil recordar de nuevo el brazo robótico en el que la función es añadida externamente por el código transmitido. Por eso hace falta invertir esta idea clásica de función: Como efecto de las restricciones impuestas que impiden hacer todo lo posible, una función no es una adición a su material y energía: “Esta visión diferente de la función se reconoce fácilmente en el caso del fallo de la máquina. Cuando las restricciones se rompen y los estados o comportamientos de la máquina antes restringidos se vuelven posibles, la funcionalidad se degrada” (Deacon, 2013, p. 129). No es la implementación del código en el material, sino que son las restricciones —“constraints”— y las condiciones límite de las estructuras geométricas que reducen los grados de libertad y

producen la información. Se trata de una inversión fundamental para toda la cuestión de información y código.

c) Relacionado con este proceso de restricciones está la producción de la información a través de estructuras emergentes: La teoría de la información usa un modelo centralizado. Concibe un emisor central que transfiere la información a los receptores y provoca en el sistema digital una transmisión masiva de código y datos. El material activo ya contiene en todos lados mucha información o posibilita procesos de emergencia de estructuras (Dunlop et al., 2020). Las restricciones que limitan los grados de libertad de posibles operaciones o formas, también inician la emergencia de estructuras basadas en reglas muy simples. En vez de transmitir toda la información de esta estructura, en los materiales activos sólo se inicia un mecanismo disparador que activa un proceso que hace emerger estructuras complejas. Todo está lleno de elementos activos y en consecuencia lleno de información que asimismo se pueden expresar más con los modos de emergencia y que no dependen tanto de la transmisión de información: El hardware está en todos lados.

Por último, d) es importante la coordinación entre una multitud de elementos que genera estructuras sumamente complejas (conectomas): Materia activa es interacción compleja entre actores múltiples. Cuando nos referimos a las fibras o las estructuras de nidos de abeja se trata todavía de estructuras elementales locales que también pueden formar constelaciones mucho más complejas. Estos *conectomas* (Seung, 2012) pueden funcionar también a través de mecánicas conectivas y permiten de tal modo la interacción analógica de estructuras complejas. Están vigentes cuando un gusano de seda teje una estructura compleja como un capullo, y cuando miles de bacterias elaboran un biofilm como una estructura que incluye las estructuras complejas de tenseguridad (Buckminster Fuller, 1997).

Estas características indican una relación íntima entre material, energía e información: El material entendido como operador y máquina integrada que es a la vez su propio código material es un dispositivo rotundamente revolucionario en comparación con las máquinas que conocemos, las clásicas o las codificadas digitalmente. En el trasfondo de la revolución digital se está produciendo un cambio aún más radical en el ámbito de los propios materiales. El hecho de que ahora examinemos la propia materia como máquinas y códigos representa —frente a lo digital— una especie de reinicio para entrar en un nuevo mundo de lo analógico. La epistemología de lo analógico necesaria para esta revolución material puede considerarse el desafío filosófico más importante de la actualidad. No solo respondería la urgencia de la crisis global sino también fomentaría un diseño adaptativo capaz de fusionar procesos técnicos y naturales de forma no destructiva.

Referencias

- Arnold, D. Y., Espejo, A. E., & Maidana, R. F. L. (2013). *Tejiendo la vida: La colección textil del Museo Nacional de Etnografía y Folklore, según la cadena de producción*.
- Arnold, D. Y., & Espejo, A. E. (2019). *Ciencia de tejer en los Andes. Estructuras y técnicas de faz de urdimbre*.
- Bennett, J. (2010). *Vibrant Matter. A political Ecology of Things*. Duke University Press.
- Buckminster Fuller, R. (1997). *Synergetics. Explorations in the Geometry of Thinking*. Sebastopol.
- Burgert, I., & Fratzl, P. (2009). Actuation systems in plants as prototypes for bio-inspired devices. *Phil. Trans. R. Soc. A.*, 367(1893), 1541-1557. <https://doi.org/10.1098/rsta.2009.0003>
- Crutzen, P., & Stoermer, E. (2000). The Anthropocene. *Global Change Newsletter*, 41, 17-18.
- Deacon, T. (2012). *Incomplete Nature. How mind emerged from matter*. W. W. Norton.
- Deacon, T. (2013). Shannon —Boltzmann— Darwin. Redefining Information (Part I). *Cognitive Semiotics*, 1(1), 123-148. <https://doi.org/10.1515/cogsem.2007.1.fall2007.123>
- Dunlop, J. W. C., Zickler, G. A., Weinkamer, R., Fischer, F. D., & Fratzl, P. (2020). The Emergence of Complexity from a Simple Model for Tissue Growth. *Journal of Statistical Physics*, 180, 459-473. <https://doi.org/10.1007/s10955-019-02461-7>
- Eder, M., Schöffner, W., Burgert, I., & Fratzl, P. (2021). Wood and the activity of dead tissue. *Advanced Materials*, 33(28), 1-15. <https://doi.org/10.1002/adma.202001412>
- Evans, M. E., & Schröder-Turk, G. E. (2015). In a material world: Hyperbolic geometry in biological materials. *Asia Pacific Mathematical Newsletter*, 5(2), 21-30. http://www.asiapacific-mathnews.com/05/0502/0021_0030.pdf
- Fratzl, P., Friedman, M., Krauthausen, K., & Schöffner, W. (Eds.). (2022). *Active Materials*. De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110562064>
- Fratzl, P., & Schöffner, W. (2022). On the Activity of Materials. En P. Fratzl, M. Friedman, K. Krauthausen & W. Schöffner (Eds.), *Active Materials* (pp. 37-54). De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110562064-002>
- Gudynas, E. (2015). *Extractivismos. Ecología, economía y política de un modo de entender el desarrollo y la Naturaleza*. CEDIB.
- Hyde, S. T., Schröder-Turk, G. E., Evans, M., & Wilts B. D. (2017). Emergence and function of complex form in self-assembly and biological cells. *Interface Focus*, 7(4), 1-3.
- Ishii, H., Lakatos, D., Bonnani, L., & Labrune, J.-B. (2012). Radical Atoms: Beyond tangible bits, toward transformable materials. *Interactions*, XIX(1), 38-51. <https://doi.org/10.1145/2065327.2065337>
- Kant, I. (1876). *Critica del juicio* (pp. 201-228). Biblioteca virtual Miguel de Cervantes. <http://www.cervantesvirtual.com>
- Kohn, E. (2013). *How Forests Think. Toward an Anthropology beyond the Human*. University of California Press.
- Latour, B. (2009). A Cautious Prometheus? A Few Steps Toward a Design Philosophy (with Special Attention to Peter Sloterdijk). En J. Glynn, F. Hackney & V. Minton (Eds.), *Proceedings of the 2008 Annual International Conference of the Design History Society* (pp. 2-10). Falmouth/E-books/Universal Publishers.

- Lin, H., Rauf, A., Severin, N., Sokolov, I., & Rabe, J. P. (2019). Influence of Interface Hydration on Sliding of Graphene and Molybdenum-Disulfide Single-Layers. *J. Colloid Interface Sci*, 540, 142-147. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2018.12.089>
- Poncelet, J. V. (1845). *Traité de mécanique industrielle: exposant les différentes méthodes pour déterminer et mesurer les forces motrices, ainsi que le travail mécanique des forces* (Vol. 2). Liège.
- Popkin, G. (2016). Physics of Life. *Nature*, 529(7584), 16-18. <https://doi.org/10.1038/529016a>
- René Descartes. (1996). *Meditations on First Philosophy. With Selections from the Objections and Replies* (J. Cottingham, Ed.). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511805028>
- Ribault, P. (2022). *Design, Gestaltung, Formativität: Philosophies of Making*. Birkhäuser. <https://doi.org/10.1515/9783035622447>
- Schäffner, W. (2005). The Point: The Smallest Venue of Knowledge in the 17th Century (1585-1665). In H. Schramm, L. Schwarte & J. Lazardzig (Eds.), *Volume 1 Collection - Laboratory - Theater: Scenes of Knowledge in the 17th Century* (pp. 57-74). De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110201550.57>
- Schäffner, W. (2010). The Design Turn: Una revolución científica en el espíritu del diseño. *Revista Kepes*, 7(6), 61-78.
- Schäffner, W. (2017). Active Matter. In M. Lauschke & P. Schneider (Eds.), *23 Manifeste zu Bildakt und Verkörperung* (pp. 1-9). De Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783110561913-002>
- Schäffner, W. (2022). The Design Turn 2.0. In P. Ribault (Ed.), *Design, Gestaltung, Formativität: Philosophies of Making* (pp. 183-193). Birkhäuser. <https://doi.org/10.1515/9783035622447-014>
- Schrödinger, E. (1992). *What is Life?* [1944]. Cambridge University Press.
- Serres, M. (2000). *Birth of Physics*. Clinamen Press.
- Seung, S. (2012). *Connectome: How the Brain's Wiring Makes Us Who We Are*. Mariner Books.
- Shannon, C. E. (1993). *Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits* [1938]. In N. J. A. Sloane & A. D. Wyner (Eds.). *Collected Papers*. IEEE Press.
- Stolze Lima T. (2005). *Um peixe olhou para mim: o povo Yudjá e a perspectiva*. SciELO – Editora UNESP. <https://doi.org/10.7476/9788539303441>
- Tamborini, M. (2022). *Entgrenzung. Die Biologisierung der Technik und die Technisierung der Biologie*. Felix Meiner Verlag. <https://doi.org/10.28937/978-3-7873-4255-6>
- Thom R. (2018). *Structural Stability and Morphogenesis. An Outline of a General Theory of Models* [1972]. Boca Raton.
- Viveiros de Castro, E. (1996). Os pronomes cosmológicos e o perspectivismo ameríndio. *MANA*, 2(2), 115-144. <https://doi.org/10.1590/S0104-93131996000200005>
- Viveiros de Castro, E. (2013). *La mirada del jaguar. Introducción al perspectivismo ameríndio. Entrevistas*. Tinta limón.
- Wiener, N. (1961). *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine*. MIT Press.

