

# Navegando a través de las dimensiones de la materialidad y la historia: la escala como lente para comprender relaciones sociotécnicas dinámicas y acumulativas

**Cómo citar este artículo:** Spero, E. F., & Ortiz, C. (2021). Navegando a través de las dimensiones de la materialidad y la historia: la escala como lente para comprender relaciones sociotécnicas dinámicas y acumulativas. *Diseña*, (18), Article.1. <https://doi.org/10.7764/disena.18.Article.1>

DISEÑA | 18

ENERO 2021

ISSN 0718-8447 (impreso)

2452-4298 (electrónico)

COPYRIGHT: CC BY-SA 3.0 CL

## Artículo de investigación original

Recepción

04 ENE 2020

Aceptación

27 ENE 2021

[Traducción al inglés aquí](#)

**Ellan F. Spero**

Massachusetts Institute of Technology  
Station1

**Christine Ortiz**

Massachusetts Institute of Technology  
Station1



A través del lente de la escala, este artículo combina conocimientos y perspectivas de la historia de la tecnología, por un lado, y de la ciencia y la ingeniería de los materiales, por otro, para examinar la materialidad de los sistemas tecnológicos ubicuos y cotidianos que, con frecuencia, permanecen ocultos. Se examina el caso simultáneamente excepcional y prosaico de los materiales que sustentan el proceso de filtración de agua en una ciudad manufacturera del siglo XIX en los Estados Unidos. El análisis de los vínculos entre estructura, propiedad, procesamiento y rendimiento de los materiales se integra con enfoques históricos de los paisajes tecnológicos, la co-construcción de uso y valor y las narrativas de progreso. Este estudio proporciona información sobre las dinámicas relaciones sociales y materiales que cambian a través de las escalas, así como acerca de los mecanismos y las influencias acumulativas de los constituyentes materiales de sistemas sociotécnicos más grandes. La contribución se inscribe en el marco de la ciencia y la tecnología con orientación social. Finalmente, se discute la implementación de este marco en instituciones nuevas y existentes de educación superior.

#### Palabras clave

Materiales

Escala

Infraestructura

Ciencia y tecnología con orientación social

Pedagogía

**Ellan F. Spero**—Licenciada en Ciencias y Máster en Ciencias de la Fibra y Diseño de Vestuario, Cornell University. Máster en Estudios Museográficos y Conservación de Textiles, Fashion Institute of Technology. PhD en Historia, Antropología, Ciencia, Tecnología y Sociedad, Massachusetts Institute of Technology. Spero es Instructora en el Departamento de Ciencia e Ingeniería de Materiales del MIT, y co-fundadora y profesora en StationI, una institución de educación superior sin fines de lucro enfocada en ciencia y tecnología con orientación social. Sus áreas de investigación incluyen las narrativas de progreso, los sistemas de producción, los ecosistemas académico-industriales y las infraestructuras socio-materiales. Spero es autora de "The Tua Valley in Transition, Symbol and Technological Landscape" (con H. S. Pereira; *CEM Cultura, Espaço e Memória / Culture, Space & Memory*, n° 7), "A Garden City for Progress and Harmony: Singapore at the Osaka 1970 Expo" (en S. G. Knowles y A. Molella, eds.; *World's Fairs in the Era of the Cold War*; University of Pittsburgh Press, 2019) y "An Entrepreneurial Opportunity in Process: Creating an Industrial Fellowship in Early Twentieth Century America" (*Management and Organizational History*, vol. 12, n° 3).

**Christine Ortiz**—Licenciada en Ciencias e Ingeniería de Materiales, Rensselaer Polytechnic Institute. Máster en Ciencias y PhD en Ciencia e Ingeniería de los Materiales, Cornell University. Ortiz es Morris Cohen Professor de Ciencia e Ingeniería de los Materiales en el Departamento de Ciencia e Ingeniería de Materiales del MIT y fundadora de StationI, una institución de educación superior sin fines de lucro enfocada en ciencia y tecnología con orientación social. Sus áreas de investigación incluyen el diseño y la mecánica de materiales multiescalares, los enfoques socio-resilientes para el desarrollo de materiales, los materiales biológicos, los materiales y las nanotecnologías, el modelado y la simulación de materiales, la microscopía de materiales de alta resolución y los materiales biológicos y de inspiración biológica. Ortiz es autora de más de 195 publicaciones académicas, entre las que se incluyen: "Bioinspired Structural Materials" (con M. C. Boyce, *Science*, vol. 319, n° 5866), "Multifunctionality of Chiton Biomineralized Armor with an Integrated Visual System" (con L. Li, et al., *Science*, vol. 350, n° 6263) y "Hierarchical Structural Design for Fracture Resistance in the Shell of the Pteropod *Chio pyramidata*" (con L. Li, y J. C. Weaver, *Nature Communications*, 6, 6216).

## **Navegando a través de las dimensiones de la materialidad y la historia: la escala como lente para comprender relaciones sociotécnicas dinámicas y acumulativas**

### **Ellan F. Spero**

Massachusetts Institute of Technology  
Departamento de Ciencia e Ingeniería de Materiales  
Cambridge, EE. UU.  
Station1  
Lawrence, EE. UU.  
[efs8@mit.edu](mailto:efs8@mit.edu)

### **Christine Ortiz**

Massachusetts Institute of Technology  
Departamento de Ciencia e Ingeniería de Materiales  
Cambridge, EE. UU.  
Station1  
Lawrence, EE. UU.  
[cortiz@mit.edu](mailto:cortiz@mit.edu)

### **PERSPECTIVAS ACERCA DE LA ESCALA A TRAVÉS DE LOS MATERIALES Y LA HISTORIA**

Este artículo combina conocimientos y perspectivas de la historia de la tecnología, por un lado, y de la ciencia y la ingeniería de los materiales, por otro, para examinar, a través del lente de la escala, la materialidad de ciertos sistemas tecnológicos ubicuos que tan a menudo se ocultan a la experiencia cotidiana. Consideramos el caso simultáneamente excepcional y prosaico de los materiales que fueron constituyentes críticos en el proceso de filtración de agua, tal como se desarrolló a fines del siglo XIX en una ciudad manufacturera de los Estados Unidos. El valor de este tipo de análisis histórico de los sistemas socio-técnicos se enmarca en la práctica de investigación y educación en ciencia y tecnología con orientación social.

La escala es un poderoso lente que permite enfocar las dimensiones sociales y técnicas de los mundos materiales que nos rodean. Puede ayudarnos a evaluar los desafíos del presente mientras nos basamos en el pasado y miramos hacia adelante para dar forma a un futuro más sostenible y equitativo. Hacer participar la escala —ya sea en términos de longitud, masa, volumen, densidad, temperatura o tiempo— constituye un modo de investigación altamente productivo para historiadores, científicos, ingenieros y diseñadores. Aquí nos enfocamos en la escala dimensional, haciendo notar que los enfoques de demarcación, cruce, visualización o manipulación pueden variar según corresponda a los respectivos modos disciplinares de investigación. Pensar a través de las dimensiones implica un compromiso intencional con un cambio de perspectiva, del mismo modo que pensar interdisciplinar-

mente puede involucrar un viaje entre lo familiar y lo aún desconocido, para acumular evidencia, construir conocimiento tácito y expandir la imaginación en el trayecto.

La escala ha sostenido el campo multidisciplinario de la ciencia y la ingeniería de materiales (MSE, por sus siglas en inglés) desde su aparición como disciplina académica formal a principios del siglo xx. Una convergencia de escalas se produjo a consecuencia de la hibridación de los estudios de nivel atómico y molecular que se llevaban a cabo en los ámbitos de la física y la química, por un lado, con la manipulación tecnológica de la materia en los campos de la ingeniería, por otro, abarcando así prácticas de investigación y desarrollo entre las distintas disciplinas (en este caso, la física y la química) (Bensaude-Vincent, 2016). La ciencia e ingeniería de materiales comprende

la estructura y la composición de un material, incluido el tipo de átomos y su disposición, según se observa en el rango de escalas de longitud (nano, micro, meso y macro escala); la síntesis y el procesamiento mediante los cuales se logra una disposición particular de los átomos; las propiedades del material que resultan de la disposición de los átomos y que hacen que el material sea interesante o útil; el rendimiento del material, es decir, la medición de su utilidad en condiciones reales, teniendo en cuenta los costos y los beneficios económicos y sociales (Flemings, 1999, pp. 1-2).

Este marco disciplinario fue conceptualmente visualizado en 1986 en la forma de un tetraedro con estos componentes integrados colocados en los vértices (Flemings, 1986). La trayectoria de la ciencia e ingeniería de materiales ha estado fuertemente influenciada por el desarrollo y la disponibilidad de instrumentos experimentales especializados y herramientas computacionales, los que juegan un papel clave en la creación de comunidades de práctica, a menudo enfocadas en torno a escalas accesibles particulares (Mody, 2011). Tanto las narrativas de escala como los nuevos métodos que amplían las capacidades de investigación hacia gamas y tipos más amplios de escalas han impulsado este campo de estudio, tal como en los casos notables de los polímeros (Perkins, et al., 1994; de Gennes, 1979) y la nanotecnología (Binnig et al., 1986; Drexler, 1986; Feynman, 1960). En las últimas décadas, las capacidades experimentales y computacionales han seguido avanzando, y con ellas las narrativas aspiracionales de los “materiales diseñados”, que han enfatizado el cuestionamiento de las relaciones diferenciales entre estructura, propiedad, procesamiento y rendimiento como funciones de escala, impulsando los esfuerzos hacia la integración a través de escalas y contribuyendo tanto al conocimiento teórico como al desarrollo de materiales (Jain et al., 2013;

Martin-Martinez & Buehler, 2020; Ortiz & Boyce, 2008; Oxman et al., 2015; van Anders et al., 2015).

Los materiales se integran, están incrustados e influyen a mayor escala en el mundo físico, social, cultural e ideológico de los seres humanos. Constituyen y determinan la funcionalidad de los ensamblajes, las infraestructuras y los sistemas que han sido foco de interés para la ingeniería civil y la arquitectura (De Wolf et al., 2020; Fivet & Brütting, 2020). El subcampo de la ciencia de los materiales de la cultura material estableció una base que involucra, inherentemente, una multiplicidad de escalas que permiten conectar el marco disciplinar de la MSE y las relaciones entre estructura, propiedad, procesamiento y rendimiento con el conocimiento de la arqueología, la antropología y la historia del arte a través de investigaciones científicas en torno a las tecnologías materiales en el contexto de las prácticas culturales y basadas en las ciencias humanas (Hosler, 1988; Lechtman, 1994). Esta línea de investigación profundiza en la larga historia de los materiales y la cultura humana anterior al registro escrito. La ubicuidad de los materiales también genera una creciente preocupación acerca del daño planetario a gran escala causado por estos en términos de cambio climático, disminución de la biodiversidad y proliferación de contaminación y desechos (United Nations Development Programme, 2020). Sin embargo, al mismo tiempo, los materiales suelen ser considerados como factores críticos para las aspiraciones futuras de impacto social, especialmente a través del diseño de propiedades más sostenibles, seguras, robustas, resilientes, únicas, útiles y capaces de salvar vidas.

La escala también juega un papel importante en el análisis histórico, y lo hace de múltiples formas. Lo más probable es que los historiadores se involucren con la escala en un contexto temporal, es decir, a través de la periodización y el análisis del cambio (o la ausencia de este) a lo largo del tiempo. La creciente conciencia sobre la crisis climática actual también conduce la atención de los historiadores de la ciencia y la tecnología hacia la necesidad de considerar las escalas. Un trabajo reciente sobre el Antropoceno enfatiza el acto de pensar con el tiempo, y pide «una flexibilidad análoga para las escalas de tiempo, desde el nanosegundo hasta el eón y todo lo que se encuentra en medio» (Yang & Daston, 2017, p. 22). Sobre la base del enfoque de la historia de las ideas, la escala también podría servir para interrumpir las narrativas lineales, sin «que un marco de referencia obstaculice a otro» (Coen, 2016, p. 312). A menudo, aunque no exclusivamente, la escala física se basa en las proporciones humanas y la experiencia, ya que los historiadores concilian las proporciones de los individuos, las organizaciones y las sociedades. A menudo, las tecnologías sirven como extensiones de los sentidos o las capaci-

dades humanas hacia dimensiones previamente inaccesibles, tal como ocurre con los microscopios, los telescopios y el transporte en entornos extremos. La proximidad física a tecnologías a gran escala puede incluso provocar asombro (Nye, 1994).

Como constituyentes y objetos primarios de estudio, los materiales juegan un papel importante en la historia de la tecnología. Están vinculados a conceptos fundamentales y a la investigación de los procesos de diseño, uso y proliferación de tecnologías que reflejan, o incluso refuerzan, las relaciones de poder existentes en los hogares (Cowan, 1983) o en los grandes sistemas regionales (Hughes, 1983). El enfoque en la materialidad de las tecnologías y sus lugares de producción puede revelar y centrar la atención en estructuras sociales integradas, como las relaciones de poder y género (Bray, 1997). Los materiales son factores clave en la forma en que estudiamos e interpretamos las cosas y las culturas materiales en la ciencia, la tecnología y el arte (Daston, 2004). La forma material de los objetos tecnológicos puede proporcionar información sobre los procesos relacionales de los factores sociales, culturales y tecnológicos en su interior (Bijker et al., 2012). A través de un enfoque en los materiales, es posible destacar los procesos de experiencia y profesionalización, las elecciones de diseño y las funciones tanto simbólicas como técnicas (Handley, 2000; Lintsen et al., 2017; Ndiaye, 2007; Slaton, 2001). Las tecnologías materiales son fundamentales para la comprensión histórica del uso, la reutilización y el desperdicio (Finlay, 2003; Oldenziel & Trischler, 2016; Thorsheim, 2016; Zimring, 2005, 2017). Como constituyentes de las infraestructuras materiales, pueden servir para resaltar las tensiones entre innovación y mantenimiento (Edgerton, 2007; Vinsel & Russell, 2020), así como entre las estructuras físicas y sociales de la comunidad (Keating, 1994). La interacción entre la ingeniería, el diseño, la planificación urbana y los materiales es especialmente evidente en los sistemas de saneamiento e higiene que operan como interfaces entre la tecnología, el medio ambiente y la salud pública (Hansen, 2018; Melosi, 2000; Seewang, 2019). La forma en que se cuentan las historias de los materiales importa, especialmente en el contexto de las narrativas de progreso, ya sea si son retratadas como nuevas o viejas; innovadoras o tradicionales; e incluso fuera de las categorías binarias en su conjunto (Dreicer, 2000, 2010). También pueden proporcionar una ventana valiosa para ver cómo los ingenieros, los diseñadores y los usuarios navegan por las identidades de la modernidad (Slaton, 2020).

Las relaciones entre tecnologías y lugar proporcionan un fundamento para hacer foco en los materiales incrustados en ellas. Sobre la base de la idea literal del paisaje como «una composición de espacios creados por el hombre o modificados por él para servir como infraestructura o fondo

para nuestra existencia colectiva» (Jackson, 1984, p. 8) y tomando el paisaje como un objeto y un proceso, las tecnologías del paisaje pueden ser consideradas más culturales que naturales (Nye, 1999). Dentro de este marco, el paisaje es un conjunto dinámico de relaciones, «parte de la infraestructura de la existencia (...) inseparable de las tecnologías que la gente ha utilizado para dar forma a la tierra y sus visiones» (Nye, 1999, p. 3). Tomados en conjunto, las tecnologías y el paisaje no son opuestos ni meramente objetos, sino procesos entrelazados. El concepto de paisaje tecnológico es empleado por los historiadores de la tecnología para llamar la atención sobre la lenta acumulación de cambios estructurales en las prácticas y los artefactos interconectados (Bray, 2016; Lindqvist, 2011) y los procesos vinculados de construcción transformadora y posterior “naturalización” a lo largo del tiempo (Spero, 2013; Spero & Pereira, 2016). Estas interpretaciones del paisaje tecnológico enfatizan las conexiones, continuidades y complejidades, ya sea en la superposición de tecnologías antiguas y emergentes (Lindqvist, 2011) o en la interconexión, a menudo problemática pero profunda, de actores humanos y no humanos en la configuración del lugar (Spero, 2013; Spero & Pereira, 2016). Al prestar atención a los rastros materiales de determinados sistemas tecnológicos integrados, ya sean sistemas subterráneos de filtración, líneas ferroviarias, presas o terrazas agrícolas, también podemos tener una mayor conciencia de las opciones de diseño y las funcionalidades que resultan duraderas o que cambian lentamente.

---

### INTEGRANDO METODOLOGÍAS Y MARCOS CONCEPTUALES A TRAVÉS DE LA HISTORIA Y LOS MATERIALES

---

Los materiales históricos analizados en esta investigación incluyen manuscritos físicos y digitales, fotografías y colecciones de obras publicadas. Los materiales originales en las colecciones del Lawrence History Center (anteriormente Immigrant City Archives) incluyeron una extensa colección de fotografías que documentan la construcción del sistema de filtración de agua y otros aspectos de la infraestructura del agua en la ciudad (*Photographs of Water Filtration System Under Construction, ca. 1893-1910*), un conjunto de atlas de la ciudad (*Lawrence City Atlas, 1875, 1888, 1906, 1926, 1938*) y fotografías del paisaje urbano y la costa (*Aerial and Panoramic Photographs, ca. 1850-1920*), así como historia oral (Barker, 1989), documentos y trabajos publicados relacionados con la labor de ingeniería de la Essex Company, la Estación Experimental Lawrence y, más tarde, la Estación Experimental William X. Wall (*Engineering Records, 1845-1987*), e informes anuales y documentos de la ciudad (*Lawrence City Documents, 1846-1913*). También se consultaron colecciones conservadas en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), las que incluían colec-

ciones de manuscritos relevantes pertenecientes a científicos e ingenieros afiliados tanto al MIT como a la Estación Experimental Lawrence: Allen Hazen (*Allen Hazen Papers, 1883-1974*), William T. Sedgwick (*William T. Sedgwick Correspondence, 1893-1908*) e Hiram Francis Mills (Mills, 1912-1921); e informes para el presidente (*Massachusetts Institute of Technology. Office of the President, 1871-1930*). Los trabajos publicados en formato digital incluyeron un informe sobre el trabajo de la Estación Experimental Lawrence exhibido en la Exposición Mundial Colombina celebrada en Chicago en 1893 (Massachusetts State Board of Health, 1893) y artículos de revistas relacionados con obras de agua, alcantarillado y ciencias sanitarias en la región (Eddy, 1930; Massachusetts State Board of Health, 1887), incluido el trabajo de investigadores afiliados a la Estación Experimental Lawrence (Bailey & Hazen, 1876; Burgess, 1915; Clark, 1907, 1909, 1927; Fuller, 1894; Hazen, 1897, 1907, 1910; H. Mills, 1893; Sedgwick, 1906, 1922).

A partir del análisis visual de la fotografía urbana, tecnológica y de la construcción como evidencia histórica (Kammen, 2007; Maynard, 1997; Spero & Pereira, 2016; Weiss, 2020), se seleccionaron las imágenes que se incluyen en este artículo para ilustrar conceptos integradores clave relacionados con la escala, los materiales, la construcción y la narrativa científica y tecnológica. Las perspectivas contemporáneas y los marcos conceptuales de la ciencia e ingeniería de los materiales se integraron con el análisis de los archivos históricos, incluidas la estructura multiescalar y las imágenes multiescalares de materiales (Estrin et al., 2019; Ortiz & Boyce, 2008), la mecánica multiescalar de materiales granulares (Ulm et al. 2007), las simulaciones computacionales multiescalares de materiales (Li et al., 2012; Martin-Martinez & Buehler, 2020) y la fabricación multiescalar de materiales (Browning et al., 2013; Lin et al., 2014; Oxman, 2010). El análisis integrador interdisciplinario y las prácticas intencionales de diálogo, reflexión, traducción e integración de conceptos y modos de indagación (Strober, 2011) entre la MSE y la historia de la tecnología se utilizaron a lo largo del proceso de investigación.

---

#### **MATERIALES A TRAVÉS DE ESCALAS EN PAISAJES TECNOLÓGICOS: UN ESTUDIO DE CASO INTEGRADOR SOBRE LA CIUDAD MANUFACTURERA DE LAWRENCE, MASSACHUSETTS**

---

A través del lente de la escala, este estudio examina la influencia mecanicista y agregada de los constituyentes materiales de grandes sistemas, junto a las relaciones sociotécnicas cuyas variables dependen de la escala. Sobre la base del concepto de “paisaje tecnológico” exploramos un estudio de caso que integra el papel de las tecnologías materiales y el impacto social en el proceso de filtración de agua por medio de arena, que fue desarrollado y utilizado en

Lawrence, Massachusetts, a finales del siglo XIX. Situada en el río Merrimack, navegado por los pueblos Pennacook antes de la transformación de la costa en lo que hoy es Lawrence (Dorgan, 1918; Stewart-Smith, 1999), esta ciudad estadounidense fue y sigue siendo un lugar íntimamente ligado al agua (Hearn, 2014; Malone, 2009; Molloy, 1980), tal como muchos otros centros industriales. Construida como un centro de fabricación textil que aprovechaba la energía hidráulica, la ciudad se convirtió rápidamente en un centro de producción densamente poblado, cuyos residentes provenían de granjas regionales y del otro lado del océano: un crisol de numerosos idiomas y culturas. Junto a este papel bastante visible del río como fuente de energía, también figuraba una función más oculta en el ámbito de la salud pública, que solo se hizo explícita durante la epidemia de fiebre tifoidea que afectó a las ciudades río arriba y río abajo en la década de 1890. Aunque Lawrence tenía mucho en común con otras ciudades manufactureras igualmente afectadas, fue el hogar exclusivo de un laboratorio pionero en los Estados Unidos: la Estación Experimental Lawrence (*Lawrence Experiment Station*). El trabajo sobre la calidad del agua desarrollado en Lawrence iba a desempeñar un papel fundamental no solo en la recuperación de la ciudad, sino también en el establecimiento de un estándar para la filtración de agua que sería ampliamente adoptado en toda la nación y más allá.

**Figura 4:** Fotografía panorámica de la "Ciudad de Lawrence", 1909 (Lawrence, Massachusetts). Fuente: Lawrence History Center 1985\_138\_002.

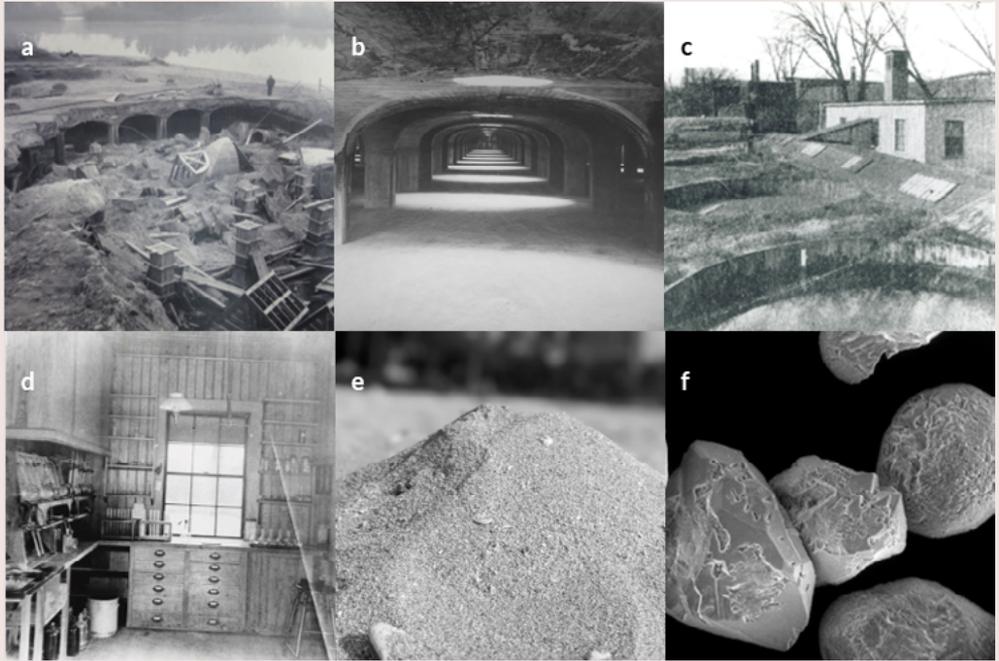


La escala suele ser un factor determinante de lo que se oculta o se revela. Por ejemplo, cuando se trabaja a gran escala, ciertos factores subyacentes que pueden ser demasiado pequeños para identificarlos fácilmente, pero cuya influencia se manifiesta en el macrosistema, pueden permanecer ocultos. Asimismo, cuando el foco está puesto en una escala muy pequeña, el contexto del sistema en su conjunto también puede eclipsarse fácilmente. A escala urbana, la fotografía panorámica de Lawrence (Figura 1) concentra la atención en un momento particular en la vida de este lugar en 1909: el flujo del río congelado y el humo ondulante que despiden las chimeneas de las fábricas. Incluso a una escala tan amplia como esta, los materiales (el ladrillo, la piedra, el hierro, el mortero, el hormigón, etc.) pueden ser identificados y comprendidos como símbolos marcadores de esta ciudad industrial. La enor-

midad de las infraestructuras construidas permite entender la magnitud de los materiales utilizados en su construcción, así como el conocimiento necesario para su selección, diseño y procesamiento. Conectadas a lo visible hay también infraestructuras ocultas (canales submarinos o subterráneos, tuberías, infraestructuras y sistemas de distribución hidroeléctrica y de agua, estructuras de soporte de puentes, etc.). A estas grandes escalas, los materiales se agregan y ensamblan para formar los conjuntos estructurales que soportan las cargas estáticas visibles, como las fábricas, y las infraestructuras dinámicas ocultas que participan en la distribución de energía hidroeléctrica, el transporte de agua y su purificación.

En el marco del paisaje tecnológico, estamos en sintonía con las complejidades y largas transiciones entre tecnologías (Bray, 2016; Lindqvist, 2011). Muchos de estos elementos materiales perduran, algunos se han mantenido para conservar su funcionalidad original, otros se adaptan para nuevos usos y otros, en cambio, se desvanecen en desuso. Consideremos los materiales y los procesos en las múltiples interfaces de agua, piedra, hormigón y arena. La Gran Presa de Piedra (Figura 1, arriba a la izquierda), los sistemas de canales y las estructuras de ingeniería hidroeléctrica construidas por la Essex Company para hacer funcionar las maquinarias estimularon el crecimiento económico de Lawrence como centro productor de manufacturas (Smith 1947; Hearn, 2014; Molloy, 1980). En 1909, cuando esta imagen fue capturada, la presa había estado en funcionamiento durante más de cincuenta años, y aunque hoy no es la principal fuente de energía de la ciudad, permanece activa con tecnologías que permiten el paso de los peces, aminorando así el impacto en el ecosistema (Lawrence Hydroelectric Project, 2020; Molloy, 1980). Escondidos bajo la línea de flotación de los canales, y debajo de muchas de las grandes estructuras de ladrillo aún restantes, los sistemas mecánicos dinámicos que impulsaban las obras en el interior están ahora inmóviles. Sin embargo, dentro de estos muros aún en pie, la renovación y el mantenimiento hacen posible que continúen otros tipos de usos, incluida la fabricación, pero también el trabajo de organizaciones residenciales, empresariales, educativas, artísticas y comunitarias.

A escala de la ingeniería civil, la fotografía de la Figura 2a proporciona una vista del proceso de construcción del sistema de filtración de agua durante 1906. Esta fotografía, única en su tipo, detalla tanto el estado de desorden de las materias primas constituyentes y los materiales desechables como el orden emergente expuesto de las infraestructuras parcialmente ensambladas que pronto serán escondidas bajo tierra e incrustadas en —e interconectadas con— el paisaje natural. Detrás del propósito de la ingeniería de aumentar la escala de las propiedades y los mecanismos conocidos para



**Figura 2:** Vista multiscalar de materiales, estructuras y sistemas de filtración de agua e infraestructura.

a) Construcción de un sistema de infraestructura de agua, 1907, Lawrence, Massachusetts. Fuente: Lawrence, History Center "Water Filtration Construction Photographs" ICA 90.448.44A 4 de abril de 1907.

b) Vista interna del sistema cubierto de filtración de arena, 1907, Lawrence, Massachusetts. Fuente: "Water Filtration Construction Photographs" Lawrence History Center, 4 de noviembre de 1907, LW2012.194.014.

c) Vista exterior de la Estación Experimental Lawrence, Lawrence, Massachusetts. Fuente: Lawrence History Center.

d) Vista interior de la Estación Experimental Lawrence, Lawrence, Massachusetts. Fuente: Lawrence History Center, 2002\_063\_476. e) Fotografía de una pila de arena. Fuente: Brian J. Tarricone.

f) Arena de Ottawa, un material estándar utilizado en pruebas de ingeniería civil, imagen de microscopio electrónico. Fuente: NASA / MSFC, NASA ID 0003830.

que se manifiesten en las infraestructuras funcionales, está la experiencia, el conocimiento y las decisiones con respecto a la selección, el diseño y el procesamiento de los materiales. Esta fotografía es un recordatorio de la ubicuidad de la arena, mientras su selección para los sistemas de filtración de agua se basa en sus codiciadas propiedades materiales. En el mismo encuadre, vemos la arena como un material técnico valioso que ha sido medido y cuidadosamente monitoreado y mantenido a través de lavados periódicos y seguros para la salud de la ciudad, y como un producto desechable que deberá ser eliminado como si formara parte de los escombros de una construcción. La figura solitaria en el borde superior de la capa de suelo nos da una idea del tamaño del proyecto e incita a indagar acerca del trabajo integrado y el conocimiento

oculto en cada una de estas imágenes, por ejemplo, el transporte, los ensamblajes y las pruebas de materiales. Inspira curiosidad acerca de las preferencias ingenieriles y estéticas subyacentes, no solo en lo que respecta a la construcción del lugar en sí, que pocas personas llegarían a experimentar, sino también en su documentación fotográfica, que servirá como el principal medio de un encuentro futuro. Esta persona colocada sobre el sitio de construcción también presagia cómo el sitio podría interpretarse como re-naturalizado una vez completado, una característica de un paisaje tecnológico escondido dentro de lo mundano (Spero, 2013; Spero & Pereira, 2016). En su mayor parte, este sistema fue diseñado desde un principio para estar cubierto con tierra, su funcionamiento oculto a la vista. En este caso, los trabajos invisibles de la arena, la grava, el hormigón y las tuberías fueron factores clave para el éxito del diseño. Cuando se aprecia desde la escala humana, y también a un nivel de sistemas más amplio, la invisibilidad puede servir como un indicador de infraestructuras materiales que funcionan correctamente. Estos sistemas sociotécnicos complejos y críticos a menudo están ocultos a la vista del público, literalmente bajo tierra, debajo de los pies, o permanecen ocultos contra el fondo de lo mundano. Aunque con frecuencia pasan desapercibidos, también existen sistemas de conocimiento vinculados a materiales, diseño, monitoreo y mantenimiento que trabajan constantemente para evitar interrupciones (o incidentes peores) en el paisaje cotidiano.

En una escala más pequeña de constituyentes individuales de infraestructura, la galería subterránea, prístina y completamente ensamblada con los lechos de filtración cubiertos (Figura 2b), diseñada para resistir los gélidos inviernos de Nueva Inglaterra, parece extenderse en una repetición infinita. Aquí, en un solo encuadre, los materiales observados constituyen dos tipos diferentes de infraestructura: los arcos sólidos estáticos que soportan cargas en las proximidades de la arena granular interactúan química y biológicamente con el agua y sus contaminantes en forma dinámica. Los granos individuales se pierden e incluso se difuminan a esta escala, generando la ilusión de una fachada continua y sólida que oculta los orígenes mecánicos de las excepcionales propiedades de los gránulos en relación con la filtración de agua.

A escala de laboratorio, la modesta estructura de madera de la estación experimental original se pone de manifiesto (Figuras 2c y 2d). Este antiguo edificio de la Essex Company, dedicada a las obras hidráulicas, era en sí mismo un lugar de convergencia de escalas materiales y actividades de prototipado que darían origen al escalamiento. Alojados en esta estructura intermedia se encontraban microbios, arena, instrumentos y seres humanos, además de ensamblajes filtrantes en estado de prototipo que se probaban en

los terrenos colindantes. La pequeña comunidad de investigadores estaba conectada al entonces naciente Instituto de Tecnología de Massachusetts en Boston, que en ese momento también estaba contenido en un solo edificio y se trasladaría a su ubicación actual en Cambridge en 1916 (MIT Office of the President, 1916). Esta proximidad fomentó la emergente investigación interdisciplinaria y el intercambio entre la química, la biología, la bacteriología, la minería y la metalurgia (precursor del actual departamento de ciencia e ingeniería de materiales), la ingeniería civil, la arquitectura y la epidemiología, lo que llevó al surgimiento de la ciencia sanitaria, la ingeniería sanitaria y la salud pública (Goldblith, 1995; Viseltear, 1988), todas las cuales sirvieron como cimientos intelectuales para la Estación Experimental Lawrence.

En la microescala, tanto bacterias como gránulos de arena, parte integral del trabajo de la estación experimental, se hicieron visibles. Con la integración de la bacteriología, el microscopio dejó de ser una “herramienta desconocida” escondida a plena vista en un estante superior que «nunca [había] sido empleada en la rutina del laboratorio», y se convirtió en una herramienta central para la ciencia sanitaria en la estación experimental (Winslow, 1953, p. 17). Si bien la arena fue el material más empleado, el laboratorio hizo estudios paramétricos con una gama de materiales que incluían desde arena gruesa (0,48 mm) hasta limo fino de río (0,04 mm). En los experimentos de filtración en el laboratorio también se utilizó piedra triturada gruesa, grava, coque y clínker (Figura 2c) (Clark, 1909; Hazen, 1897). Un factor clave para el éxito de los filtros de prueba fue el largo periodo de tiempo destinado a los experimentos. En 1909, un informe que abarcaba veinte años relataba que algunos filtros habían estado en uso desde la apertura de la estación y muchos de ellos mejoraban su rendimiento con el paso del tiempo. La arena era vulgar por su ubicuidad y al mismo tiempo un material de “vanguardia” por la forma en que se desplegó como medio estandarizado de filtración con dimensiones altamente controladas. La física excepcional y compleja, que incluía interacciones superficiales como la fricción, la adhesión y la absorción molecular, subyacente a las propiedades macroescalares de la arena como material granular, sirvió como punto de origen fundamental para todo este sistema sociotécnico de múltiples escalas. La cercana colina Gale suministró la arena necesaria para el primer sistema de filtrado de agua para la ciudad, implementado en 1879. El gasto ocasionado por este “material sin valor”, transportado por hombres y caballos y clasificado según el tamaño de las partículas para su despliegue en los lechos de filtración, fue solo el de la mano de obra (Marble, 1880).

---

## MATERIALES COMO CONSTITUYENTES DE NARRATIVAS SOCIOTÉCNICAS A TRAVÉS DE ESCALAS

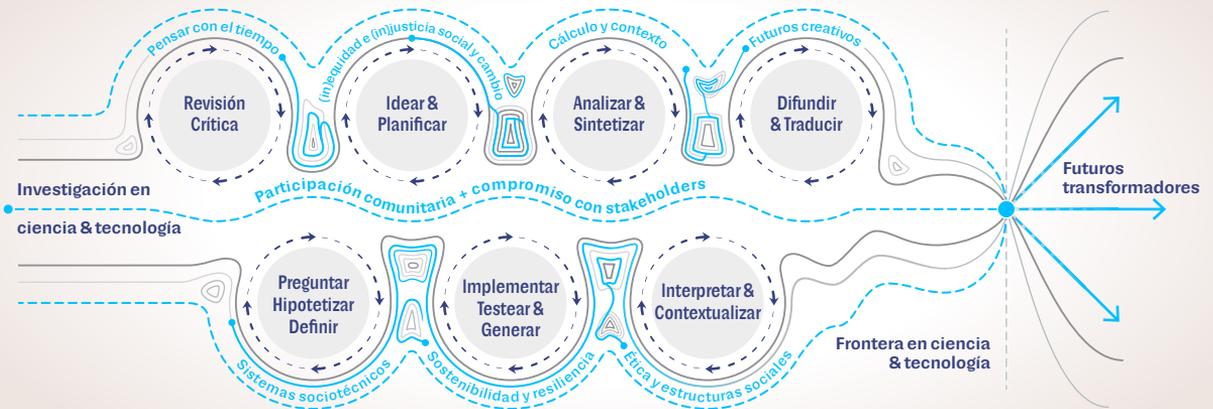
---

A lo largo de las huellas físicas del paisaje tecnológico incrustado en un determinado lugar, se encuentran las narrativas que han sido moldeadas por las personas que crearon, mantuvieron y usaron esas infraestructuras. De hecho, incluso las personas alejadas, que solo observan desde la distancia, pueden contribuir a las narrativas de ese lugar y su infraestructura. Las historias de la ciudad de Lawrence estaban —y a menudo siguen estando— conectadas con la salud del río y su industria. Efectivamente, la historia de la Estación Experimental Lawrence transitó a lo largo y ancho de Estados Unidos e internacionalmente, tanto a través de la circulación de artículos como por los viajes de los propios investigadores. En una exhibición que abarcó múltiples áreas, la Junta de Salud del Estado de Massachusetts presentó la estación experimental en la prestigiosa Exposición Mundial Colombina de Chicago de 1893. La exhibición anunció este trabajo como «el primero en su tipo establecido en Estados Unidos» e incluyó una maqueta del edificio, fotografías, planos, arenas, aguas residuales, efluentes y secciones de filtros (Massachusetts State Board of Health, 1893, p. 3). Un anexo también incluía los planos para el sistema de filtrado diseñado por Hiram Mills, el que todavía estaba en construcción (Massachusetts State Board of Health, 1893).

Específicamente diseñada como una “comunidad industrial”, tal como se informó en 1912 en la *Lawrence Survey*, la ciudad compartía “un típico problema moderno” con otras innumerables ciudades industriales: balancear «la conducta de los fabricantes de una manera que asegure la prosperidad por un lado y el bienestar de los trabajadores por el otro» (Rowell, 1912, p. 15). Esta expresión de las tensiones existentes entre la especificidad de un lugar y la generalización de ciertos tipos específicos de desafíos a través de las geografías, en particular los intereses a menudo contrapuestos del crecimiento económico y el bienestar público, perdura en Lawrence al igual que en muchas otras ciudades globales cuyas economías se basan en la producción industrial. Centros urbanos productores de manufacturas como estos pueden ofrecer a los recién llegados una esperanza de movilidad social, pero también enfrentan aquellos desafíos sociales y económicos obstinados que tan típicamente acompañan el crecimiento y el declive industrial. Las narrativas del progreso tecnológico, producción, prosperidad y potencial no consumado están entrelazadas en la estructura de la historia de la ciudad. Vinculado a un sistema hidroeléctrico capaz de generar una cuantiosa producción textil, existía un sistema social inequitativo que dependía en gran medida de la existencia de mano de obra barata.

De hecho, esta ciudad a orillas del Merrimack no fue solo el hogar de una investigación pionera sobre el agua que se tradujo en un avanzado sistema municipal de purificación de agua. También fue el lugar de la infame “huelga de pan y rosas” de 1912 (Cahn, 2005; Forrant & Grabski, 2013; Watson, 2005). No es sorprendente que el drama ocasionado por las duras condiciones laborales y el impacto de la huelga en las familias de clase trabajadora atrajeran la atención negativa de todo el país y más allá. En respuesta a esta situación, Laura Prescott, una maestra de una escuela pública de Lawrence, pidió a sus alumnos que compartieran algo positivo que sabían que era cierto sobre su ciudad natal con otros niños de diversas partes del país. Marion Barker, que entonces tenía nueve años, compartió su historia con un niño que vivía en Provo, Utah. Allí destacó su orgullo por el sistema invisible de filtración de agua, subterráneo pero crítico, y su importancia para su vida diaria (Barker, 1989). La elección de esta niña que resalta una característica tecnológica de su ciudad natal, y la sigue encontrando digna de mención al contar su historia casi 80 años después, sirve para subrayar su importancia en la vida diaria. Ella y sus compañeros de clase habían visitado el sistema de filtrado y lo habían estudiado en la escuela, donde además escucharon historias sobre el papel fundamental que desempeñó la filtración en la recuperación de la ciudad luego de la grave epidemia de fiebre tifoidea relacionada con el consumo de agua contaminada en 1892. La idea de que su ciudad fuera la primera del país en utilizar este tipo de sistema de filtrado, y que el agua del río, una vez contaminada, pudiera ser potable, resultaba «algo muy especial sobre lo cual escribir» (Barker, 1989, p. 5).

Las narrativas de conmoción y crisis, como las de la epidemia de tifus y la huelga, son a menudo las que captan la atención popular, son más accesibles y cuantificables. Sin embargo, la infraestructura que funciona bien (ya se trate de sistemas sociales o físicos), que debe co-evolucionar a la misma escala que la economía para mantener la funcionalidad, es menos visible (Seligson & McCants, 2021). Los eventos que viajan fácilmente en la imaginación popular son frecuentemente dramáticos, como el impacto de una epidemia, o tal vez un triunfo científico de recuperación. Junto con las historias ampliamente relatadas de industrialización masiva, brotes de enfermedades, migración, desigualdades y disturbios, en esta ciudad y otras similares, la historia de esta niña sobre el filtro de agua nos recuerda que también hay historias igualmente válidas e importantes sobre las tecnologías que mantienen la estabilidad, ya sea física, organizativa, o ambas. La variedad de historias que podemos encontrar en el pasado puede también despertar la imaginación para una multiplicidad de futuros posibles. De hecho, podemos revisar nuestra historia nuevamente y, junto con ella, visualizar nuevas bases para el



**Figura 3:** La representación gráfica del modelo de ciencia y tecnología con orientación social, desarrollada por las autoras de este artículo, integra los componentes del proceso de investigación y desarrollo científico y tecnológico (círculos grises) con conocimientos, conceptos y metodologías de los campos humanísticos y las ciencias sociales (texto cian en el exterior de los círculos) para influir y dar forma a cada etapa del proceso hacia resultados planetarios y sociales más sostenibles y equitativos. El análisis y el pensamiento histórico se integran con temas relacionados con, por ejemplo, los estudios sociales de la ciencia y los sistemas tecnológicos (Biagioli, 1999; Felt et al., 2017), el diseño cívico, la educación y el compromiso (Allen & Reich, 2013; Israel et al., 2017; McDowell & Chinchilla, 2016; McDowell, 1996), el feminismo y los estudios de género (Cowan, 1983; Haraway, 1990; Lerman et al., 2003), la justicia racial (Crenshaw, 2017; Kendi, 2016; Slaton, 2010), la (in)justicia ambiental (Bullard, 1996; Thomas et al., 2013), el desarrollo sostenible (United Nations Development Programme, 2020; United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2015, 2020) y el razonamiento ético en el contexto social (Herkert, 2005).

futuro «cuando ponemos en ella tecnología que cuenta: no solo las famosas tecnologías espectaculares, sino también las humildes y ubicuas» (Edgerton, 2007, p. 212).

### **EL PAPEL DEL ANÁLISIS HISTÓRICO EN LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA CON ORIENTACIÓN SOCIAL**

El análisis histórico de los sistemas sociotécnicos, un área crítica de investigación, tiene un gran valor como componente de la ciencia y la tecnología con orientación social, esto es, para la integración interdisciplinaria intencional, holística y granular de los procesos de investigación y desarrollo científico y tecnológico que ocupan conocimientos, conceptos y metodologías de los campos humanísticos y las ciencias sociales para conseguir resultados planetarios y sociales más sostenibles y equitativos. Una representación gráfica del modelo de ciencia y tecnología con orientación social desarrollada por las autoras de este artículo (Figura 3) ha sido usada en la práctica, tanto en nuevas instituciones de educación superior como en otras ya existentes.<sup>1</sup>

Cuando se sitúa en el núcleo de un plan de estudios y en las prácticas pedagógicas, la investigación científica y tecnológica con orientación social tiene como objetivo crear una base intelectual integradora cimentada en valores para guiar la agencia y la toma de decisiones. Las características clave incluyen la transformación individual y un enfoque en los «principios de respeto por la vida y la dignidad humana, la igualdad de derechos y la justicia social, el respeto por la diversidad cultural y la solidaridad internacional y la responsabilidad compartida» (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2015, p. 14), así como estilos de pensamiento relacionados con la interconexión, la interdependencia, la complejidad y la naturaleza multidimensional de los ecosistemas (Haus der Kulturen der Welt & Max Planck Institute for the History of Science, 2020; United Nations Development Programme, 2020). La inclusión, la equidad y la justicia social se entretienen de forma ubicua en la pedagogía, la investigación y las culturas institucionales (Freire, 2014). Esta filosofía educativa involucra diversos cuerpos de investigación académica y experiencias inmersivas para llevar el pasado, el presente y el futuro a una conversación, buscando lograr una comprensión que exceda la proximidad de las disciplinas y tienda a la síntesis transdisciplinaria y la aplicación reflexiva del conocimiento integrador a lo largo de todo el proceso de investigación y desarrollo, incluidas las primeras etapas. El modelo de ciencia y tecnología con orientación social reconcilia la divergencia de las normas disciplinarias por medio de la formulación de preguntas de investigación integradoras que cuestionan tanto las decisiones de investigación y desarrollo científico y tecnológico como los potenciales impactos aguas abajo

<sup>1</sup> Station1 es una institución de educación superior sin fines de lucro basada en ciencia y tecnología con orientación social que tiene su sede en Lawrence, Massachusetts y fue fundada por las autoras de este artículo (Station 1 Laboratory, Inc. Artículos de organización — Leyes Generales, capítulo 180—. Corporación sin fines de lucro, Commonwealth of Massachusetts, Estados Unidos, 7 de septiembre de 2016. Presentación: 201696123530).

en sistemas socio-ecológicos más amplios. En este contexto, se enfrenta a uno de los aspectos más fundacionales de la investigación y al desafío de la traducción entre las disciplinas científicas y tecnológicas —en las cuales los objetivos de investigación a menudo implican la formulación de hipótesis, el diseño, la síntesis, la cuantificación, la simulación, etc. en busca de soluciones— y los campos humanísticos y las ciencias sociales —donde las preguntas de investigación pueden centrarse en la complejidad de los sistemas sociales, los orígenes y las relaciones entre los actores humanos y no humanos, a menudo sin una “solución” definitiva—. Este tipo de transformación en la educación en ciencia y tecnología es un imperativo, un factor crítico para remediar el daño planetario y las desigualdades sociales, así como para mitigar los peligros y maximizar la promesa de las tecnologías emergentes.

Como componentes de la ciencia y la tecnología con orientación social, los enfoques históricos promueven la formulación de preguntas relacionadas con, por ejemplo, los orígenes, las influencias y los supuestos lineales del determinismo tecnológico (Smith & Marx, 1994); la naturaleza reductiva de las narrativas populares de progreso e innovación (Vinsel & Russell, 2020; Wisnioski et al., 2019); el trabajo, el mantenimiento y la experiencia oculta (Cowan, 1983; Stage & Vincenti, 1997); y las consecuencias (no) intencionadas de las opciones materiales y de diseño en los sistemas tecnológicos (Knowles & Torero, 2020; Winner, 1986; Zimring, 2017). El énfasis en la dimensión temporal acentúa las trampas del pensamiento a corto plazo e impulsa a los estudiantes a imaginar las trayectorias como parte de un ecosistema planetario más amplio. La integración del análisis histórico no pretende imponer valores contemporáneos al pasado, o ser prescriptiva o predictiva de “soluciones” para los desafíos contemporáneos. Más bien, sirve para comprender las ambigüedades, las compensaciones, las estructuras de incentivos, los resultados deseados y las consecuencias no deseadas y las relaciones con las (des)igualdades dentro de los sistemas sociotécnicos.

Desde las renovadas fábricas textiles<sup>2</sup> que albergan un floreciente ecosistema de ciencia y tecnología con orientación social, el antiguo emplazamiento de la Estación Experimental Lawrence es ahora invisible desde lejos. Los filtros de prueba, una vez meticulosamente cuidados, son reclamados en el contexto de un crecimiento excesivo. Lo que alguna vez fue una sala de clasificación de lana es ahora un espacio de enseñanza y aprendizaje bullente de conversaciones de investigadores que reemplazan el clamor de las máquinas. Enseñar *con* la historia de materiales tecnológicos en Lawrence, insertos en la ciudad contemporánea, se convierte en algo más que un abstracto estudio de caso. Explorar los mapas, los libros de contabilidad, las fotografías y las publicaciones científicas de la estación experimental en el Lawrence History Center,

<sup>2</sup> El Wood Worsted Mill, construido en 1912 en Lawrence, Massachusetts (Registro Nacional de Lugares Históricos de Estados Unidos # 10000539), forma parte del complejo Riverwalk y alberga en la actualidad a Station1.

ubicado en la antigua sede de la Essex Company, cuyas marcas se pueden ver en cada rincón de la ciudad, se convierte en un proceso de lectura aún más comprometido. Al caminar por la ciudad con el lente de la historia, los materiales y la equidad, tenemos la intención de hacer una pausa, de involucrarnos en el acto de “mirar lentamente” (Tishman, 2018), de observar, de cuestionar. En la interfaz del agua, el ladrillo y el hierro del sistema de canales descubrimos rastros ocultos de tecnologías, prácticas sociales de diseño, construcción, mantenimiento, regulación y abandono. Este aprendizaje experiencial sirve para «conectarnos directamente con el mundo que conocemos en lugar del mundo extraño donde vive la tecnología» (Edgerton, 2007, p. xvii) y para involucrarnos más activamente con un lugar. La combinación de pensamiento histórico, tecnología y lugar también forja una mentalidad de investigación más profunda, desempaquetando suposiciones acerca del acercamiento a lo desconocido, ya sea en la disciplina, el tiempo o la cultura. En las historias de las personas de este lugar, ya sean científicos, ingenieros, trabajadores, industriales o niños, buscamos comprender sus acciones, oportunidades y limitaciones. Dentro de este marco histórico, identificar los *stakeholders* y hacer un esfuerzo por comprender su contexto se convierte en una segunda naturaleza en cualquier proyecto. Aprender insertos en la historia de un lugar, ya sea descubriendo rastros ocultos o explorando de nuevo, se traduce en un enfoque generalizable al lugar: buscar lo desconocido en lo local; buscar conexiones con una experiencia humana en lo global.

**Figura 4:** Lawrence Great Stone Dam, Lawrence. Fuente: Lawrence History Center, número de adhesión 2003\_012\_001. A la izquierda, los becarios de Station1 que visitan y aprenden sobre la Gran Presa de Piedra como parte del plan de estudios sobre ciencia y tecnología con orientación social en 2019. Fuente: Station1, 2019.



## CONCLUSIONES

Este artículo explora las dinámicas relaciones sociales y materiales a través de diferentes escalas y conecta los mecanismos y la influencia acumulativa de los constituyentes materiales dentro de sistemas sociotécnicos más amplios. Cuando pensamos en los materiales a través de diferentes escalas, las conexiones entre lo que a menudo es invisiblemente pequeño, así como entre lo que es invisiblemente grande, se vuelven más claras. Nos sintonizamos con las relaciones complejas y no lineales entre estructuras a microescala cuyo impacto se puede sentir a escala planetaria. Se emplearon los conceptos de los paisajes técnicos para comprender las relaciones complejas y continuas que se establecen entre las tecnologías relacionadas con la filtración de agua a través de diferentes escalas y su papel en la configuración del lugar. A través de este método, podemos ver un continuo más extenso entre pasado, presente y futuro, en el contexto de la heterogeneidad de la superficie de un grano de arena y la salud de una ciudad, o incluso de un planeta. «La historia puede ser una herramienta especialmente poderosa para repensar la tecnología» (Edgerton, 2007, p. xvi), especialmente cuando se combina con los materiales. De hecho, la arena es a menudo una metáfora del tiempo profundo, un material omnipresente con múltiples narrativas, desde lo prosaico hasta lo innovador, con intermedios incontables. Podría incluso considerarse que este constituyente crítico de la infraestructura hídrica del siglo XIX permanece oculto en la infraestructura material de las futuras tecnologías de modelos digitales y simulaciones de los sistemas contemporáneos de infraestructura hídrica, ya que la sílice, el precursor del silicio que sustenta la computación moderna, se encuentra en la arena (Welland, 2010). El aprender a descubrir las estructuras sociales del conocimiento, las materialidades y las infraestructuras científicas y tecnológicas que suelen estar ocultas, posicionarse con la complejidad, la incertidumbre y las frecuentes contradicciones del mundo cotidiano puede constituir un puente poderoso entre disciplinas y campos de práctica. Incrustados como un elemento crítico en el modelo de investigación de ciencia y tecnología con orientación social, el análisis histórico y la mentalidad asociada a escalas de tiempo más amplias pueden tener un impacto considerable en las trayectorias de las prácticas y las pedagogías contemporáneas de ciencia y tecnología. □

Los autores agradecen a Anne McCants por sus perspicaces comentarios sobre el borrador; al equipo editorial y a los revisores anónimos por su atención y apoyo en el trabajo de este artículo; a Katherine Zumach porque su experiencia como ilustradora permitió la traducción visual del marco de ciencia y tecnología con orientación social; y a los profesionales del Lawrence History Center por su generosidad con el conocimiento y con el material de archivo.

## REFERENCIAS

- Aerial and Panoramic Photographs*. (Ca. 1850-1920). Glass Plate Negative and Photographs. Lawrence History Center – Immigrant City Archives and Museum, Lawrence, MA, EE. UU.
- ALLEN, D. S., & REICH, R. (Eds.). (2013). *Education, Justice, and Democracy*. The University of Chicago Press.
- Allen Hazen Papers, 1883-1974* (MC 430). Massachusetts Institute of Technology, Department of Distinctive Collections.
- BAILEY, H. H., & HAZEN, J. C. (1876). *Lawrence Massachusetts, 1876* [Mapa].
- BARKER, M. (1989, May 15). *Marion Barker Oral History, The Strike of 1912* (Y. Erdener, Entrevistadora) [Entrevista]. Immigrant City Archives Oral History Collection.
- BENSAUDE-VINCENT, B. (2016). Building Multidisciplinary Research Fields: The Cases of Materials Science, Nanotechnology and Synthetic Biology. En M. Merz & P. Sormani (Eds.), *The Local Configuration of New Research Fields: On Regional and National Diversity* (Vol. 29, pp. 45–60). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-22683-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-22683-5_3)
- BIAGIOLI, M. (Ed.). (1999). *The Science Studies Reader*. Routledge.
- BIJKER, W. E., HUGHES, T. P., & PINCH, T. (Eds.). (2012). *The Social Construction of Technological Systems: New Directions in the Sociology and History of Technology* (Ed. Aniversario). MIT Press.
- BINNIG, G., QUATE, C. F., & GERBER, CH. (1986). Atomic Force Microscope. *Physical Review Letters*, 56(9), 930–933. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.56.930>
- BRAY, F. (1997). *Technology and Gender: Fabrics of Power in Late Imperial China*. University of California Press.
- BRAY, F. (2016). Flows and Matrices, Landscapes and Cultures. *Icon*, 22, 8–19.
- BROWNING, A., ORTIZ, C., & BOYCE, M. C. (2013). Mechanics of Composite Elasmoid Fish Scale Assemblies and their Bioinspired Analogues. *Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials*, 19, 75–86. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2012.11.003>
- BULLARD, R. D. (Ed.). (1996). *Unequal Protection: Environmental Justice and Communities of Color*. Sierra Club Books.
- BURGESS, P. (1915). Mechanical Analyses of Sands. *Journal AWWA*, 2(3), 493–500. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1915.tb14136.x>
- CAHN, M. (2005). Opera Omnia: The Production of Cultural Authority. En K. Chemla (Ed.), *History of Science, History of Text* (pp. 81–94). Springer. [https://doi.org/10.1007/1-4020-2321-9\\_3](https://doi.org/10.1007/1-4020-2321-9_3)
- CLARK, H. W. (1907). *Eight Years' Work with Trickling Sewage Filters at the Lawrence Experiment Station*. Engineering News Publishing Company.
- CLARK, H. W. (1909). *A Review of Twenty-one Years' Experiments upon the Purification of Sewage at the Lawrence Experiment Station*. Wright and Potter [Reimpresión de Massachusetts Board of Health].
- CLARK, H. W. (1927). An Outline of Sewage Purification Studies at the Lawrence Experiment Station. *Industrial & Engineering Chemistry*, 19(4), 448–452. <https://doi.org/10.1021/ie50208a010>
- COEN, D. R. (2016). Big is a Thing of the Past: Climate Change and Methodology in the History of Ideas. *Journal of the History of Ideas*, 77(2), 305–321. <https://doi.org/10.1353/jhi.2016.0019>
- COWAN, R. S. (1983). *More Work for Mother: The Ironies of Household Technology from the Open Hearth to the Microwave*. Basic Books.

- CRENSHAW, K. (2017). *On Intersectionality: Essential Writings*. The New Press.
- DASTON, L. (Ed.). (2004). *Things that Talk: Object Lessons from Art and Science*. Zone Books.
- DE GENNES, P.-G. (1979). *Scaling Concepts in Polymer Physics*. Cornell University Press.
- DE WOLF, C., HOXHA, E., HOLLBERG, A., FIVET, C., & OCHSENDORF, J. (2020). Database of Embodied Quantity Outputs: Lowering Material Impacts Through Engineering. *Journal of Architectural Engineering*, 26(3), 04020016. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)AE.1943-5568.0000408](https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000408)
- DORGAN, M. B. (1918). *Lawrence Yesterday and Today (1845-1918)*. <http://magenweb.org/Essex/Lawrence/lawrenceindianhistory.html>
- DREICER, G. K. (2000). Building Myths: The "Evolution" from Wood to Iron in the Construction of Bridges and Nations. *Perspecta*, 31, 130–140. <https://doi.org/10.2307/1567265>
- DREICER, G. K. (2010). Building Bridges and Boundaries: The Lattice and the Tube, 1820–1860. *Technology and Culture*, 51(1), 126–163. <https://doi.org/10.1353/tech.o.0406>
- DREXLER, E. (1986). *Engines of Creation: The Coming Era of Nanotechnology*. Anchor.
- EDDY, H. P. (1930). Massachusetts: The Cradle of Public-Health Engineering. *Sewage Works Journal*, 2(3), 394–403.
- EDGERTON, D. (2007). *The Shock of the Old: Technology and Global History since 1900*. Oxford University Press.
- Engineering Records, Records of the Essex Company of Lawrence, Massachusetts, 1845-1987*. Lawrence History Center – Immigrant City Archives and Museum, Lawrence, MA, EE. UU.
- ESTRIN, Y., BEYGELZIMER, Y., & KULAGIN, R. (2019). Design of Architected Materials Based on Mechanically Driven Structural and Compositional Patterning. *Advanced Engineering Materials*, 21(9), 1900487. <https://doi.org/10.1002/adem.201900487>
- FELT, U., FOUCHE, R., MILLER, C. A., & SMITH-DOERR, L. (Eds.). (2017). *The Handbook of Science and Technology Studies*. MIT Press.
- FEYNMAN, R. P. (1960). There's Plenty of Room at the Bottom. *Engineering and Science*, 23(5), 22–36.
- FINLAY, M. R. (2003). Old Efforts at New Uses: A Brief History of Chemurgy and the American Search for Biobased Materials. *Journal of Industrial Ecology*, 7(3–4), 33–46. <https://doi.org/10.1162/108819803323059389>
- FIVET, C., & BRÜTTING, J. (2020). Nothing is Lost, Nothing is Created, Everything is Reused: Structural Design for a Circular Economy. *The Structural Engineer*, 98(1), 74–81.
- FLEMINGS, M. C. (1986). Materials Science and Engineering. *Transactions of the Iron and Steel Institute of Japan*, 26(2), 93–100. <https://doi.org/10.2355/isijinternational1966.26.93>
- FLEMINGS, M. C. (1999). What Next for Departments of Materials Science and Engineering? *Annual Review of Materials Science*, 29(1), 1–23. <https://doi.org/10.1146/annurev.matsci.29.1.1>
- FORRANT, D. R., & GRABSKI, S. (2013). *Lawrence and the 1912 Bread and Roses Strike*. Arcadia.
- FREIRE, P. (2014). *Pedagogy of the Oppressed* (Ed. 30 Aniversario). Bloomsbury.
- FULLER, G. W. (1894, octubre 6). Sand Filtration of Water, with Special Reference to Results Obtained, at Lawrence, Massachusetts. *The Engineering Record*.
- GOLDBLITH, S. A. (1995). *Of Microbes and Molecules: Food Technology, Nutrition, and Applied Biology at M.I.T., 1873-1988*. Food & Nutrition Press.

- HANDLEY, S. (2000). *Nylon: The Story of a Fashion Revolution: A celebration of Design from Art Silk to Nylon and Thinking Fibres*. Johns Hopkins University Press.
- HANSEN, J. (2018). Shaping the Modern Body: Water Infrastructure in Los Angeles (1870–1920). *Body Politics*, 6(9), 47–70.
- HARAWAY, D. (1990). *Simians, Cyborgs, and Women: The Reinvention of Nature*. Routledge.
- HAUS DER KULTUREN DER WELT, & MAX PLANCK INSTITUTE FOR THE HISTORY OF SCIENCE. (2020). *Anthropocene Curriculum*. <https://www.anthropocene-curriculum.org/>
- HAZEN, A. (1897). *Modern Methods of Supplying Cities with Pure Water*. Kalamazoo.
- HAZEN, A. (1907). *Clean Water and How to Get it*. Wiley.
- HAZEN, A. (1910). *The Filtration of Public Water-Supplies*. Wiley.
- HEARN, M. (2014). *The History of the Essex Company*. Independent Publisher.
- HERKERT, J. R. (2005). Ways of Thinking about and Teaching Ethical Problem Solving: Microethics and Macroethics in Engineering. *Science and Engineering Ethics*, 11(3), 373–385. <https://doi.org/10.1007/s11948-005-0006-3>
- HOSLER, D. (1988). Ancient West Mexican Metallurgy: A Technological Chronology. *Journal of Field Archaeology*, 15(2), 191–217. <https://doi.org/10.1179/009346988791974475>
- HUGHES, T. P. (1983). *Networks of Power: Electrification in Western Society, 1880–1930*. Johns Hopkins University Press.
- ISRAEL, B. A., ENG, E., SCHULZ, A. J., & PARKER, E. A. (Eds.). (2012). *Methods in Community-Based Participatory Research for Health* (2da Ed.). Wiley.
- JACKSON, J. B. (1984). *Discovering the Vernacular Landscape*. Yale University Press.
- JAIN, A., ONG, S. P., HAUTIER, G., CHEN, W., RICHARDS, W. D., DACEK, S., CHOLIA, S., GUNTER, D., SKINNER, D., CEDER, G., & PERSSON, K. A. (2013). Commentary: The Materials Project: A Materials Genome Approach to Accelerating Materials Innovation. *APL Materials*, 1(1), 011002. <https://doi.org/10.1063/1.4812323>
- KAMMEN, M. (2007). Photography and the Discipline of American Studies. *American Art*, 21(3), 13–18. <https://doi.org/10.1086/526476>
- KEATING, A. D. (1994). *Invisible Networks: Exploring the History of Local Utilities and Public Works*. Krieger Publishing Company.
- KENDI, I. X. (2016). *Stamped from the Beginning: The Definitive History of Racist Ideas in America*. Nation Books.
- KNOWLES, S. C., & TORERO, J. (2020). Plyscrapers, Gluescrapers, and Mother Nature's Fingerprints. En A. E. Slaton (Ed.), *New Materials: Towards a History of Consistency* (pp. 151–174). Lever Press.
- Lawrence City Atlases*. (1875, 1888, 1906, 1926, 1938). Lawrence History Center—Immigrant City Archives and Museum, Lawrence, MA, EE. UU.
- Lawrence City Documents, Bound Annual Reports*. (1846–1913). Lawrence History Center—Immigrant City Archives and Museum, Lawrence, MA, EE. UU.
- LAWRENCE HYDROELECTRIC PROJECT. (2020). *Lawrence Low Impact Hydropower Recertification Application* (FERC No 2800).
- LECHTMAN, H. (1994). The Materials Science of Material Culture: Examples from the Andean Past. En D. A. Scott & P. Meyers (Eds.), *Archaeometry of Pre-Columbian Sites and Artifacts* (pp. 3–11). Getty Conservation Institute.
- LERMAN, N., OLDENZIEL, R., & MOHUN, A. P. (2003). *Gender and Technology: A Reader*. Johns Hopkins University Press.

- LI, Y., ORTIZ, C., & BOYCE, M. C. (2012). Bioinspired, Mechanical, Deterministic Fractal Model for Hierarchical Suture Joints. *Physical Review E*, 85(3), 031901. <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.85.031901>
- LIN, E., LI, Y., ORTIZ, C., & BOYCE, M. C. (2014). 3D Printed, Bio-Inspired Prototypes and Analytical Models for Structured Suture Interfaces with Geometrically-tuned Deformation and Failure Behavior. *Journal of the Mechanics and Physics of Solids*, 73, 166–182. <https://doi.org/10.1016/j.jmps.2014.08.011>
- LINDQVIST, S. (2011). *Changes in the Technological Landscape: Essays in the History of Science and Technology*. Watson Publishing International LLC.
- LINTSEN, H. W., HOLLESTELLE, M. J., & HÖLSCGENS, H. N. M. (2017). *The Plastics Revolution: How the Netherlands Became a Global Player in Plastics*. Foundation for the History of Technology.
- MALONE, P. M. (2009). *Waterpower in Lowell: Engineering and Industry in Nineteenth-century America*. Johns Hopkins University Press.
- MARBLE, A. D. (1880). *Annual Report of the City Engineer of the City of Lawrence*. Printed at the Sentinel Office.
- MARTIN-MARTINEZ, F. J., & BUEHLER, M. J. (2020). Multiscale Modeling of Structural Materials: Chemistry and Mechanical Performance. En W. Andreoni & S. Yip (Eds.), *Handbook of Materials Modeling: Applications: Current and Emerging Materials* (pp. 1541–1546). Springer. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-44680-6\\_81](https://doi.org/10.1007/978-3-319-44680-6_81)
- Massachusetts Institute of Technology. Office of the President. *Reports to the President, 1871-1930 (AC-0597)*. Massachusetts Institute of Technology. Libraries. Department of Distinctive Collections.
- MASSACHUSETTS STATE BOARD OF HEALTH. (1887). *Annual Report of the State Board of Health of Massachusetts*. State Board of Health of Massachusetts.
- MASSACHUSETTS STATE BOARD OF HEALTH. (1893). *A Guide to its Exhibit at the World's Columbian Exposition, 1893*. The Board.
- MAYNARD, P. (1997). *The Engine of Visualization: Thinking through Photography*. Cornell University Press.
- MCDOWELL, C. (1996). Democratic Education: Imagery, Language, and Culture. *International Journal of Social Education*, 11(1), 91–97.
- MCDOWELL, C., & CHINCHILLA, M. Y. (2016). Partnering with Communities and Institutions. En E. Gordon & P. Mihailidis (Eds.), *Civic Media: Technology, Design, Practice* (pp. 461–480). <https://doi.org/10.7551/mitpress/9970.003.0037>
- MELOSI, M. V. (2000). *The Sanitary City: Urban Infrastructure in America from Colonial Times to the Present*. University of Pittsburgh Press.
- MILLS, H. (1893). Water Filtration in America. *Engineering News*, 97.
- MILLS, H. F. (1912). *Mills, Hiram Francis, 1912-1921 (AC 0013, Box 13, Folder 403)*. Massachusetts Institute of Technology. Libraries. Department of Distinctive Collections.
- MIT OFFICE OF THE PRESIDENT. (1916). *Reports of the President and Treasurer*. Massachusetts Institute of Technology.
- MODY, C. C. M. (2011). *Instrumental Community: Probe Microscopy and the Path to Nanotechnology*. MIT Press.
- MOLLOY, P. M. (1980). Nineteenth-century Hydropower: Design and Construction of Lawrence Dam, 1845-1848. *Winterthur Portfolio*, 15(4), 315–343. <https://doi.org/10.1086/495980>
- NDIAYE, P. A. (2007). *Nylon and Bombs: DuPont and the March of Modern America*. Johns Hopkins University Press.

- NYE, D. E. (1994). *American Technological Sublime*. MIT Press.
- NYE, D. E. (Ed.). (1999). *Technologies of Landscape: From Reaping to Recycling*. University of Massachusetts Press.
- OLDENZIEL, R., & TRISCHLER, H. (2016). *Cycling and Recycling: Histories of Sustainable Practices*. Berghahn.
- ORTIZ, C., & BOYCE, M. C. (2008). Bioinspired Structural Materials. *Science*, 319(5866), 1053–1054. <https://doi.org/10.1126/science.1154295>
- OXMAN, N. (2010). Structuring Materiality: Design Fabrication of Heterogeneous Materials. *Architectural Design*, 80(4), 78–85. <https://doi.org/10.1002/ad.1110>
- OXMAN, N., ORTIZ, C., GRAMAZIO, F., & KOHLER, M. (2015). Material Ecology. *Computer-Aided Design*, 60, 1–2. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2014.05.009>
- PERKINS, T. T., SMITH, D. E., & CHU, S. (1994). Direct Observation of Tube-like Motion of a Single Polymer Chain. *Science*, 264(5160), 819–822. <https://doi.org/10.1126/science.8171335>
- Photographs of Water Filtration System Under Construction. (Ca. 1893-1910)*. Lawrence History Center – Immigrant City Archives and Museum, Lawrence, MA, EE. UU.
- ROWELL, W. E. (1912). Introduction. En F. B. Sanborn, R. E. Todd, F. H. McLean, & White Fund, *The Report of the Lawrence Survey; Studies in Relation to Lawrence, Massachusetts, Made in 1911* (pp. 15–17). The Andover Press.
- SEDGWICK, W. T. (1906). The Experimental Method in Sanitary Science and Sanitary Administration. *Science*, 23(584), 362–367. <https://doi.org/10.1126/science.23.584.362>
- SEDGWICK, W. T. (1922). *Principles of Sanitary Science and the Public Health with Special Reference to the Causation and Prevention of Infectious Diseases*. Macmillan.
- SEEWANG, L. (2019). Salubrious Berlin: Public Streets and Universal Bodies of the Modern Municipality, 1860–1909. En A. Kockelkorn & N. Zschocke (Eds.), *Productive Universals-Specific Situations: Critical Engagements in Art, Architecture, and Urbanism* (pp. 127–159). Sternberg.
- SELIGSON, D., & MCCANTS, A. E. C. (2021). Coevolving Institutions and the Paradox of Informal Constraints. *Journal of Institutional Economics*, [First View], 1–20. <https://doi.org/10.1017/S1744137420000600>
- SLATON, A. E. (2001). *Reinforced Concrete and the Modernization of American Building, 1900-1930*. Johns Hopkins University Press.
- SLATON, A. E. (2010). *Race, Rigor, and Selectivity in U.S. Engineering: The History of an Occupational Color Line*. Harvard University Press.
- SLATON, A. E. (2020). *New Materials: Towards a History of Consistency*. Lever Press. <https://doi.org/10.1353/book.78801>
- SMITH, F. M. (1947). *The Essex company on the Merrimack at Lawrence*. Newcomen Society of England, American Branch.
- SMITH, M. R., & MARX, L. (Eds.). (1994). *Does Technology Drive History? The Dilemma of Technological Determinism*. MIT Press.
- SPERO, E. F. (2013). The Tua River Valley: A Technological Landscape. En A. McCants, E. Beira, J. M. Lopes Cordeiro, & P. B. Lourenço (Eds.), *Railroads in Historical Context: Construction, Costs and Consequences: Vol. III* (pp. 239–248). Foz Tua.
- SPERO, E. F., & PEREIRA, H. S. (2016). The Tua Valley in Transition, Symbol and Technological Landscape. *CEM Cultura, Espaço & Memória*, 7, 223–241.
- STAGE, S., & VINCENTI, V. B. (1997). *Rethinking Home Economics: Women and the History of a Profession*. Cornell University Press.

- STEWART-SMITH, D. (1999). *The Pennacook Indians and the New England Frontier, Circa 1604-1733*. The Union Institute.
- STROBER, M. (2011). *Interdisciplinary Conversations: Challenging Habits of Thought*. Stanford University Press.
- THOMAS, D. S. K., PHILLIPS, B. D., LOVEKAMP, W. E., & FOTHERGILL, A. (Eds.). (2013). *Social Vulnerability to Disasters*. CRC Press.
- THORSHEIM, P. (2016). *Waste into Weapons: Recycling in Britain during the Second World War*. Cambridge University Press.
- TISHMAN, S. (2018). *Slow Looking: The Art and Practice of Learning Through Observation*. Routledge.
- ULM, F.-J., VANDAMME, M., BOBKO, C., ORTEGA, J. A., TAI, K., & ORTIZ, C. (2007). Statistical Indentation Techniques for Hydrated Nanocomposites: Concrete, Bone, and Shale. *Journal of the American Ceramic Society*, 90(9), 2677–2692. <https://doi.org/10.1111/j.1551-2916.2007.02012.x>
- UNITED NATIONS DEVELOPMENT PROGRAMME. (2020). *Human Development Report 2020: The Next Frontier: Human Development and the Anthropocene* [Informe de Desarrollo Humano]. UNDP. <http://hdr.undp.org/en/content/human-development-report-2020>
- UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. (2015). *Rethinking Education: Towards a Global Common Good?* UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000232555>
- UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION. (2020). *Education for Sustainable Development: A Roadmap*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000374802?posInSet=1&queryId=73dbbf8d-800c-49e1-b293-24f28e7bcf45>
- VAN ANDERS, G., KLOTS, D., KARAS, A. S., DODD, P. M., & GLOTZER, S. C. (2015). Digital Alchemy for Materials Design: Colloids and Beyond. *ACS Nano*, 9(10), 9542–9553. <https://doi.org/10.1021/acsnano.5b04181>
- VINSEL, L., & RUSSELL, A. L. (2020). *The Innovation Delusion: How Our Obsession with the New Has Disrupted the Work That Matters Most*. Penguin Random House.
- VISELSTEAR, A. J. (1988). The Emergence of Pioneering Public Health Education Programs in the United States. *The Yale Journal of Biology and Medicine*, 61(6), 519–548.
- WATSON, B. (2005). *Bread and Roses: Mills, Migrants, and the Struggle for the American Dream*. Penguin.
- WEISS, S. (2020). Making Engineering Visible: Photography and the Politics of Drinking Water in Modern Paris. *Technology and Culture*, 61(3), 739–771. <https://doi.org/10.1353/tech.2020.0072>
- WELLAND, M. (2010). *Sand: The Never-Ending Story*. University of California Press. *William T. Sedgwick Correspondence, 1893-1908* (MC 444, Box C). Massachusetts Institute of Technology, Department of Distinctive Collections.
- WINNER, L. (1986). *The Whale and the Reactor: A Search for Limits in an Age of High Technology*. The University of Chicago Press.
- WINSLOW, C.-E. A. (1953). There Were Giants in Those Days. *American Journal of Public Health and the Nations Health*, 43(6 Pt 2), 15–19. [https://doi.org/10.2105/ajph.43.6\\_pt\\_2.15](https://doi.org/10.2105/ajph.43.6_pt_2.15)
- WISNIOSKI, M., HINTZ, E. S., & KLEINE, M. S. (Eds.). (2019). *Does America Need More Innovators?* MIT Press.

- YANG, A., & DASTON, L. (2017, abril 1). *Time (and Time Again). Temporality, Criticality, and the Historical Imagination: A Conversation with Historian of Science Lorraine Daston* [Deep Time Chicago Pamphlet Series]. Anthropocene Curriculum. <https://www.anthropocene-curriculum.org/contribution/time-and-time-again>
- ZIMRING, C. A. (2005). *Cash for Your Trash: Scrap Recycling in America*. Rutgers University Press.
- ZIMRING, C. A. (2017). *Aluminum Upcycled: Sustainable Design in Historical Perspective*. Johns Hopkins University Press.