

Marco conceptual dinámico de la ingeniería ambiental sanitaria: cambios ontológicos, epistemológicos y axiológicos en la formación de la ingeniería sanitaria (s. XVIII – XIX)

J.M. Álvarez-Campana*, J. Suárez*, A. Jácome*

* ETSICCP, Área de tecnologías del medio ambiente, Universidad de A Coruña

1. Introducción

La ingeniería sanitaria moderna tiene un historial de más de 150 años de servicio a las necesidades básicas de la población y al medio ambiente: el abastecimiento de agua potable; el saneamiento y la depuración de aguas residuales; la recogida, tratamiento y eliminación de los residuos sólidos; el control ambiental de la atmósfera y de los suelos impactados por actividades humanas; y la gestión ambiental. Durante ese largo período de tiempo ha habido progresos y cambios en la concepción del mundo, en los modelos de conocimiento e incluso en los valores que se toman de referencia para orientar las actividades humanas. Así, la naciente ingeniería sanitaria en la 'era de las miasmas' como denomina Melosi (1996) de la segunda mitad del siglo XIX -cuando para autores como Crutzen (2000) comienza el Antropoceno- no se enfrenta a las mismas cuestiones, ni con los mismos instrumentos, que la ingeniería ambiental del siglo XXI.

Sin embargo, entre aquella ingeniería sanitaria naciente y esta ingeniería ambiental nueva, pueden identificarse procesos graduales de cambios y adaptación, cambios en nuestra visión del mundo y los artefactos (ontológicos), sobre los tipos de conocimiento (epistemológicos), metodológicos, y sobre los valores, tanto éticos como políticos o normativos (axiológicos). La comunicación tiene presentes desde los estudios históricos de esta actividad ingenieril realizados por autores como Martin Melosi, sobre todo referidos al siglo XIX. Un programa de investigación que se está continuando hasta estudios más recientes, como los de Stephanie Pincetl que abordan cuestiones acuciantes como la sostenibilidad urbana y el cambio climático global, y en donde se abren paso (sumándose a la problemática 'tradicional') conceptos como la resiliencia, el diseño urbano sostenible e integrado, las infraestructuras verdes (bio-infraestructuras) o el cambio climático global.

En este sentido, una mirada retrospectiva (desde el siglo XXI hasta el siglo XIX) de la teoría y práctica de la ingeniería sanitaria permite identificar, de manera dinámica, los

conceptos más relevantes y los problemas (ontológicos, epistemológicos y axiológicos) a los que -de una u otra manera- se ha tenido que ir enfrentando la actividad; lo que permite reconocer y reconstruir los conceptos y problemas nodulares que son los retos esenciales de la ingeniería ambiental sanitaria en el siglo XXI.

2. Génesis temprana y propuesta evolutiva de la ingeniería ambiental sanitaria

Desde la primera revolución industrial, la actividad de la ingeniería sufre cambios relevantes, entre los que pueden destacarse cómo la propia ingeniería adquiere identidad y autonomía¹, su acoplamiento progresivo con la actividad científica y su estrecho vínculo con el programa económico transformador de la revolución industrial². Esto puede afirmarse cuando se habla de la tecnología en general o, más adecuado al caso, de la ingeniería en general. Pero el mundo de la actividad ingenieril trae consigo, ya desde estos principios, una complejidad que en poco difiere de la complejidad que presenta el mundo de la ciencia (con un amplio abanico disciplinar).

La tecnología ingenieril, que en el siglo XVIII asiste a la segregación de la ingeniería civil de la ingeniería militar, también observa la aparición de una nueva disciplina diferente³ como es la de la ingeniería mecánica, fabril o industrial aplicada por los manufactureros. Esta es una cuestión relevante, por cuanto, ya fuera ambas del campo militar, la ingeniería civil se ocupa en sus orígenes fundamentalmente de la construcción de infraestructuras de transporte y comunicación (camino, canales, vías férreas, puertos...), mientras que la ingeniería industrial (aún no bajo este término) se centra en motores, máquinas y sistemas de producción fabril.

Esas dos grandes ramas ingenieriles (civil e industrial) presentan diferencias notables en aspectos ontológicos, epistemológicos, metodológicos y axiológicos, al menos. Por ejemplo, en relación con el medio o territorio, puede afirmarse que para la ingeniería civil el territorio es un elemento determinante, tanto como objeto cuanto como medio de desarrollo de la actividad constructiva. En cambio, para la ingeniería mecánica el territorio es un elemento prácticamente indiferente, excepto en que se convierte en un lugar sobre

¹ Para Ortega y Gasset (1939:33), en este período, al dejar en último término la máquina al artesano, se produce un reposicionamiento de las relaciones entre los seres humanos y la técnica, de modo que, al convertirse la fábrica en un artefacto independiente: "consecuencia de ello fue que el técnico y el obrero, unidos en el artesano, se separasen, y al quedar aislado se convirtiese el técnico como tal en la expresión pura, viviente, de la técnica como tal: en suma, el ingeniero."

² Ortega y Gasset en *La rebelión de las masas* (1926), en el cap. XII "La barbarie del 'especialismo'" sostiene que "la técnica contemporánea nace de la copulación entre el capitalismo y la ciencia experimental".

³ Una disciplina que puede surgir de la combinación entre la fabricación de materiales y artefactos militares –por una parte- con las exigencias técnicas y económicas de las actividades mineras. A este respecto, probablemente la ingeniería minera pueda considerarse como un espacio disciplinar entre la ingeniería civil y la ingeniería fabril o industrial.

el que se ubica una actividad industrial que, a estos efectos es como una caja negra. Una caja negra en donde entran materias primas, energía y fuerza laboral, y de la que salen los productos –como elemento esencial- así como residuos (humos, productos químicos, aguas residuales, escorias, residuos sólidos...) que tardarán muchas décadas en convertirse en una preocupación de la ingeniería.

Las diferencias sustanciales entre la ingeniería civil e industrial aconsejan que, a la hora de hablar de ingeniería o de tecnología ingenieril, sea conveniente precisar a cual de estas dos grandes ramas ingenieriles nos referimos. Esto se observa bien cuando se revisan la historia de las reflexiones filosóficas sobre la tecnología ingenieril, cuando estas reflexiones se aplican al ámbito ingenieril. Por ejemplo, los antecedentes tempranos (Babbage, 1832; Ure, 1835), están claramente en la órbita disciplinar de la ingeniería mecánica o fabril, mientras que obras posteriores como Kapp (1877) se encontrarían en la órbita de la ingeniería civil.

2. Cronología y etapas de la ingeniería ambiental sanitaria: estado de la cuestión

El estado actual de la historia sobre la ingeniería civil y ambiental sanitaria puede resumirse brevemente. Apenas puede hablarse de un cuerpo de conocimiento básico sobre la historia, no sólo de la ingeniería sanitaria, sino también de la ingeniería civil y ambiental. Cuando se comparan las historias elaboradas durante el siglo XIX y XX sobre la ingeniería sanitaria con las elaboradas en el siglo XXI, no se observan diferencias significativas. Sin embargo, sería de suponer que la mayor facilidad en el uso de fuentes primarias, o la relevancia de algunas cuestiones metodológicas pudieran haber impreso un cambio en el análisis histórico. Pero, a pesar de todo esto, de lo que puede hablarse es de una cierta continuidad entre los antecedentes y el estado actual, pudiendo concluirse que aún estaría pendiente una historia de la ingeniería civil y ambiental sanitaria.

Cuando hablamos de la historia de la ingeniería civil sanitaria vamos a remontarnos hasta mediados del siglo XVIII. Es claro que en un pasado más remoto existen numerosas actividades y construcciones cuyo objeto está englobado dentro del campo que se considerará de la ingeniería sanitaria, pero no creemos que hasta ese corte de mediados del siglo XVIII podamos hablar propiamente de una ingeniería en el sentido moderno del término⁴.

Esta es una debilidad que se observa en algunos estudios que tratan sobre la historia de la ingeniería civil, en donde se asume que una clase artificial como la de 'ingeniería

⁴ Es en ese corte temporal de mediados del siglo XVIII en donde se puede colocar el inicio del proceso de transformación ontológica, epistemológica y axiológica de la ingeniería civil, de modo que a partir de entonces es cuando puede hablarse propiamente de esta ingeniería, como se verá más adelante.

sanitaria' o 'saneamiento' (tomado no por la actividad sino por el resultado) tiene una continuidad durante una larga serie histórica, como se ve por ejemplo en el artículo de Lofrano & Brown (2010) en donde se traza una línea temporal de miles de años. Por esta razón, al concentrarnos en el período que podría denominarse de la ingeniería tecnológica (desde mediados del siglo XVIII hasta la actualidad) vamos a tratar sólo aquellos trabajos relevantes cuyos esfuerzos de investigación se centran –al menos aproximadamente- en esta etapa moderna de la ingeniería sanitaria.

Respecto a esta materia y enfoque, en el momento actual no pude afirmarse –con todas las prevenciones correspondientes– que se disponga de una completa historia (desde mediados del siglo XVIII) del saneamiento municipal e ingeniería sanitaria. Sin embargo, una de las aportaciones más reconocidas y más cercanas a esa historia sería el conjunto de las obras del historiador Martin V. Melosi, quien en *The Sanitary City: Environmental Services in Urban America from Colonial Times to the Present* (2000) realiza un recorrido, con enfoque en el abastecimiento de aguas, el saneamiento y depuración de las aguas residuales, y la gestión de los residuos sólidos urbanos (los tres servicios más relevantes de ingeniería sanitaria) de las ciudades norteamericanas desde el siglo XVIII en adelante.

La cronología de Melosi retrocede para comenzar a finales de la época colonial norteamericana, entrando en el primer período (hasta aproximadamente 1880) que denomina la 'Edad de los Miasmas', seguido por el período (desde finales del siglo XIX hasta el final de la II Guerra Mundial) de la 'Revolución Bacteriológica', para terminar con el período de la 'Nueva Ecología'. Esta línea de tiempo de suficiente longitud permite, como sugiere Melosi, un "examen detallado de los cambios en tecnología, en la evolución de la autoridad regulatoria, y en las pautas de crecimiento urbano."⁵

Este trabajo de Melosi, que puede considerarse como un estado actual de la historia de los servicios sanitarios de las ciudades norteamericanas, lo completa con dos obras más. En primer lugar con *Effluent America Cities: Industry, Energy, and the Environment* (2001)⁶, un conjunto de ensayos sobre historia del medio ambiente urbano, agrupados bajo los epígrafes de: la contaminación en la América industrial⁷; el crecimiento urbano y los servicios comunes⁸, terminado con el conjunto de la reforma ambiental urbana⁹.

⁵ Melosi, M.V. (2000): *The Sanitary City: Environmental Services in Urban America from Colonial Times to the Present*, University of Pittsburgh Press, p. 2.

⁶ Melosi, M.V. (2001): *Effluent America Cities: Industry, Energy, and the Environment*, University of Pittsburgh Press

⁷ En donde reúne los ensayos: "Environmental Crisis in the City", "The Relationship between Industrialization and Urban Pollution", "Pollution and the Emergence of Industrial America", "Down in the Dumps"; "Is There a Garbage Crisis in America?", y "Hazardous Waste and Environmental Liability."

⁸ Donde recoge los ensayos: "The Place of the City in Environmental History", "Cities, Technical Systems, and the Environment", "Sanitary Services and Decision Making in Houston", y "Community and the Growth of Houston".

La última obra de Melosi que completa este grupo sería la actualización (publicada en 2004) de su libro sobre la basura publicado en 1981. Así, la obra revisada *Garbage in the Cities: Refuse, Reform and the Environment*¹⁰ profundiza en la historia sanitaria, ingenieril, de gestión y política de las basuras en Norteamérica¹¹. La diferencia con el texto inicial de Melosi está en una revisión de las discusiones en el período temprano considerado, y en las actualizaciones que realiza hasta finales del siglo XX.

Junto a esta panorámica histórica de Melosi de los servicios sanitarios y problemática ambiental en la ciudad americana, se dispone de diversos estudios centrados en servicios más concretos (como el abastecimiento de aguas, o el saneamiento y depuración de aguas residuales, o la gestión de los residuos). En ellos puede observarse cómo se han realizado diversas aproximaciones a historias y líneas de tiempo de hechos destacables en la ingeniería sanitaria, o de actividades relevantes de la misma como son el abastecimiento de agua y el saneamiento y depuración de las mismas.

Entre los más recientes estudios históricos sobre abastecimiento de aguas puede destacarse una completa historia elaborada por Marcis Kempe (2006) sobre el abastecimiento de aguas en Nueva Inglaterra¹², en donde, básicamente desde mediados del siglo XIX, refleja la evolución de las fuentes de suministro, de las tecnologías, de la conformación y gestión de los sistemas de abastecimiento de aguas, y de las problemáticas normativas, sociales y económicas vinculadas. Al tratarse de una historia regional podría pensarse que sus referencias tienen un valor geográficamente limitado. Sin embargo, más al contrario, tanto el tipo de historia como el hecho de que Nueva Inglaterra fuera el lugar de entrada de la vanguardia científica y tecnológica europea durante el siglo XIX y principios del siglo XX, como el hecho de que la zona haya tenido un desarrollo económico y social extraordinario durante el siglo XX, permiten considerar a este territorio como un modelo de la historia del abastecimiento en el ámbito socio-cultural (también entonces técnico y científico) euroamericano.

⁹ Incluyendo los ensayos: "Environmental Reform in the Industrial Cities", "The Civic Response to Pollution in the Progressive Era", "Sanitary Engineers in American Cities", "Changing Roles from the Age of Miasmas to the Age of Ecology", y "Environmental Justice, Political Agenda Setting, and the Myths of History".

¹⁰ Melosi, M.V. (2004): *Garbage in the Cities: Refuse, Reform and the Environment*, The Pittsburgh University Press.

¹¹ El contenido completo, derivado del índice de la publicación, incluye: Out of Sight, Out of Mind: The Refuse Problem in the Late Nineteenth Century; The "Apostle of Cleanliness" and the Origins of Refuse Management; Refuse as an Engineering Problem: Sanitary Engineers and Municipal Reform; Refuse as an Aesthetic Problem: Voluntary Citizens' Organizations and Sanitation; Street-Cleaning Practices in the Early Twentieth Century, Collection and Disposal Practices in the Early Twentieth Century, Solid Waste as Pollution in Twentieth-Century America, The Garbage Crisis in the Late Twentieth Century.

¹² Kempe, M. (2006): "New England Water Supplies: A Brief History", *Journal of the New England Water Work Association*, vol. 120, nº 3, September 2006, 157 pp.

Este carácter supralocal del trabajo de Kempe puede observarse en las propuestas cronológicas que plantea, tanto respecto al abastecimiento de aguas (en este caso hasta finales del siglo XIX, cuando se constituye la NEWWA, asociación de obras hidráulicas de Nueva Inglaterra), como al desarrollo del aprovechamiento de los diferentes tipos de recursos de agua.

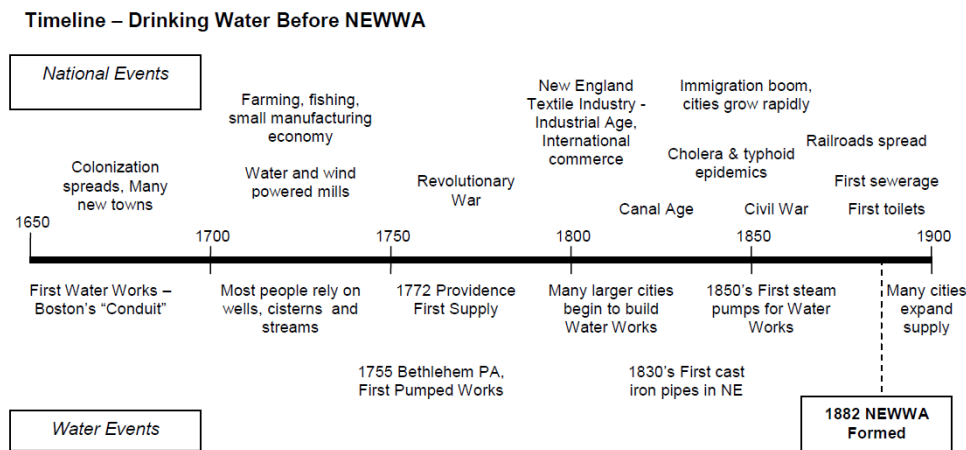


Fig. 1) Línea de tiempo del abastecimiento de agua potable (Kempe, 2006: 4)

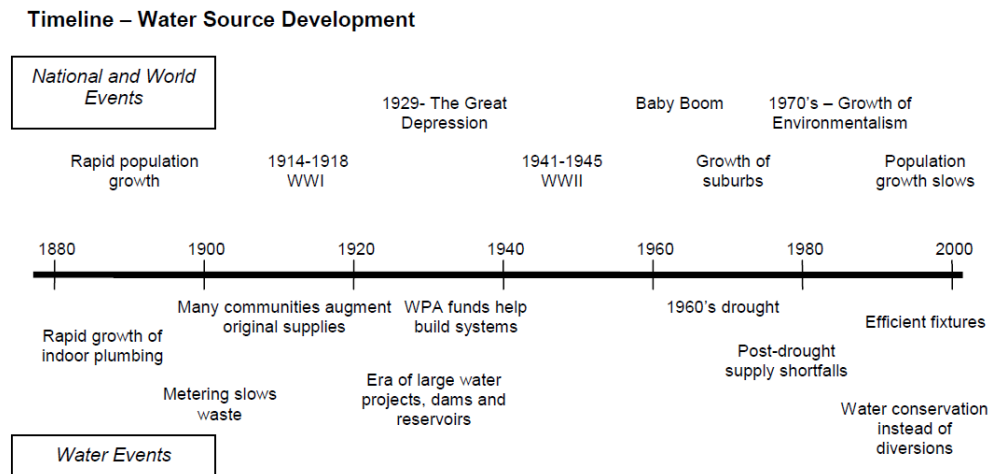


Fig. 2) Línea de tiempo del desarrollo de recursos hídricos (Kempe, 2006: 23)

Probablemente, la diferencia entre los antecedentes (obras del siglo XX) respecto al estado actual sea más visible en los estudios históricos sectoriales realizados a principios del siglo XXI. Esto es debido a que la larga historia que se plantea de la ingeniería

sanitaria está íntimamente relacionada con historias (además de la de la ingeniería en general, como se ha visto) como la del higienismo y la salud pública, o sobre el urbanismo y la ciudad, o sobre servicios públicos objeto de la ingeniería sanitaria (abastecimiento de agua, saneamiento y depuración, gestión de residuos sólidos), hasta aspectos más amplios que tienen que ver precisamente con la transformación durante las últimas décadas de la ingeniería civil y ambiental sanitaria, como son la ética ambiental, las propuestas de modelo de crecimiento basado en el desarrollo sostenible, o problemas de ámbito global como el cambio climático.

Una de las propuestas más destacables sobre historia decimonónica de salud pública e higienismo sería la de José Luis Ramos Gorostiza (2014)¹³ sobre el movimiento británico de salud pública y el higienismo español¹⁴. El autor presenta al *sanitary movement* británico, que se apoya en los planteamientos del *Sanitary Report* (1842) de Chadwick, como el movimiento de salud pública más importante e influyente de la primera mitad del siglo XIX, cuando los problemas del empeoramiento de las condiciones de vida – especialmente de la clase trabajadora– en las ciudades industriales se hacían cada vez más acuciantes. Ramos (2014:38) sostiene que el principal objetivo del movimiento sanitario británico “fue neutralizar la peligrosa radicalización obrera y la creciente agitación social y evitar la degradación moral de la clase trabajadora, así como generar significativas ventajas económicas”.

También pueden señalarse ejemplos recientes como el del estudio histórico de Lofrano & Brown (2010) sobre la gestión de las aguas residuales a lo largo del tiempo¹⁵ en donde se propone una sencilla línea de tiempo del saneamiento y se identifican una serie de etapas:

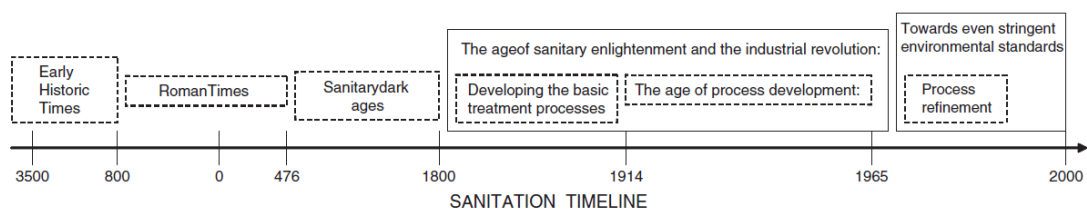


Fig. 3. Línea de tiempo del saneamiento (Lofrano & Brown, 2010)

¹³ Ramos, J.L. (2014): “Edwin Chadwick, el movimiento británico de salud pública y el higienismo español”, *Revista de Historia Industrial*, nº 55, año XXIII, 2014.2., pp. 11-38.

¹⁴ Respecto al higienismo español, que no alcanzará la influencia del movimiento sanitario británico, pero que tiene su importancia en el ámbito peninsular y colonial, Ramos (2014:38) señala: “Por su parte, en estos mismos años centrales del siglo XIX, arrancaba y se consolidaba en España la higiene como disciplina moderna, con figuras como Mateo Seoane, Pedro Felipe Monlau y Francisco Méndez Álvaro. Este trabajo pretende analizar las conexiones, similitudes y diferencias entre el higienismo español y el *sanitary movement* británico.”

¹⁵ Lofrano, G. & Brown, J. (2010): “Wastewater management through the ages: A history of mankind”, *Science of the Total Environment* 408 (2010) 5254–5264.

La historia de la ingeniería civil y ambiental sanitaria tiene una relación con otros relatos históricos más generales, que pueden servir de marco de referencia, como son los aspectos económicos y políticos. Entre estos últimos, puede destacarse como una referencia del estado actual de la revisión histórica de las políticas ambientales, la publicación en 2009 de la obra de Frank Uekoetter *The Age of Smoke: Environmental Policy in Germany and the United States, 1880-1970*¹⁶. Se trata de un estudio histórico comparativo entre las políticas ambientales (y protestas) de Alemania y de los Estados Unidos; un estudio relevante en tanto las políticas alemanas han tenido una extraordinaria influencia en el ámbito continental europeo, mientras que las norteamericanas han tenido también una influencia global apreciable.

En estos momentos, a pesar de los antecedentes disponibles y de los avances en materia histórica sobre la ingeniería sanitaria y las materias relacionadas, puede afirmarse que aún es necesario proceder a la revisión y relectura de los materiales existente a fin de aproximar una secuencia histórica de ámbito general (al menos en el que corresponde al espacio euroamericano) que ayude a una comprensión más profunda de la actividad de la ingeniería sanitaria, y que de esta manera contribuya a su elucidación.

Tras una serie de interesantes procesos de consolidación como disciplina emergente (desde la ingeniería civil), será a finales del siglo XIX cuando puede datarse el nacimiento de la ingeniería sanitaria como una disciplina de la ingeniería civil que reúne enfoques y aspectos de la higiene y salud pública, de la ingeniería civil en formación, y del urbanismo. Los conceptos médico-sanitarios son muy relevantes para la configuración de la ingeniería sanitaria, de ahí que el cambio de paradigma desde la teoría miasmática a la teoría microbiológica, producido durante el siglo XIX, tenga su correlato en la transformación de cuestiones ontológicas, epistemológicas, metodológicas y axiológicas de la ingeniería sanitaria. Así como en aspectos económicos y sociales de primera magnitud.

Por esto, para el proceso de elucidación filosófica de la ingeniería, como exploración de los elementos ontológicos, epistemológicos, metodológicos y axiológicos, entendemos que la revisión y análisis histórico, que la dimensión histórica relativa a los hechos, fenómenos, conceptos, artefactos, inventos, y comunidades, entre otros, es una de las claves para contribuir a la clarificación conceptual y lógica de la actividad.

En esta fase de investigación preliminar, que podemos denominar como de elucidación secundaria, entendemos que la contribución a este proceso de clarificación puede estar representada por una propuesta sintética de las fases (y contenidos de las mismas) más relevantes, a partir del conjunto de la información disponible. Si bien es cierto que ya hay algunas propuestas de fases de la historia de la ingeniería sanitaria, debidas

¹⁶ Uekoetter, F. (2009): *The Age of Smoke: Environmental Policy in Germany and the United States, 1880-1970*, The Pittsburgh Press.

especialmente al historiador Melosi, lo cierto es que estas etapas (era de las 'miasmas', revolución bacteriológica y la ecológica), aún a pesar de su plasticidad y apoyo epistemológico (especialmente para la 'revolución bacteriológica') estarían todavía lejos de formar un andamiaje histórico que ayude a explicar la formación de la ingeniería como especialidad autónoma, su consolidación, la expansión tecnológica de la primera mitad del siglo, y –una vez reconocido el impacto del ambientalismo a partir de los años setenta- la revisión y estado de la ingeniería sanitaria a principios del siglo XXI, un nuevo siglo dominado por retos como el desarrollo sostenible ante el cambio climático global.

De esta manera, en esta fase de elucidación secundaria, a partir de los antecedentes, del estado actual y de consideraciones –tanto externas a la ingeniería sanitaria como extrahistóricas– puede desarrollarse una propuesta tentativa, sintética de historia y fases para la ingeniería sanitaria. Una propuesta que complete la de Melosi (1996), quien trata con mucho detalle el siglo XIX, sobre todo la segunda mitad, aunque parece que durante el siglo XX tiene una resolución cronológica menor. Así, los períodos que nombra como "edad de los miasmas" y "revolución bacteriológica" tienen una denominación muy expresiva y plástica, pero la conexión con la ecología (que probablemente no madura hasta finales de los 60s) deja un cierto vacío en el discurso histórico de la primera mitad del siglo XX.

A continuación se exponen los elementos básicos para el establecimiento de marcos conceptuales de la ingeniería sanitaria hasta su configuración (en el siglo XX) como una disciplina madura.

3. Marco conceptual de la ingeniería civil sanitaria en formación (s. XVIII - XIX)

Es durante siglo XVIII cuando se empiezan a demarcan los territorios de la ingeniería civil, según van quedando desgajados de la actividad ingenieril militar. A mediados del siglo XVIII, en 1747, se funda en París *L'Ecole des Ponts et Chaussés*, la primera escuela de ingeniería civil moderna del mundo. Una escuela, inicialmente dirigida por Jean Perronet, que es heredera de la institución militar¹⁷ francesa del *Corps de Ingénieurs de Ponts et Chaussées*. En 1794, también en París, se establece la *École Polytechnique*, fundada bajo el nombre de *École centrale de travaux publiques*.

De acuerdo con Meijers (2009:3) "el término 'ingeniería civil' se introduce en el siglo XVII para distinguir las aplicaciones no militares, como las carreteras y los puentes. La ingeniería se definió a principios del siglo XIX como 'el arte de dirigir las grandes fuerzas de la naturaleza para el uso y conveniencia del ser humano'". La denominación de ingeniero civil se atribuye al ingeniero y físico inglés John Smeaton (1724-1792),

¹⁷ La condición de la ingeniería civil como heredera de la ingeniería militar ha sido tenida en cuenta por distintos autores (ej. Mitcham, 1988) a la hora de explicar características organizativas y culturales, como la jerarquía y una cierta rigidez, atribuidas en el pasado a la ingeniería civil.

considerado como fundador del término al autodenominarse ‘ingeniero civil’ (Mitcham, 1988:58). El campo de actividad ingenieril de Smeaton se centra en la construcción de faros, puertos, canales y puentes, pudiendo destacarse –en la materia de lo que más tarde llegará a ser la ingeniería sanitaria– diversos trabajos de drenaje de zonas inundables de Inglaterra.

Las numerosas aportaciones ingenieriles de John Smeaton han sido objeto de interés desde diversas especialidades de la ingeniería civil. Sin embargo, en este punto quiero destacar tres aportaciones –muy diferentes entre sí– pero que muestran la extraordinaria amplitud e importancia del impulso de Smeaton a la ingeniería civil en el siglo XVIII. El primer elemento que quiero destacar, referido al uso de materiales, es la actualización técnica que realiza del cemento como material de construcción. En segundo lugar, desde el punto de vista del conocimiento práctico, el desarrollo de coeficientes (que permiten una aproximación de modelos prácticos hacia modelos cuasiteóricos o netamente teóricos)¹⁸. Y en tercer lugar, su apoyo al asociacionismo profesional, destacando el impulso a la creación en 1771 de la *Society of Civil Engineers*¹⁹.

La ingeniería civil reaparece –puesto que las actividades constructivas que componen esta disciplina están presentes desde la antigüedad– en un formato renovado. Un formato que responde a la demanda de nuevas obras, de nuevas infraestructuras de comunicación. El arrastre económico transformador de la primera revolución industrial, con un modelo emergente de uso de la energía a partir del carbón, llevan a la creación y demanda, además de los ingenios fabriles (fábricas textiles, en primer lugar), de mejora de las condiciones de comunicación y transporte de mercancías –sobre todo- y de personas. El final del siglo XVIII, pero sobre todo los comienzos del siglo XIX demandan mejoras productivas en las minas, y de la mano de estas mejoras aparecen las necesidades en infraestructuras de transporte (camino y después las vías férreas), así como puertos modernos. Podría decirse, de una manera muy simplificada, que el nacimiento de la ingeniería civil está vinculado a las crecientes necesidades de transporte (de materias primas, combustible y productos elaborados) del proceso de industrialización acelerada que caracteriza al siglo XIX.

El proceso de industrialización acelerada desde finales del XVIII, especialmente en las nuevas zonas fabriles de Inglaterra, va a traer de la mano una concentración de población sin precedentes. La elevada densidad de población, y el hecho de que las ciudades no estén preparadas para ese incremento (hacinación) de las presiones humanas, va a derivar en una degradación extraordinaria de las condiciones de higiene y salud pública. La rápida sobrepoblación va a desbordar unas condiciones higiénico-

¹⁸ El conocido como Coeficiente de Smeaton está presente en la ecuación ascensional (atribuida a Smeaton) que usaron los hermanos Wright en sus diseños aeronáuticos.

¹⁹ La Sociedad de Ingenieros Civiles que será precursora de la *Institution of Civil Engineers*, fundada en 1818 y que será renombrada en 1830 como *Smeatonian Society of Civil Engineers*, denominación que mantiene en la actualidad.

sanitarias que, en la gran mayoría de las ciudades europeas, distan de ser las adecuadas, siquiera para las poblaciones residentes ordinariamente.

Los abastecimientos de agua se hacen desde los ríos, de fuentes o pozos, en zonas que difícilmente –a pesar de la incorporación de tratamientos de purificación²⁰- pueden escapar de los procesos de contaminación, el estiércol y la basura sólida se recoge y se carreta, o bien se arrastra mediante mareas (de agua) en las calles para evacuar las inmundicias a través de las cunetas al aire libre o de las pocas alcantarillas que se atascan y se hundan una y otra vez. En las ciudades que sirven entonces de referencia por su limpieza, las casas cuentan –en el mejor de los casos– con letrinas y pozos negros que deben ser limpiados periódicamente para reducir la acumulación de excrementos²¹. Estas condiciones generales llevarán a que, una y otra vez, autoridades públicas intenten –las más de las veces con escaso éxito– emprender importantes proyectos de transformación urbana. Pero en estos finales del siglo XVIII y principios del siglo XIX, aún no se dan las condiciones científicas, técnicas, económicas y de gestión²², como para abordar con éxito problemas de esa escala. Sin embargo, sí que pueden destacarse algunas actuaciones ingenieriles y arquitectónicas más limitadas y bien ejecutadas, que vendrán a mostrar cómo estas actividades pueden contribuir al mejoramiento de la trama y condiciones urbanas.

Hechas estas observaciones, y siguiendo con la evolución de la ingeniería civil, puede señalarse que hasta principios del siglo XIX, la teoría y práctica de la nueva ingeniería civil encuentra su mejor representación en Francia y Gran Bretaña; en la primera destaca sobre todo en el orden teórico (y formativo) y en la segunda en el orden de su aplicación práctica. La formación ingenieril francesa es un referente de primer orden de magnitud. Hasta el punto de que cuando en Estados Unidos se promueve la creación de un cuerpo autónomo de profesionales de la ingeniería civil, se hace enviando a personal técnico para formarse en Francia. El primer libro de texto (en equivalente de grado universitario) de ingeniería civil en los Estados Unidos es una versión de la práctica francesa de la ingeniería civil. Así, *An Elementary Course of Civil Engineering* (1838), redactado por Dennis Hart Mahan después de su estancia formativa en París, será durante décadas el libro de referencia en la ingeniería civil norteamericana.

²⁰ El primer abastecimiento de agua filtrada para una ciudad completa se construyó en 1804 en Paisley, en Escocia. Aunque comenzó con un carro de abastecimiento, en 1807 se le añadió un sistema de distribución mediante tuberías. Cfr. Baker, M.N. (1949): *The quest for pure water*, op. cit. pp. 6-13.

²¹ Cfr. Pinto, V; Gili, R. y Velasco, F. (2015): *Historia del saneamiento de Madrid*, Madrid: Canal de Isabel II

²² Esas condiciones que faltan (científicas, técnicas, económicas y de gestión) vendrán a resolverse, al menos de forma teórica, a finales del siglo XIX y principios del XX, cuando la ingeniería civil sanitaria ha adquirido el estatus como disciplina ingenieril, precisamente porque conforma entonces un equipamiento teórico y práctico para abordar con solvencia tecno-científica las construcciones de obras públicas que permitirán mejorar efectivamente las condiciones higiénico-sanitarias en las ciudades.

A pesar de que la ingeniería civil inicia su emancipación de la ingeniería militar a finales del siglo XVIII, aún en el siglo XIX seguirá, en parte vinculada, a la formación militar²³. Esto es debido a que la comunidad naciente de ingenieros civiles se están nutriendo de excedentes de formación en la ingeniería militar. Se hace notar que, en Estados Unidos, desde 1820 las academias militares (destacando la *U.S. Military Academy of West Point*) están graduando más ingenieros de los que el ejército puede emplear, de forma que muchos graduados –más de cien sólo en la década de 1830- pasan de la ingeniería militar a la actividad ingenieril específicamente civil.²⁴

La comunicación entre la ingeniería civil francesa y la americana, e incluso entre la ingeniería militar y civil se observa en el libro de D.H. Mahan, que puede considerarse como una completa visión del ‘estado del arte’, internacional y colectivo²⁵, de la ingeniería civil durante la primera mitad del siglo XIX. El índice de contenidos de este curso elemental de ingeniería civil muestra el enfoque y campo de actividades que caracteriza el período inicial de esta ingeniería: el capítulo 1 se dedica a la descripción de los materiales de uso constructivo (piedras naturales y rocas, piedras artificiales y cemento, madera, y metales); el capítulo 2 trata muy brevemente sobre la resistencia de materiales²⁶; los capítulos 3 y 4 se dedican a técnicas constructivas, albañilería y carpintería, respectivamente; los capítulos siguientes tratan de tipos de obras como carreteras (cap. 5), puentes (cap. 6), ferrocarriles (cap. 7), y canales (cap. 8); y los dos capítulos finales se dedican a los ríos (cap. 9) y a actuaciones en la costa como puertos y diques (cap. 10).

²³ La vinculación entre la ingeniería militar y la ingeniería civil ha tenido un recorrido amplio, prueba de ello es que en países europeos como Francia o España, hasta bien entrado el siglo XX los profesionales de la ingeniería civil siguen considerados como cuerpos uniformados y sometidos a unas rígidas normas, cuando no directamente forman parte de estrictos cuerpos funcionariales. Algunos autores, como Mitcham (1988) han visto en estas relaciones la justificación de principios éticos de autoridad y jerarquía muy vinculados a la práctica ingenieril, hasta la que se denomina – como se verá más adelante- la ‘revolución de los ingenieros’.

²⁴ Cfr. Melosi (1996:109).

²⁵ En el prefacio del libro, Mahan señala cómo los conocimientos en general no son de su autoría sino que ha recopilado la información disponible, tanto oral como escrita. Este comportamiento denota, desde el principio, una característica propia de la literatura técnica ingenieril, que se muestra como parte de una corriente de conocimientos y prácticas establecidas colectivamente pero en las que (al contrario que en la literatura científica) raramente aparecen referencias a autores concretos.

²⁶ La forma ingenieril, más que científica, en que Mahan expone la resistencia de materiales en este temprano texto se ha considerado (cfr. Layton, 1971) como una de las pruebas históricas que atestiguan la existencia ya en la primera mitad del siglo XIX de una comunidad tecnológica norteamericana, equiparable a las comunidades científicas que se reconocen habitualmente; sirviendo como apoyo de la tesis de Layton (1971) sobre un modelo relacional ciencia-tecnología más equilibrado ya desde el s. XIX. (Véase Layton, E.T. (1971): “Mirror-Image Twins: The Communities of Science and Technology in 19th-century America”, *Technology and Culture*, 12/4, October, pp. 562-80.)

Desde el punto de vista metodológico, de la práctica ingenieril, puede destacarse cómo en el capítulo de carreteras, el autor hace una descripción de un método (lo que sería básicamente el proceso ingenieril): trabajos cartográficos, estudio de alternativas...

A juzgar por el libro de Mahan, la ingeniería civil del primer tercio del siglo XIX todavía no incluía los proyectos que más tarde serán característicos de la ingeniería sanitaria, como el abastecimiento de aguas, el saneamiento de las poblaciones y la recogida (al menos) de las basuras y residuos domésticos. En estos tiempos, las aportaciones de la ingeniería civil a la construcción y al saneamiento urbano aún son limitadas, consistiendo –las más de las veces– en la aplicación y adaptación de tecnologías constructivas propias de la ingeniería civil tradicional a la problemática del saneamiento urbano. Así, a principios del siglo XIX, son ingenieros civiles como John Roe²⁷, con experiencia en la construcción de líneas de ferrocarriles, quienes volcarán su experiencia en obras de drenaje a la construcción de alcantarillas y drenajes urbanos. Una afirmación que Melosi (1996:109) generaliza al afirmar que los ingenieros civiles trasladan a las ciudades sus experiencias en drenajes de obras lineales.

Aunque la práctica de la ingeniería civil se va extendiendo por las ciudades, esas aportaciones al urbanismo se realizan como fruto de la práctica profesional adaptada, pero no de una práctica profesional aprendida en la materia de la ingeniería sanitaria, que no adquirirá el carácter de disciplina autónoma hasta principios del siglo XX.

Al iniciarse el siglo XIX, ya podemos observar plenamente definidos los rasgos de la profesión que hoy conocemos como ingeniero civil: desde entonces vemos a los miembros de dicha profesión construir estructuras de todas clases, diseñar sistemas de distribución de agua potable y sistemas sanitarios; tender vías férreas, redes de caminos, y participar en la planeación y desarrollo de las ciudades.

Desde finales del siglo XVIII se pone de manifiesto cómo la primera revolución industrial –al margen de otras consideraciones– tiene unos efectos ambientales negativos de primer orden de magnitud: degradación de la calidad ambiental del territorio en las zonas mineras, contaminación del ambiente en las fábricas y en su entorno (humos, gases, escorias, vertido de líquidos...), sobrepoblación y hacinamiento en las zonas urbanas intensamente degradadas. A partir del primer cuarto del siglo XIX, las condiciones ambientales del campo, de la ciudad y de los ríos, empiezan a resultar localmente insostenibles.²⁸

²⁷ John Roe es uno de los ingenieros civiles británicos consultados por Chadwick para la elaboración de su informe (1842) sobre el estado de higiene y salud pública en las ciudades de Gran Bretaña. El mismo Roe, cuando es entrevistado para el informe, señala que su experiencia previa ingenieril a los trabajos sanitarios está en la construcción de carreteras y ferrocarriles, y que haciendo el drenaje de estas obras es como llega a familiarizarse con los drenajes y alcantarillados que ha de realizar en varios distritos londinenses.

²⁸ Cfr. Mumford, L. (1961) [2012] *La ciudad en la historia. Sus orígenes, transformaciones y perspectivas*, Logroño: Pepitas de Calabaza, pp. 761-771.

Los higienistas (médicos, en su mayor parte) vienen siendo quienes, en Gran Bretaña, van tomando una posición respecto a estos graves problemas, que afectan especialmente a las clases trabajadoras. Toma así impulso el movimiento británico de salud pública (*sanitary movement*) en el período 1832-1854. En este contexto se dictan nuevas normas y se elaboran informes específicos, de los que a su vez surgirán nuevas normas e intervenciones. Puede destacarse el conocido como informe Chadwick (1842).

Las medidas que se proponen en estos tiempos en informes como el de Chadwick reflejan un estado de conocimiento de la problemática higiénico sanitaria, y de cómo pueden atacarse los problemas más importantes detectados: la alta mortalidad, especialmente por causa de enfermedades –tanto regularmente como de forma más intensa en epidemias; y la baja esperanza media de vida. Ante esta situación, los higienistas, apoyados –entre otros- por profesionales de la ingeniería civil y urbanistas, plantean medidas higiénico-sanitarias. Unas medidas que en principio se orientarían a reducir las miasmas²⁹, puesto que la teoría vigente (y dominante) del origen de las enfermedades es entonces la teoría miasmática.

De acuerdo con la teoría miasmática, los miasmas, como conjunto de las emanaciones fétidas procedentes de los suelos y de las aguas impuras, serían la causa fundamental de las enfermedades. Esta teoría domina el panorama higiénico-sanitario prácticamente desde el siglo XVII hasta casi finales del XIX, en que cede a favor de la teoría microbiológica, debido a los avances de la bacteriología.

De este modo, el marco de la teoría miasmática conduce a que los higienistas y los ingenieros civiles que están comenzando a colaborar técnicamente con ellos, planteen obras cuya finalidad sea la de obtener un ambiente sano (libre de miasmas), y por tanto se diseñen y se ejecuten aquellas que permitan: disponer de aguas de abastecimiento que sean limpias y claras a la vista; evitar el estancamiento de aguas y su putrefacción; promover el confinamiento o la retirada de excrementos y residuos orgánicos cuya descomposición pudiera producir fetidez.

La práctica de la ingeniería sanitaria tiene una discreta evolución durante el siglo XIX. Aquí tenemos dos cuestiones: en primer lugar la forma en que la ingeniería se incorpora a los instrumentos públicos dedicados a la higiene y a la salud pública; y en segundo lugar la forma en que la ingeniería sanitaria queda –por así decirlo- englobada en un campo disciplinar de mayor orden, como es el de la ingeniería civil.

Esta interesante transformación se produce en un no menos interesante cambio de paradigma sanitario, en que se pasa de la aplicación de la teoría miasmática a la teoría microbiológica, lo que ocurre prácticamente desde mediados del siglo XIX hasta finales

²⁹ “Efluvios malignos que, según se creía, desprendían cuerpos enfermos, materias corruptas o aguas estancadas”. Definición de miasma según el Diccionario de la Real Academia Española (DRAE).

del mismo. La ingeniería sanitaria tiene que responder a las necesidades de un urbanismo más sensible con las epidemias (como la peste o el cólera) que azotan las ciudades.