

PRECURSORES DEL CEMENTO Y DEL CONCRETO ARMADO EN LA ARQUITECTURA MEXICANA DE LOS SIGLOS XIX Y XX¹

Pioneers of Cement and Reinforced Concrete in Mexican Architecture of the 19th and 20th Centuries

José Fernando Madrid Quezada*
Investigador independiente, México
ORCID: 0000-0003-4417-7142

Yearim A. Ortiz San Juan**
Universidad Iberoamericana, México
ORCID: 0000-0001-7486-1776

DOI: <https://doi.org/10.15174/orhi.vi19.4>

RESUMEN: El artículo explora los orígenes remotos del cemento y del concreto armado y su llegada e impacto en la arquitectura mexicana de los siglos XIX y XX. Toma como punto de partida los textos producidos por los precursores e introductores del concreto armado en el país, destacando sus redes científicas y profesionales, así como las obras principales que emprendieron. Se exploran, asimismo, las condiciones de posibilidad de la aceptación del cemento y del concreto armado durante el Porfiriato y los gobiernos posrevolucionarios, culminando con la arquitectura moderna mexicana.

PALABRAS CLAVE: Cemento, concreto armado, arquitectura mexicana, modernidad, progreso.

ABSTRACT: The article explores the remote origins of cement and reinforced concrete and their arrival and impact on Mexican architecture during the 19th and 20th centuries. It takes as its starting point the texts produced by the precursors and introductors of reinforced concrete in the country, highlighting their scientific and professional networks, as well as the main works they undertook. It also explores the conditions that made the acceptance of cement and reinforced concrete possible during the Porfiriato and post-revolutionary governments, culminating in modern Mexican architecture.

KEYWORDS: Cement, reinforced concrete, Mexican architecture, modernity, progress.

FECHA DE RECEPCIÓN:
1 de marzo de 2024

FECHA DE ACEPTACIÓN:
8 de abril de 2024

* Doctor en Historia Moderna y Contemporánea por el Instituto Mora. Se desempeña como docente a nivel licenciatura y posgrado. Su investigación se enfoca en la historia urbana, especializándose en la de la Ciudad de México. Entre sus publicaciones recientes destacan su capítulo para la obra *Alamedas de México*, correspondiente a la capital de la República, así como su libro *Los árboles de la Ciudad de México durante el siglo XIX*, ambas editadas por el Instituto Mora. Contacto: fermadridmexico@gmail.com

** Doctora en Historia por la Universidad Iberoamericana y miembro del Sistema Nacional de Investigadores (SNI). Actualmente es catedrática a nivel licenciatura y posgrado en la misma universidad, donde ofrece materias sobre México contemporáneo y sobre teoría de la historia e historiografía. Sus líneas de investigación giran en torno a la condición de víctima, violencias, memoria política y construcción de paz, desde la historia del tiempo presente. Sus últimos trabajos se han centrado en los entrecruces de la religiosidad y la construcción de paz. Contacto: yeaortiz@gmail.com

¹ El presente trabajo es resultado de una investigación que los autores realizaron en 2012 para un proyecto financiado por la iniciativa privada; por motivos ajenos a ellos, el resultado no fue publicado. El texto que se presenta aquí ha sido actualizado y reelaborado con un enfoque historiográfico para contribuir al conocimiento académico.



INTRODUCCIÓN

Este artículo traza los antecedentes históricos del cemento, el surgimiento del cemento moderno y su incidencia en la arquitectura mexicana moderna a través de su aplicación en el concreto armado, para mostrar el impacto que este material ha tenido en el desarrollo de las prácticas constructivas de nuestro país. Al preguntarse por los mecanismos de introducción, implementación e impacto del cemento y del concreto armado en la arquitectura mexicana, el artículo dilucida los motivos que posibilitaron la abrumadora aceptación del material en México. Además, hace uso de fuentes directas y fuentes de la época, consultadas muchas de ellas en los archivos del Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (IMCYC), en el Archivo de la Facultad de Ingeniería ubicado en el Palacio de Minería de la Ciudad de México, entre otros. Es preciso señalar que el presente texto, a pesar de la riqueza de sus fuentes, no pretende ser una investigación inédita o que contenga la última palabra en el tema; más bien, busca posicionarse como complemento a otras investigaciones pormenorizadas, como la de Mónica Silva,² o como un texto que invita a abrir el diálogo para historizar el impacto de los modelos arquitectónicos y sus materiales en la cotidianidad de la gente.

Para comprender el proceso de introducción del cemento y del concreto armado en México, es indispensable recurrir a sus precursores e introductores locales, personajes poco frecuentados por la historiografía y que en nuestro texto aparecen como protagonistas de su propio quehacer.³ Sus redes científicas y profesionales aparecen como medulares para la aceptación e implementación en la arquitectura y la ingeniería nacional de las técnicas y materiales estudiados. De ahí la importancia de abordar de manera directa sus textos. Si bien, en ese sentido, personajes como Miguel Rebolledo y Daniel Garza se ofrecen como protagonistas significativos, el mismo cemento y el concreto armado funcionan en nuestra propuesta como los verdaderos ejes narrativos del proceso histórico. Los proponemos, entonces, como elementos indisociables de la modernidad a nivel local.

Para efectos de este texto es necesario tener en cuenta las distintas acepciones del término *modernidad*. Podemos entenderla como la aspiración de desarrollo, indisociable de la idea de *progreso*, hacia lo que se considera un estado más avanzado de civilización. Si bien representa un fundamento ideológico basado en la presunta linealidad de la historia, y por tanto siempre está en constante actualización (en otras palabras, nunca puede alcanzarse plenamente, pues depende de la aplicación de los últimos avances tecnológicos y sociales), desde una perspectiva arquitectónica se entiende como un momento histórico que habría tenido su última expresión y culminación durante el siglo xx. En la primera acepción

² Véase: Silva, *Concreto*, 2016; Silva, "Arquitectura", 2011.

³ Sobre la importancia de volver a las fuentes primarias y revalorar a quienes protagonizaron los cambios en los sistemas constructivos, sus proyectos y obras, véase el apartado historiográfico de: Silva, *Concreto*, 2016, pp. 297-310.

del término se puede hablar de *modernidad* cuando la arquitectura aspira a un grado superior de desarrollo. En la segunda, en cambio, hace referencia a los principios específicos postulados por el movimiento moderno, con base en los planteamientos de personajes activos en la primera mitad del siglo XX como Mies van der Rohe, Frank Lloyd Wright o Le Corbusier.

ANTECEDENTES HISTÓRICOS DEL CEMENTO MODERNO

En primera instancia, se ofrece la necesidad de definir el objeto de estudio de este artículo. ¿Qué es, pues, el cemento? Siguiendo a A. C. Davis,⁴ el cemento es todo material con propiedades adhesivas y cohesivas con las que pueden aglutinar fragmentos de minerales, creando una unidad compacta. Además, los materiales cementantes se han empleado para la creación de superficies planas para ser decoradas o para formar en sí mismas un elemento ornamental. Hablando en específico desde el campo de la construcción, entenderemos por *cemento* el material cuyo ingrediente principal es la cal —hablamos entonces de cementos calcáreos— que se emplea en combinación con piedras, arena, bloques de construcción, ladrillos u otros semejantes, y pasa por una reacción química al entrar en contacto con el agua, provocando su endurecimiento, lo cual conduce a la obtención del concreto.⁵

A pesar de la ubicuidad del cemento en la arquitectura e ingeniería contemporánea y su imprescindible papel para la construcción de la modernidad urbana y arquitectónica, la introducción del cemento contemporáneo es un fenómeno relativamente reciente. Ello no implica que, en tiempos muy remotos, no se hallan conocido y empleado técnicas y materiales análogos al cemento, que constituyen un antecedente directo del mismo y que muestran las características sumamente deseables que lo han convertido en un material tan predilecto por los constructores.

Si bien, el antecedente más directo del cemento moderno lo podemos encontrar en el cemento

romano, es posible rastrear material cementante en muchas de las civilizaciones antiguas. Son varios los ejemplos al respecto procedentes del Viejo Mundo. Culturas mesopotámicas como las de Asiria o Babilonia parecen haber empleado materiales bituminosos en sus muros de ladrillos, mientras que los egipcios usaron mortero de cal en obras como la Gran Pirámide de Guiza y semejantes, en la forma de una mezcla de yeso calcinado impuro. Los mismos helenos y romanos empezaron a usar una caliza calcinada. Sin embargo, fueron los hijos de Roma quienes consiguieron el antecedente más próximo a nuestro actual cemento al emplear una mixtura de cal con ceniza volcánica o teja de arcilla quemada. Hasta la actualidad, éste y todos los cementos que se obtienen de moler materiales naturales a temperatura normal se denominan *puzolánicos*, en honor al pueblo de Puzzoli, próximo al Vesubio, de donde obtuvieron la ceniza rica en sílice y alúmina que se mezclaba con cal.⁶ De esta forma, el mismo volcán que sepultaría las ciudades de Pompeya y Herculano proveía a los romanos de un material invaluable para el porte y la perdurabilidad de sus construcciones. Espléndidas obras de gran envergadura que han llegado hasta nuestros días casi intactas, como el Panteón llamado de Agripa —levantado durante el principado de Adriano, ca. 125 d.C.—, deben su perdurabilidad en gran medida al cemento con el que fueron construidas. El aprovechamiento de estos avances en materia de construcción tocó su fin durante la Edad Media, cuando la calidad del cemento romano disminuyó ostensiblemente, merced a la inclusión de ingredientes como arena gruesa y cal mezclada con carbón de madera, tierra cocida, escayola o tejoleta. La práctica de mezclar la cal con puzolana, y la superior calidad de cemento que conlleva, no se vería de nuevo sino hasta el siglo XIV.⁷

El Nuevo Mundo parece haber contado con sus propios precursores en lo que a cemento se refiere. Los pueblos mesoamericanos podrían haber conseguido un cemento puzolánico mediante un proceso análogo a —y posiblemente inspirado por— la nixtamalización del maíz. En dicho proceso,

⁴ Davis, *Portland*, 1943 (1934), pp. 1-12.

⁵ Neville, *Tecnología*, 1984 (1963), p. 15.

⁶ Neville, *Tecnología*, 1984 (1963), p. 15.

⁷ "Historia", en: CANACEM, versión digital en: <<https://bit.ly/4aixAsc>>.

mediante el cual se obtiene la masa de las tortillas, se produce el nejayote, provisto de cal convertida en hidróxido de calcio; cuando ésta entra en contacto con suelos volcánicos, los va endureciendo con el tiempo. Algunas culturas prehispánicas pudieron haber adaptado este fenómeno para producir morteros más resistentes a la compresión.⁸ Son muchos los usos que habrían dado al concreto derivado de un material tan versátil para la cobertura de múltiples necesidades, entre ellos bóvedas, pilas de puente, soportes, muros de contención, muelles o losas.⁹ Como ejemplo del uso de este cemento puzolánico se ofrece el de Comalcalco, Tabasco, donde se emplearon ladrillos unidos con morteros de cal adicionados con material puzolánico, o los muros de contención de centros ceremoniales como los de Teotenango y Calixtlahuaca, así como en las emblemáticas pirámides de Cholula y Teotihuacan. En esta última ciudad se le puede hallar en el revestimiento del templo de Quetzalpapálotl. Pero quizá la cultura que más supo aprovechar las estructuras basadas en el uso de estucos, morteros y concretos fue la maya, con la creación del llamado *cemento maya*, material que podría haberse empleado en Yaxchilán para levantar incluso un puente colgante sobre el río Usumacinta, aunque esto es aún objeto de especulación.¹⁰

El vasto legado de las culturas antiguas disimula apenas el hecho de que el cemento moderno es de invención muy reciente. Fue el padre de la ingeniería civil, John Smeaton, quien en el siglo XVIII redescubrió la composición del cemento romano. Debió este feliz suceso a los experimentos que llevó a cabo para obtener un cemento capaz de endurecer bajo el agua y de resistir los elementos de la costa durante el proceso de diseñar un faro en la costa de Cornwall. Haciendo gala de una mentalidad ilustrada, Smeaton concluyó que la caliza más adecuada para endurecer bajo el agua es la que contiene abundante material arcilloso. La fórmula

a la que arribó consistía en una mezcla de piedra caliza de las canteras de Aberthaw con puzolana de Civita Vecchia, cerca de Roma, obteniendo una composición semejante al cemento contemporáneo. Fue con este cemento que levantó el famoso faro de Eddystone, obra de prodigiosa resistencia que aún se conserva, pero en una ubicación diferente a la original. Smeaton fue también el primero en comparar su cemento con la piedra Portland, una piedra verde considerada de superior calidad en cuanto a solidez y durabilidad, dato curioso por el nombre que, como veremos, se daría años después al cemento de uso más extendido.¹¹

Después de Smeaton, fueron muchos los que experimentaron con el cemento hidráulico, llamado así por el uso del agua para la obtención del concreto. Encontramos una larga lista de personajes, en su mayoría franceses, como Guyton de Morveau, Bergmann, De Saussure, Collet-Descotils, Vessage, Bry Higgins, Maurice Saint-Léger, etcétera. Entre los más célebres tenemos a Louis Joseph Vicat, James Frost y James Parker, con cuyos experimentos y patentes se fue esclareciendo la composición química exacta del cemento hidráulico. Lo que une a nombres tan diversos era la búsqueda de un cemento artificial barato y accesible, similar al cemento romano,¹² que se pudiera producir mediante la calcinación. Fue en 1824 cuando nació el Cemento Portland, nombre que hace alusión a la mencionada piedra, y con el cual hasta la fecha suele denominarse al cemento moderno. Se caracteriza por ser un producto finamente pulverizado, proveniente de la calcinación, hasta el punto de fusión incipiente, de materiales arcillosos y calcáreos mezclados en determinadas proporciones, a los cuales no se ha añadido más de 3% de otras materias después de la calcinación.¹³ Fue patentado —no descubierto—¹⁴ por Joseph Aspdin, constructor y ladrillero de la ciudad de Leeds, Inglaterra. Con este material se construyó en 1828 el primer

⁸ Respecto a las investigaciones pioneras de Raymundo Rivera Villarreal, véase: Ramírez, Vera y Mejía, "Materiales", 2010, p. 68.

⁹ Gallegos y Ramírez, "Estructuras", 2002, p. 6.

¹⁰ Gallegos y Ramírez, "Estructuras", 2002, pp. 11-12.

¹¹ Smeaton citado en: Davis, *Portland*, 1943 (1934), p. 3.

¹² No confundir el cemento romano, conocido desde la Antigüedad, con el Cemento Romano o Cemento Parker, patentado por James Parker en 1796.

¹³ Rolland, Nava y Vázquez, *Especificaciones*, 1913.

¹⁴ Neville, *Tecnología*, 1984 (1963).

túnel bajo el río Támesis, siguiendo el diseño de sir Marc Isambard Brunel.¹⁵ En 1845, Issac Charles Johnson perfeccionó el proceso de obtención del cemento mediante la calcinación de arcilla finamente triturada con caliza dura hasta el punto de vitrificación incipiente o fusión, en los hornos de la compañía White & Sons, ubicados en Swanscombe, Inglaterra. Este proceso, que es esencialmente el mismo que se emplea en la actualidad, produce el *clínker* que luego es pulverizado para constituir el material cementante.¹⁶

Tan importante como el desarrollo de la composición del cemento fue la evolución de los hornos que permitieran la calcinación de sus ingredientes. Los primeros hornos eran verticales, como el patentado por Isaac Johnson, que permanecía en continua operación durante el proceso en seco y se alimentaba con material crudo y combustible, produciendo un *clínker* que se almacenaba en el fondo; podía producir hasta 200 barriles cada diez días. Tales mecanismos fueron superados con los hornos inclinados; para 1886, José F. Navarro introdujo a los Estados Unidos un prototipo un tanto deficiente con unas dimensiones de 7.5 metros de largo y 90 centímetros de diámetro, y posteriormente otro en 1889 bajo patente de Frederick Ransome, el cual después de múltiples cambios y experimentaciones produjo resultados satisfactorios. De esta manera, el grupo de Navarro introdujo un nuevo tipo de horno giratorio de acero laminado revestido de ladrillo cocido, capaz de alcanzar altas temperaturas,¹⁷ y que es el precursor de los hornos contemporáneos.

EL CONCRETO ARMADO COMO PROGRESO DE LA CONSTRUCCIÓN

El cemento pudo alcanzar toda su potencialidad con la invención del concreto armado, volviéndose

prevalente en los campos de la arquitectura y la ingeniería como un elemento estructural de las construcciones. También llamado *hormigón armado*, es una técnica mediante la cual se crean estructuras de concreto que revisten una osatura metálica.¹⁸ Implica el uso conjunto del concreto con el hierro o el acero, técnicas que previamente venían utilizándose por separado, pero que empezaron a integrarse a mediados del siglo XIX. Este nuevo modo de construir combinó la resistencia mecánica del concreto a la compresión, con la resistencia del hierro a la tracción, disminuyendo la masa del primero y la escuadría del segundo, resultando unas estructuras mucho más ligeras y perdurables, amén del escudo que el concreto presta al metal contra la corrosión de los elementos, así como a la adherencia del cemento y la prevención de disgregaciones por la variación de volumen que surge por cambios de temperatura. En otras palabras, en el concreto armado el cemento no sólo impide que el alma metálica encapsulada en él se oxide por la acción de los elementos, sino que al estar perfectamente adheridos, los materiales no se alteran mutuamente gracias a su coeficiente de dilatación prácticamente idéntico.¹⁹ Las ventajas que presentan las construcciones de concreto armado son múltiples y muy conocidas: tienen una gran resistencia al fuego,²⁰ aíslan el sonido, ofrecen superficies higiénicas,²¹ resisten a los elementos, su vida útil es generalmente muy larga,²² son sólidas,²³ de construcción rápida y flexible que permite emplear claros de gran amplitud sin la necesidad de arcos u otros medios mecánicos. Pero, por encima de todo, son generalmente mucho más económicas que las técnicas de construcción previas o que aquellas que implican el uso exclusivo del acero.²⁴

Al igual que el cemento, el concreto armado presentó una evolución llena de ensayos y

¹⁵ Redgrave y Spackman, "Chapter", 1905, p. 37.

¹⁶ Neville, *Tecnología*, 1984 (1963); Davis, *Portland*, 1943 (1934).

¹⁷ Ortega, *Evolución*, 1999, p. 34.

¹⁸ Malphettes, *Hormigón*, 1920, p. 5; Cabello, "Adelantos", 1900, pp. 5-6.

¹⁹ Cabello, "Adelantos", 1900.

²⁰ Es muy conocida la susceptibilidad de las ciudades premodernas a incendiarse periódicamente, lo cual explica la importancia de la resistencia al fuego para los constructores del siglo XIX. En ese sentido, fueron muchos los experimentos tempranos que se encaminaron a demostrar esta propiedad en el concreto armado. Cabello, "Adelantos", 1900.

²¹ Ésta ha sido una de las razones más esgrimidas a favor del concreto armado, pues al presentar superficies inertes y no perecederas, suele impedir la presencia de insectos o materiales orgánicos que pueden resultar nocivos. Garza, *Hormigón*, 1905, p. 13.

²² Calderón y Mendiola, "Tema", 1925, p. 77.

²³ Cabello, "Adelantos", 1900.

²⁴ Cabello, "Adelantos", 1900.

experimentaciones. Una primera aplicación registrada en el mundo fue la que le dio Joseph-Louis Lambot en 1849, al fabricar, con fines recreativos, una lancha de remos de cemento armado, o *bateau-ciment*, que presentó en 1855 en la Exposición Universal de París.²⁵ Fue François Coignet quien sugirió el uso de esta técnica para la construcción de techos, diques, barreras o incluso bóvedas rebajadas en un opúsculo que publicó dos años después.²⁶ Pero es Joseph Monier quien suele considerarse como el padre de esta técnica constructiva, pues como buen jardinero que era patentó un sistema de concreto que empleó primero para la creación de macetas, pero que llevó luego a tuberías, estanques y depósitos, mostrando su invento en París en 1867, dentro del marco de la Exposición Universal.²⁷ El mismo Monier diseñó el primer puente con concreto armado, que se tendió en 1875 en el castillo de Chazelet. A partir de ese momento proliferaron las patentes y sistemas que pretendieron modificar o perfeccionar el invento de Monier, contándose entre otros los sistemas de Bordenave, Bonna, Cottancin, Cularou, Donath, Hennebique, Hyatt, Klett, Matrai, Melan, Müller, Ransome, Stolte y Wilson. Lo que los diferenciaba entre sí eran los medios que empleaban y la forma como disponían el esqueleto metálico para la construcción.²⁸

La patente del ingeniero francés François Hennebique, presentada en la Exposición Universal de París de 1900, resulta particular porque fue, en su momento, la más influyente en el uso del concreto

armado en México.²⁹ Este personaje, dotado de un notable espíritu empresarial, llegó a contar con más de cien agencias encargadas de propagar su sistema constructivo alrededor del mundo mediante la venta de licencias, con lo que llegó a controlar hasta un 20% del mercado mundial del concreto reforzado.³⁰ Según recoge Miguel Rebolledo, Hennebique se apoyó en más de quinientos profesionales, entre arquitectos e ingenieros repartidos por todo el mundo, que tuvieron el encargo de informarle sobre sus trabajos, cálculos y experiencias.³¹ Constantemente experimentó con nuevos usos para el concreto armado,³² aplicando su técnica a una gran variedad de obras, notablemente en puentes como el Pont Camille-de Hogues, sobre el río Vienne, en Châtellerault. Reflejo del éxito de esta empresa fueron las magníficas oficinas que, arrancando el siglo xx, ocupó la casa Hennebique en París, verdadero muestrario de las posibilidades del concreto armado y uno de los primeros edificios en sacar pleno partido de esta técnica.³³

EL PROGRESO LLEGA A MÉXICO: RECEPCIÓN Y APLICACIÓN DEL CEMENTO EN MÉXICO

Como hemos podido constatar, el perfeccionamiento del cemento fue un proceso largo y gradual. De igual manera, la apropiación de este nuevo material por parte de los constructores fue paulatina, quienes en un principio no aprovecharon todo el

²⁵ Yepes, “Barca”, en: *Blogs de la Universidad Politécnica de Valencia*, versión digital en: <<https://bit.ly/4aixAsc>>. También véase: Cabello, “Adelantos”, 1900; Garza, *Hormigón*, 1905. Uno de los fines de las exposiciones universales era que se presentaran las últimas novedades en materia tecnológica; se trataba de ferias que daban vida al espíritu de la época: el progreso de la sociedad como meta para la felicidad.

²⁶ Cabello, “Adelantos”, 1900.

²⁷ Cabello, “Adelantos”, 1900.

²⁸ Estos sistemas constructivos parecen haberse propagando por el mundo, siguiendo las relaciones diplomáticas o comerciales que los distintos países tenían con las potencias de la época. Tal parece haber sido el caso de Argentina, donde se adoptaron los avances alemanes de Weyss —una mejora del sistema Monier o *Monierbau*.

²⁹ Sobre la relación de esta empresa con México, es de consulta obligada la ya mencionada obra de Silva, *Concreto*, 2016. Véase también: Torres, *Cemento*, 1913.

³⁰ Roberts, “Where”, en: *Invisible Paris*, versión digital en: <<https://bit.ly/4bnUG1W>>.

³¹ Rebolledo, *1902-1952*, 1952, p. 28.

³² Rebolledo enlista los usos que a nivel mundial había dado el sistema Hennebique a inicios del siglo xx: “[se cuentan] solamente en el Sistema Hennebique á fines del año de 1902: ¡más de siete mil construcciones diversas en todo el mundo!, comprendida una variedad de aplicaciones, como edificios de todas clases, puentes, muelles, tanques, banquetas, hornos trabajando a altas temperaturas, chime-neas, postes para transmisión de energía eléctrica, obras en los puertos y ríos, etc., etc.” Rebolledo, *Betón*, 1904, p. 15.

³³ Roberts, “Where”, en: *Invisible Paris*, versión digital en: <<https://bit.ly/4bnUG1W>>.

potencial que el cemento ofrecía. Esto se refleja en el poco uso estructural que se le dio durante sus primeras aplicaciones, que se redujeron a su función como estuco, mortero o decoración. Aun así, su uso empezó a hacerse extensivo —no estructural— con obras como la del alcantarillado de Londres, emprendida entre 1859 y 1867.³⁴

Fue así como el Cemento Portland debutó en México a finales del siglo antepasado, como un producto novedoso que podía aplicarse como estuco o mortero, o bien, con fines ornamentales, aunque también se le dio un uso extendido para la fabricación de losetas. Según señala Gaspar Nájera, el cemento era empleado como mortero y para tapar techos de madera, tejamanil o bóveda catalana, o como una materia prima para la fabricación de mosaicos.³⁵ Con todo, su uso fue extensivo en obras como el acueducto de Xochimilco, emprendida entre 1900 y 1912, o en los tanques de Dolores y el edificio de bombas de la colonia Condesa, de 1907.³⁶ En dichas construcciones, el cemento tenía una función complementaria y no meramente decorativa. Cabe señalar que durante el último tramo del siglo XIX, el cemento debía importarse de Estados Unidos o de Europa. Los primeros pasos para producirlo en México corresponden a las fábricas de Santiago Tlatelolco, en la Ciudad de México, y Dublán, en Hidalgo, pero se trata de intentos fallidos de finales del siglo. No fue sino hasta inicios del siglo XX cuando el cemento empezó a fabricarse en nuestro país.

Por otro lado, como ya señalamos, el concreto armado es idóneo para la creación de edificaciones de gran envergadura a un menor costo; edificios que presentan características superiores en cuanto a porte, luces, perdurabilidad, solidez y ligereza. Alrededor del mundo, la llegada del concreto armado vaticinó una época prolífica en propuestas arquitectónicas que a largo plazo culminarían con el movimiento moderno en arquitectura. En

nuestro país, la llegada del concreto armado coincidió con el régimen porfirista, periodo caracterizado por un ánimo supuestamente modernizador que se tradujo, entre otras cosas, en la importación de modas y adelantos constructivos europeos, en la erección de múltiples edificaciones públicas³⁷ y en el desarrollo de una industria incipiente siguiendo el modelo de desarrollo aceptado para la época.³⁸ En este contexto, tanto el acero como el cemento fueron introduciéndose paulatinamente, generando poco a poco una demanda local para estos materiales; se trata del proceso de implantación, adecuación y apropiación descrito por Román Kalisch, que culmina cuando un elemento cultural ajeno a una cultura logra reproducirse dentro de ella, hasta el grado de volverlo propio en todas sus partes, desde la obtención de los insumos hasta la ejecución de las obras.³⁹ Ambos materiales, el acero y el cemento, empezarían a producirse localmente de manera significativa hasta inicios del siglo XX. El acero empezó a ofrecerse como acero estructural, rieles y otros materiales para puentes y edificios por parte de la Compañía Fundidora de Fierro y Acero de Monterrey, cuya producción siderúrgica empezó a atender al creciente mercado mexicano.⁴⁰ En cuanto al cemento, sus primeras fábricas exitosas aparecieron en la misma Monterrey, con la Fábrica de Cementos y Productos Refractarios, de 1906; y en Hidalgo, con la cementera Cruz Azul, de 1907, y la Tolteca, de 1909. Este primer cemento mexicano se dedicó a los usos iniciales antes mencionados, como la producción de losetas y ladrillos, llevada a cabo por la Compañía Manufacturera de Ladrillos de Monterrey.⁴¹

La introducción de nuevos materiales y técnicas de construcción tuvo que venir aparejada de la creación de distintas instancias técnicas especializadas, capaces de regular los usos, estándares y unidades de ellos en cuanto a resistencia y acondicionamiento a la realidad local, a partir

³⁴ “Historia”, CANACEM, versión digital en: < <https://bit.ly/4aixAsc> >.

³⁵ Nájera, *Desarrollo*, 2002, p. 9.

³⁶ Nájera, *Desarrollo*, 2002, p. 9; Román, “Desarrollo”, 2008, pp. 6-19.

³⁷ Agostoni, *Monuments*, 2003.

³⁸ Katz, “México”, 1990, pp. 14-77.

³⁹ Román, “Desarrollo”, 2008, p. 7.

⁴⁰ Román, “Desarrollo”, 2008, p. 11.

⁴¹ Román, “Desarrollo”, 2008, pp. 12 y 13; Nájera, *Desarrollo*, 2002, p. 9.

de principios técnico-científicos. Tales instancias incluyeron laboratorios de control de calidad especializados en materiales de construcción, como el de la Escuela Nacional de Ingenieros del Palacio de Minería, laboratorio instalado a instancias del ingeniero y arquitecto Antonio M. Anza (1892). Este tipo de equipamientos fueron esenciales para la formación de los nuevos profesionales en arquitectura e ingeniería, para instancias gubernamentales encargadas de reglamentar las especificaciones y usos de dichos materiales, como la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas o la Comisión Nacional de Caminos, así como para las mismas compañías cementeras y metalúrgicas encargadas de producir los materiales que constituirían ingredientes indispensables de la modernidad mexicana.⁴²

La penetración del concreto armado y su aceptación entre los profesionales de la construcción mexicanos fue posibilitada también, en buena medida, por la circulación de publicaciones especializadas como manuales, folletos y revistas como *El Arte y la Ciencia* o la *Revista de Ingeniería y Arquitectura*, además de debates, cátedras y eventos académicos que giraron en torno a las ventajas y desventajas que ofrecía este novedoso sistema constructivo. El interés suscitado por el concreto armado tocó no sólo la esfera gubernamental, ávida de producir la obra pública que apuntalara la legitimidad del régimen, sostenida en el porvenir nacional, sino también a la iniciativa privada, desde donde se fomentó el sistema para fortalecer la demanda local de cemento.⁴³

En suma, la introducción del concreto armado a México conllevó todo un cambio de paradigma constructivo que vería la convivencia y paulatina sustitución de las tecnologías constructivas tradicionales por los nuevos sistemas estructurales y materiales modernos. Por necesidad, este cambio

no podía limitarse sólo a la adopción de los nuevos materiales, sino que implicó la adquisición de nuevos conocimientos y metodologías,⁴⁴ generando un cambio radical en el pensamiento y quehacer arquitectónicos. La arquitectura de la época porfiriana aparece como un puente hacia la arquitectura y el urbanismo modernos que cristalizaría plenamente hasta el periodo posrevolucionario.⁴⁵

Uno de los proponentes más importantes para la introducción del concreto armado en México fue el ingeniero Miguel Rebolledo, oriundo de Veracruz, quien realizó sus estudios en Ingeniería Naval en París, donde adquirió la idea de introducir la innovación a México. Esta idea la compartió con el contralmirante de la Armada Nacional, Ángel Ortiz Monasterio, quien con tal objeto se encargó de obtener la correspondiente patente de la casa Hennebique de París. Juntos, Rebolledo y Ortiz Monasterio llevarían a cabo una importante labor de promoción y propagación del concreto armado, contando para ello con el apoyo del coronel de ingenieros Fernando González como socio capitalista.⁴⁶ En 1902 llevaron a cabo sus primeros proyectos de importancia: un sótano en las calles de París y Artes de la Ciudad de México,⁴⁷ y el edificio de la ferretería El Candado, en Mérida, Yucatán. Este último se considera el primer edificio totalmente construido con concreto armado en México.⁴⁸ A estas obras pioneras pronto se sumaron otras de creciente relevancia, como los pisos y techo de la ampliación de la Secretaría de Relaciones Exteriores (1903), los bancos Agrícola e Hipotecario y Mutualista de Ahorros (1904), la ampliación de la Escuela Nacional Preparatoria en el excolegio jesuita de San Ildefonso, particularmente su Anfiteatro Bolívar (1907).

Cabe señalar que el complicado terreno de la Ciudad de México, en particular su subsuelo

⁴² Escamilla, "Laboratorio", 2005, pp. 85-109.

⁴³ Para ampliar el conocimiento sobre este tema, es muy recomendable la consulta del acervo de la Biblioteca y el Archivo de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, ubicados en el Palacio de Minería.

⁴⁴ Román, "Desarrollo", 2008, p. 7.

⁴⁵ Román, "Desarrollo", 2008, p. 7.

⁴⁶ Rebolledo, 1902-1952, 1952. Es necesario destacar también la colaboración de distintos arquitectos e ingenieros que sacaron partido de sus relaciones profesionales y personales para impulsar la difusión del concreto armado. Por nombrar algunos: Arq. Nicolás Mariscal, Ing. Sánchez Facio, Mauricio Campos, Genaro Alcorta, Samuel Chávez, Manuel Gorozpe y Manuel Cortina.

⁴⁷ Rebolledo, 1902-1952, 1952, p. 3; Román, "Desarrollo", 2008, p. 13.

⁴⁸ Rebolledo, 1902-1952, 1952, p. 13; Rebolledo, *Betón*, 1904. p. 16.

cenagoso, su poca resistencia a cargas y su exposición a movimientos sísmicos, han provocado desde siempre múltiples problemas en los cimientos de los edificios levantados con técnicas tradicionales, entre ellos el hundimiento, cuarteaduras y fallas estructurales. Este tipo de afectaciones aparecieron en los cimientos de edificios del Porfiriato como el Banco de Londres y México.⁴⁹ Por lo anterior, el concreto armado, compacto y ligero, se ofreció como una alternativa superior a materiales y sistemas previos más costosos y pesados como el común de piedra, el de pilotes de madera, de arco invertido, de concreto con mortero de cemento o cal hidráulica o el de cemento con varillas de acero llamado Chicago, Americano o Bar, que no tardaron en ser desechados.⁵⁰ Se eligió el sistema de ferro-concreto como el más apropiado para esta ciudad, pues reducía el peso aplicado a la superficie al distribuirlo de manera más eficiente, abarcando menor superficie y con una economía de material.⁵¹ Por todo lo anterior, no es de sorprender que obras públicas de gran envergadura e importancia para la ciudad, como los tanques de almacenamiento de agua de Chapultepec —obra del ingeniero Marroquín y Rivera, 1907—, se levantaron también con concreto armado. Asimismo, bajo el sistema Hennebique se cuentan, entre las últimas grandes obras del periodo porfirista, la Inspección de Policía de la Ciudad de México de 1908,⁵² proyectada por el arquitecto Federico Mariscal; la estructura que en 1908 diseñó el Arq. Manuel Gorozpe para la iglesia de la Sagrada Familia de la Colonia Roma; la ampliación que en 1909 hizo el mismo arquitecto para el antiguo

palacio del Ayuntamiento de la Ciudad de México; y el emblemático Hemiciclo a Juárez, de 1910, por parte del arquitecto Heredia. Esto sin mencionar las obras de menor envergadura, como casas particulares, que empezaron a hacer uso del concreto armado, sentando un precedente de una práctica que hoy es prevalente en la ciudad y el país.⁵³ Encima de todo, otros sistemas distintos al Hennebique irían diversificando el repertorio de técnicas para el concreto armado en México, como el propuesto por el ingeniero arquitecto Daniel Garza, lo cual permitiría también la diversificación de los usos de este sistema constructivo.⁵⁴

A pesar de lo anterior, como innovación tecnológica, el concreto armado tuvo una recepción más cálida por parte de ingenieros y profesionales más prácticos y audaces; no fue poca la resistencia que enfrentó de los sectores más conservadores del ámbito de la construcción, quienes se aferraban aún a una concepción de su quehacer más estética que funcional. Esta animosidad no fue exclusiva de México, sino que resulta característica del contexto en el cual emergió la arquitectura moderna, que para muchos se erigía como opuesta a las reglas y cánones tradicionales de construcción. Reflejo de ello fue la censura que sufrió el concreto armado para la creación arquitectónica en un sentido artístico, por parte de múltiples asistentes al VI Congreso Internacional de Arquitectos, en Madrid.⁵⁵

Los precursores de la tecnología del concreto armado fueron quienes se encargaron de vencer tales resistencias y allanar el camino para el triunfo de una forma de construcción que pronto se

⁴⁹ Mendoza, *Entre*, 2006, p. 39.

⁵⁰ Aun así, es importante señalar que muchas obras de importancia se cimentaron con el sistema Chicago, como el Centro Mercantil (proyectado por el ingeniero arquitecto Daniel Garza, ca. 1899), el Palacio Postal o de Correos (1907, de Adamo Boari) y la sede de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas (proyectado por Silvio Contri y ejecutado por Milliken Brothers de Nueva York, terminado en 1911). Mendoza, *Entre*, 2006, p. 39.

⁵¹ Rebolledo, *Foundations*, 1907. Al respecto, hay que agregar que fueron muchos los experimentos realizados con sistemas de cimentación para encontrar alguno adecuado para la cuenca de México. De entre estos intentos, destaca la introducción del sistema Compressol en la primera década del siglo XX por parte de Miguel Rebolledo, consistente en la compresión del suelo previa a la construcción con concreto armado. Este sistema, cuya patente adquirió en 1902 en la Casa Hennebique, no tuvo éxito en sus primeros intentos y fue abandonado al poco tiempo. Entre los cimientos elaborados con el sistema Compressol se distinguen los del Palacio Legislativo (hoy Monumento a la Revolución). Rebolledo, *1902-1952*, 1952, p. 4; Garza, *Hormigón*, 1905. Véase el estudio respecto al sistema Hennebique en México: Silva, *Concreto*, 2016.

⁵² Para conocer algunos detalles interesantes sobre las particularidades de esta obra, véase: Mariscal, "Proyecto", 1906, pp. 29-35.

⁵³ Rebolledo, *1902-1952*, 1952.

⁵⁴ Garza, *Hormigón*, 1905, p. 13. Para mayor información sobre el ingeniero arquitecto Daniel Garza, véase: Rébsamen, *México*, 1889-1890, t. 1, p. 96.

⁵⁵ Sin autor, "Congreso", 1904, pp. 65-88.

transformaría en la maquinaria y lenguaje mismo de la modernidad. En consonancia con el pensamiento positivista y progresista de la época de cambio de siglo, los precursores del concreto armado buscaron la aplicación de los últimos avances científicos para la construcción de lo que ellos consideraban un futuro más brillante y desarrollado.⁵⁶ Por otro lado, las complejas realidades del siglo xx irán imponiendo a la construcción una orientación nueva de carácter funcionalista, con especial énfasis en la economía de recursos y la racionalidad en el diseño, con una visión social y de desarrollo. Todos ellos aspectos para los cuales el concreto armado estaba particularmente capacitado.

A finales del periodo porfirista, la arquitectura de estilo ecléctico seguía aferrada a los cánones y órdenes clásicos, y fue a partir de ellos que se crearon las primeras obras en concreto armado. Además, como un sistema novedoso, éste fue adoptado en primer lugar por ingenieros y no tanto por arquitectos.⁵⁷ Estos últimos tendieron, en un principio, a usar el nuevo material para imitar formalmente a otros más nobles o a formas tradicionales de construcción, dejando al concreto armado como un material estructural apto para obras de ingeniería. El concreto armado estuvo, por decirlo de alguna manera, “adelantado a su tiempo”. No obstante, al sobrevenir un nuevo momento histórico marcado por una revolución social, se creó un ambiente propicio para lo que Ortega González llama una “nueva visión de la arquitectura”, es decir, el movimiento moderno que sería el encargado de explotar plenamente el potencial del concreto armado y de desarrollar los lenguajes arquitectónicos propios de la modernidad del siglo xx.⁵⁸

LA EDAD DEL CEMENTO: EL CONCRETO ARMADO EN UN NUEVO PROYECTO DE NACIÓN

Durante los primeros gobiernos emanados de la Revolución, el concreto armado fue visto como

una pieza clave para el progreso, y el cemento, como su principal componente, apareció como piedra angular de una etapa nueva del desarrollo humano. En este contexto, organismos como el Comité para propagar el uso del cemento Portland adoptaron un lenguaje triunfalista, afirmando que la humanidad había arribado ya a la *edad del cemento*.⁵⁹ Si los procesos de modernización habían entrado en letargo a raíz del movimiento armado iniciado en 1910, los años posteriores a la Revolución los vieron retornar con incluso mayor vigor.

Durante la segunda década del siglo xx fueron varias las obras de ingeniería que hicieron uso del concreto armado. Su finalidad netamente utilitaria no deja de mostrar cierto resabio de las actitudes asociadas al concreto durante su introducción; entre ellas podemos señalar la Escuela Nacional de Aeronáutica de Balbuena de 1924, la fábrica de focos el Águila Nacional de 1928, las caballerizas del Colegio Militar de 1926 y el Estadio Municipal de Jalapa de 1925.⁶⁰ Sin embargo, para la década de los años treinta, el concreto armado encontraba finalmente las condiciones oportunas para el desarrollo de lenguajes arquitectónicos adaptados a sus posibilidades. La arquitectura academicista entraba en franco repliegue con la entrada en vigor de nuevas tendencias que iban a culminar en la arquitectura moderna. Movimientos como el *art déco* incursionaron en expresiones cada vez más audaces que no se ceñían a las reglas tradicionales de construcción ni a la imitación historicista de modelos del pasado. El funcionalismo, definido por principios como “la forma sigue a la función”—impulsado desde la Bauhaus—, o axiomas minimalistas como el muy célebre de Mies van der Rohe de *less is more*, perfilaban ya desde Europa un pragmatismo muy acorde con la adaptabilidad del concreto armado. A pesar de los resquemores iniciales y de la resistencia de algunos sectores, el movimiento moderno arquitectónico se fue erigiendo como parangón de la idiosincrasia de la época, que enfatizaba la necesidad de dar solución, a través del diseño, a problemas que

⁵⁶ Véanse, por ejemplo, el lenguaje triunfalista con que se hablaba del concreto en publicaciones como *El Arte y la Ciencia*. Cabello, “Adelantos”, 1900.

⁵⁷ Rebolledo, *1902-1952*, 1952, p. 7.

⁵⁸ Ortega, *Evolución*, 1999, p. 44.

⁵⁹ Calderón y Mendiola, “Tema”, 1925, p. 77.

⁶⁰ Ortega, *Evolución*, 1999, p. 149.

en principio no estaban relacionados con él, como la pobreza, la desigualdad, el desarrollo y el derecho a una vida digna: el concreto armado venía a dar cabal solución a las promesas revolucionarias.⁶¹ No por nada suele atribuírsele a uno de los máximos exponentes del movimiento moderno internacional, Charles-Édouard Jeanneret-Gris —mejor conocido como Le Corbusier— la frase de que “la arquitectura es el punto de partida del que quiera llevar a la humanidad hacia un porvenir mejor”.⁶²

¿Cuáles fueron las características que hicieron del concreto armado el sistema óptimo para dar respuesta a tan elevados ideales? Para empezar, su ya mencionada ligereza, los muros y losas de concreto armado tienen un espesor mucho menor que los sistemas tradicionales, permitiendo además la elevación de las alturas a niveles insospechados, lo cual concordaba con las exigencias de una vida urbana tendiente a la densificación. Si bien dichas alturas también son asequibles para edificios de estructura de acero, el concreto armado es prácticamente tan eficiente como aquel, pero a una fracción del costo. La economía que el concreto armado ofrece también viene asociada al uso del espacio, pues permite un ahorro de hasta un 20% o 25% del terreno disponible, mejorando sensiblemente el rendimiento de predios y permitiendo un mayor número de habitaciones, mayor amplitud en ellas y más disponibilidad de espacios abiertos por un uso menor del terreno.⁶³

El concreto armado se pudo acoplar muy bien a las demandas históricas de los gobiernos postrevolucionarios y de la arquitectura mexicana. Según señala Ortega González, su naturaleza pétreo permitió la continuidad de formas prehispánicas y virreinales, reproduciendo las características de solidez, perdurabilidad y monumentalidad anheladas por el imaginario local. Así, la arquitectura moderna

mexicana hunde sus raíces tanto en las tradiciones prehispánica y colonial como en el racionalismo europeo de finales de los años treinta del siglo XX, con lo cual se pudo constituir como una arquitectura racional, expresiva⁶⁴ y mexicana. En un contexto de fervor nacionalista, tales características se mostraron en obras como la Escuela Benito Juárez, realizada en 1925 por Carlos Obregón Santacilia bajo el estilo neocolonial, o el Museo Anahuacalli, proyectado por Diego Rivera y construido entre 1943 y 1957 bajo la corriente neoprehispánica.⁶⁵ Se puede considerar, en resumen, que la modernidad arquitectónica en México se expresó durante la primera mitad del siglo XX bajo tres corrientes principales: el nacionalismo —expresado ahora como neocolonial, ahora como neoprehispánico—, el *art déco* y el funcionalismo. A pesar de que en apariencia partían de principios opuestos, entre todas las corrientes que aprovecharon el concreto armado hubo préstamos, ideales comunes y lenguajes compartidos, además de empalmarse temporalmente.

La primera de estas corrientes se caracteriza por una búsqueda de una arquitectura propia para lo que se buscaba proyectar como la nueva nación mexicana, basada en la recuperación o copia de los motivos de la tradición local, la apropiación de un pasado indígena idealizado y de uno virreinal; la preocupación nacionalista detrás de esta reapropiación del pasado fue la de encontrar en la arquitectura su cualidad “mexicana”, dejando atrás su utilización discursiva y política (las promesas de la Revolución) para asistir a su propia originalidad. La arquitectura nacionalista se nutre de las ideas emergidas de la Revolución Mexicana en tanto construcción de lo mexicano como identidad,⁶⁶ así como de sus ideales sociales; ello explica obras como las del mencionado Obregón Santacilia, quien también legó proyectos como la conclusión

⁶¹ Las promesas de la Revolución Mexicana fueron los acuerdos políticos que llevaron a diferentes bandos revolucionarios (que no todos) a poner fin al movimiento armado para iniciar en conjunto un proyecto de nación. Dicho proyecto ponía como eje rector el porvenir del conjunto de toda la nación. Así, se buscaba poner fin a las injusticias que en el pasado habían sido los obstáculos para el progreso y desarrollo del país. Dichas promesas quedaron enmarcadas en la Constitución de 1917. Meyer, *Revolución*, 2016.

⁶² Le Corbusier, *Hacia*, 1998 [1923].

⁶³ Rebolledo, *Betón*, 1904, pp. 20-21.

⁶⁴ Ortega, *Evolución*, 1999, p. 151.

⁶⁵ Se trata de uno de los mejores ejemplos de esta corriente neoprehispánica que pugnaba por la recuperación de la raíz indígena pura.

⁶⁶ Para conocer más sobre la mexicanidad y el nacionalismo cultural, se recomiendan las lecturas de Ricardo Pérez Montfort sobre el proyecto de nación revolucionario. Véase: Pérez, *Cotidianidades*, 2000; Pérez, *Estampas*, 2003.

del Monumento a la Revolución, iniciado en un estilo ecléctico pero terminado con motivos plenamente nacionales en 1938.⁶⁷ Otro importante proyecto inconcluso del Porfiriato culminaría bajo esta línea nacionalista: el Palacio de Bellas Artes, planteado originalmente bajo un proyecto modernista *art nouveau* de Adamo Boari, pero culminado en una línea más apegada al *art decó* por Federico Mariscal en 1934. Finalmente, destacan también las creaciones del incomparable Luis Barragán, que tienden ya a un tradicionalismo patente en obras como su propia casa levantada en 1948, donde no dejan de integrarse algunos principios del movimiento moderno.

El *art decó* puede considerarse una respuesta al *art nouveau* bajo una estética más lineal, geométrica y de apariencia sofisticada. Integraba para ello elementos de las vanguardias europeas como el cubismo y el futurismo. Como ya se insinuó con los ejemplos anteriores, el *art decó* estuvo muy vinculado al nacionalismo revolucionario, pues permitía la adopción de motivos locales, como lo demuestran los ya mencionados Monumento a la Revolución y Palacio de Bellas Artes. También destacan otras obras muy apegadas a esta corriente, como el Parque México que diseñaron Leonardo Noriega y Javier Stávoli en 1927,⁶⁸ el edificio Ermita de 1930 proyectado por Juan Segura, el edificio de la Nacional de Manuel Ortiz Monasterio, Bernardo Calderón y Luis Ávila—considerado el primer rascacielos de la ciudad—⁶⁹ o el edificio el Moro, ocupado por la Lotería Nacional, de 1945,⁷⁰ obra de los mismos artífices de la Nacional en conjunto con José Antonio Cuevas.

Finalmente, el funcionalismo corresponde a la máxima expresión del movimiento moderno, y fue esta corriente la que sacó el máximo partido

de las posibilidades del concreto armado. En sintonía con el espíritu de la época, buscaba la creación de formas nuevas que rechazaran los viejos estereotipos.⁷¹ Se basaba en el racionalismo y organicismo arquitectónicos, tendientes a la austeridad, la limpieza, la claridad, la simplicidad formal y el aparente abandono de las tradiciones arquitectónicas previas. Si bien pretendía rechazar todo capricho estético, tendía a decantarse siempre que fuera posible por la innovación y la novedad técnica. Su gran ideal fue la eficiencia: servir a un mayor número de usuarios con la máxima economía de espacio y recursos fue su bandera social de tintes casi morales. Entre sus principales representantes, que ejercieron una poderosa influencia sobre los arquitectos mexicanos, encontramos a Adolf Loos, Le Corbusier, Ludwig Mies van der Rohe, Walter Gropius, Frank Lloyd Wright, y escuelas como la Bauhaus y el constructivismo ruso. Juan O’Gorman fue pionero en introducir este movimiento a México con la célebre casa-estudio de Diego Rivera y Frida Kahlo, construida en 1932. La simplicidad y pulcritud de la obra sintetizan el utilitarismo moderno con la resistencia a la ornamentación. Otras obras que siguieron esta corriente aprovecharon el auge económico de su época para intentar demostrar el ingreso del país a un estado superior de desarrollo, beneficiando a amplios sectores de la población, como el Centro Urbano Presidente Alemán de 1950, proyectado por Mario Pani bajo la idea lecorbusiana de la Unidad Marsella. Ésta fue la primera de una amplia lista de unidades habitacionales cuya máxima—y más trágica—expresión fue el Conjunto Urbano Nonoalco Tlatelolco, de 1964. A la vez que pretendían satisfacer las demandas de vivienda de sectores poblacionales amplios de la manera más compacta y económica posible, estas unidades

⁶⁷ Proyecto original de Émile Bénard.

⁶⁸ Ortega menciona que “es una de las primeras muestras de la capacidad escultórica del concreto armado, que en sus inicios fue figurativa para irse depurando hacia lo abstracto”. Ortega, *Evolución*, 1999, p. 152.

⁶⁹ Técnicamente no fue el primer rascacielos de la ciudad, pues era superado casi al doble en altura por el edificio Corcuera (1934), aunque éste fue destruido en el terremoto de 1957; además, la altura de la Nacional apenas igualó a la de las torres de la Catedral. A pesar de ello, cabe señalar que este edificio fue el primero en contar con un sistema de pilotes a profundidad que alcanzan la capa resistente del subsuelo. Su estructura de acero remachado está cubierta en su totalidad de concreto armado aparente de primera intención; sólo la base está recubierta de granito. Por otro lado, también resulta curioso que los autores de este proyecto fueron los mismos que lo construyeron, pues diseñaron y calcularon la superestructura y la cimentación. Ortega, *Evolución*, 1999, p. 152; Greenham, *Concreto*, 1997.

⁷⁰ Siguiendo a Ortega, el ingeniero estructural José Antonio Cuevas “empleó por primera vez una cimentación por sustitución realizada a base de armaduras de concreto, con lo que logró disminuir en gran medida el peso total del edificio”. Ortega, *Evolución*, 1999, p. 152.

⁷¹ Ortega, *Evolución*, 1999, p. 53.

no dejaron de demostrar las contradicciones inherentes al sistema mexicano posrevolucionario.

Sin embargo, es quizá la Ciudad Universitaria de la Ciudad de México la que representa el máximo triunfo y culminación de la arquitectura moderna en México. Terminada en 1952, contó para su diseño con la participación de algunas de las mentes más brillantes de la época, entre las que destacan algunos personajes ya mencionados en este artículo: Rebolledo, Pani, O’Gorman, Barragán y Rivera, junto con otros como Félix Candela, Pedro Ramírez Vázquez, Enrique Yáñez, José Villagrán, Carlos Lazo, Enrique del Moral, Gustavo Saavedra, entre otros. En este vasto complejo, el concreto armado domina, pues prácticamente no hay en él estructuras de acero;⁷² se presenta ya libre de ataduras, expresándose de manera plena con la colaboración de la arquitectura, la ingeniería y el arte.⁷³ La culminación de estas grandes obras es testamento también de la creciente capacidad de la industria cementera nacional.

Cada uno de los nombres antes señalados merecería un estudio pormenorizado, pero el español Félix Candela requiere una mención aparte, porque su obra en concreto armado fue quizá la más atrevida y la que anunció con más fuerza una tendencia experimental más próxima a la arquitectura contemporánea. Trascendiendo los preceptos de la arquitectura moderna, Candela adquirió tal confianza con su medio —el concreto armado— que fue capaz de implementar formas cada vez más audaces, jugando con geometrías insólitas que aún hoy resultan impresionantes, como el restaurante Los Manantiales de Xochimilco, construido en 1958 usando paraboloides hiperbólicos.

Otras corrientes posteriores también han sacado partido del concreto armado, llegando incluso a mostrarlo como un elemento estético en sí mismo. Tal es el caso del brutalismo, que hace uso de la técnica del concreto aparente para mostrar con honestidad y sin acabados la belleza del concreto.⁷⁴ El

éxito del brutalismo, presente en México gracias a exponentes como Abraham Zabludovsky y Teodoro González de León, se debe a su proximidad con los ideales de “masividad y permanencia” que observa Ortega para la tradición arquitectónica mexicana.⁷⁵ Se le puede apreciar sobre todo en edificios públicos de gran porte como El Colegio de México de 1975 o la Universidad Pedagógica Nacional de 1979. Hasta la actualidad, el concreto sigue siendo un elemento persistente y esencial en la arquitectura mexicana, expresada en movimientos como el plasticismo y el corporativismo.

CONCLUSIÓN

El artículo mostró cómo el concreto armado y su sistema constructivo —y su precursor el cemento— lograron erigirse como símbolos de modernidad y pieza clave para entender la construcción en nuestro país durante los últimos cien años, empero no podemos reducir la modernidad sólo a las obras arquitectónicas de vanguardia, por bellas o funcionales que éstas sean. El concreto ha demostrado su utilidad y versatilidad para todo tipo de aplicaciones que han tendido a humanizar cada vez más el entorno, adaptándolo a las necesidades del hombre. Por ello ha sido objeto de un constante perfeccionamiento en sus procesos de fabricación, tendiendo a la eficiencia y adaptabilidad a todo tipo de obras. En lo que toca a los grandes proyectos de ingeniería, arquitectura marítima, construcción de caminos, urbanismo y todas las demás ramas de la construcción mexicana, el concreto también ha tenido un papel preponderante. La creación de viguetas prefabricadas y bloques de concreto ligero son sólo algunos ejemplos que aparecieron ya desde finales del siglo XIX.⁷⁶

Son muchas las muestras de cómo el concreto ha permitido al Estado mexicano domesticar el territorio a través del emprendimiento de obras de toda magnitud. Las obras de pavimentación de la

⁷² Rebolledo, *1902-1952*, 1952, p. 27.

⁷³ Como muestra podemos mencionar la afamada Biblioteca Central, cuyos cimientos fueron planeados por el ingeniero Rebolledo. La obra fue diseñada por los arquitectos Saavedra y Martínez de Velasco, y finalmente fue recubierta por Juan O’Gorman en su faceta de pintor.

⁷⁴ Greenham, *Concreto*, 1997.

⁷⁵ Ortega, *Evolución*, 1999, p. 152.

⁷⁶ Ortega, *Influencia*, 1997, p. 177. Véase también: Christophe, *Béton*, 1902.

avenida Juárez y la calle de San Juan de Letrán con concreto armado⁷⁷ fueron apenas una muestra de lo que posteriormente traería el advenimiento del concreto prefabricado para el mundo de la obra.⁷⁸

Por su parte, el concreto precomprimido o pre-tensado⁷⁹ ha sido esencial para la creación de obras de uso intenso como grandes torres, almacenes, aeropistas, muelles, puentes, presas, etcétera. En México, el puente del ferrocarril de Chihuahua Pacífico o el puente de Coyuca de Benítez, en Guerrero, son ejemplos de este tipo de aplicaciones. Su importancia radica en que permite la prefabricación de piezas de ensamblaje y distintos elementos, dando pie a la estandarización e industrialización de los procesos constructivos con una gran eficiencia de recursos y tiempo. Podemos ver ejemplo de ello en muestras muy variadas de la vida contemporánea, muchos de cuyos elementos se producen masivamente siguiendo estos principios y plagan hoy nuestros paisajes: postes, tanques, tuberías, etcétera.⁸⁰

El puente de la ciudad de Laredo es una muestra elocuente del paso por México de distintos sistemas constructivos que culminaron en la prevalencia contemporánea del concreto armado: si su estructura original tenía acero y concreto por separado, su primera reconstrucción fue fabricada de concreto armado, para finalmente mostrarse en su versión actual con concreto pre-esforzado. Así, engloba la historia de éxito de este sistema, de sus avances y de sus posibilidades abiertas al futuro.⁸¹

Por último, el contexto actual hace indispensable lanzar la pregunta sobre el impacto ambiental de una industria que ha sido, desde sus inicios, a la vez prolífica y enormemente transformadora del medio, por sus insumos, técnicas y procesos. Aunque es un tema que rebasa los objetivos de este texto, lo marcamos como un pendiente importante para futuras investigaciones históricas.

FUENTES

Bibliográficas

Agostoni, Claudia, *Monuments of progress: modernization and public health in Mexico City, 1876-1910*, Calgary: University of Calgary/ University Press of Colorado/ Instituto de Investigaciones Históricas-UNAM, 2003.

Barona de la O, Federico, “Construcción de pavimentos de concreto reforzado en la Ciudad de México”, en: *Revista de Ingeniería y Arquitectura* (reimpreso por la fábrica del Cemento Tolteca), 1934.

_____, *Manufacturas de concreto precomprimido*, México: Oficina de la industria del cemento, 1960.

Cabello y Lapiedra, Luis María, “Adelantos de la construcción. Las fábricas de cemento armado”, en: *El Arte y la Ciencia*, vol. 2, núm. 1, abril, 1900, pp. 5-6.

Calderón, Alberto y Vicente Mendiola, “Tema III: Sobre los usos del Cemento Pórtland en construcciones y artefactos destinados a ellos, desde el punto de vista decorativo”, en: *Trabajos premiados en el concurso que convocó el comité para propagar el uso del cemento Pórtland para conmemorar el primer centenario de la invención del cemento*, México: Empresa Editorial Ingeniería y Arquitectura, 1925, pp. 75-81.

Christophe, Paul, *Le béton armé et ses applications*, París : Ch. Béranger, 1902.

Davis, Arthur Charles, *Portland Cement*, Reino Unido: Concrete Publications, 1943 (1ª. 1934).

Escamilla González, Francisco Omar, “El laboratorio de resistencia de materiales de construcción de la Escuela Nacional de Ingenieros

⁷⁷ Barona, “Construcción”, 1934.

⁷⁸ El concreto prefabricado surgió para aliviar la inmensa demanda de edificios derivada de la Segunda Guerra Mundial. La prefabricación del concreto se conoció en dos tipos: la industrial o la pesada (siguiendo alguno de los distintos procesos que para ello existen) y la ligera (a pie de obra). De la primera sobresalen los procedimientos Coignet, Fiorio, Balency, Luganteko, Skarne y Lift-slab.

⁷⁹ Dicho tipo de concreto implica elevar la temperatura de las piezas metálicas (consistentes en cables de alta resistencia) antes del colado, para aportar mayor resistencia y ahorro de materiales: el proceso permite que el elemento presentado tenga una resistencia equivalente a una viga de acero. Eugène Freyssinet fue quien perfeccionó este proceso en 1928, y luego F. Dischinger lo mejoró para usarlo en puentes.

⁸⁰ Barona, *Manufacturas*, 1960.

⁸¹ Sánchez, “Nuevo”, 1957, pp. 1-17.

- de México (1892)", en: *Boletín de Monumentos Históricos*, núm. 4, mayo-agosto, 2005, pp. 85-109.
- Gallegos, Héctor, y Horacio, Ramírez de Alba, "Las estructuras de mampostería", en: *Edificaciones de mampostería para vivienda*, México: Fundación ICA, 2002, pp. 3-21.
- Garza, Daniel, *El hormigón armado. Sistema Garza. Informes, proyectos y presupuestos*, México: Imprenta y Estereotipia de E. Rivera, 1905.
- Greenham Ballezá, Santiago, *El concreto aparente. Arquitectura moderna en México*, México: Colegio de Arquitectos de la Ciudad de México, 1997.
- Katz, Friedrich, "México, la restauración de la República y el Porfiriato", en: Leslie Bethell (ed.), *Historia de América Latina*, vol. 9, Barcelona: Crítica, 1990, pp. 14-77.
- Le Corbusier, *Hacia una arquitectura*, Barcelona: Ediciones Apóstrofe, 1998 [1923].
- Malphettes, Leopoldo, *El hormigón armado. Manual teórico-práctico al alcance de los constructores*, Barcelona: Gustavo Gili, 1920.
- Mariscal, Federico, "Proyecto para una inspección de policía", en: *El Arte y la Ciencia*, vol. 8, núm. 2, agosto, 1906, pp. 29-35.
- Mendoza Mociño, Arturo, *Entre el concreto y el cielo. 125 años construyendo México*, México: Cemento Cruz Azul / John Wiseman / Revimundo, 2006.
- Meyer, Jean, *La Revolución Mexicana*, México: Tusquets, 2016.
- Nájera Baldazo, Gaspar, *Desarrollo integral en una organización: el caso de la industria del cemento*, Tesis de Maestría en Administración de Empresas con Especialidad en Recursos Humanos, México: Universidad Autónoma de Nuevo León, 2002.
- Neville, Adam M., *Tecnología del concreto*, t. 1, México: IMCYC, 1984 (1963).
- Ortega González, Arturo, *Evolución tecnológica del concreto y la arquitectura contemporánea*, México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto (IMCYC), 1999.
- _____, *Influencia del concreto armado en la arquitectura contemporánea*, tesis de licenciatura, México: UIA, 1997.
- Pérez Monfort, Ricardo, *Cotidianidades, imaginarios y contextos: ensayos de historia y cultura en México, 1850-1950*, México: Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, 2000.
- _____, *Estampas de nacionalismo popular mexicano. Diez ensayos sobre cultura popular y nacionalismo*, México: Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropología Social, 2003.
- Ramírez de Alba, Horacio, Raúl Vera Noguez y Mónica Patricia Mejía López, "Materiales cementantes y concretos en las antiguas culturas americanas", en: *Ingeniería Revista Académica*, vol. 14, núm. 1, enero-abril, 2010, pp. 67-74
- Rebolledo, Miguel, *1902-1952. Cincuentenario del concreto armado en México*, México: Beatriz de Silva, 1952.
- _____, *El betón armado. Sistema Hennebique Patentado. Sus aplicaciones en la República*, México: Tip. "El Lápiz del Águila", 1904.
- _____, *Foundations in the City of Mexico*, México: Imprenta Webb, 1907.
- Rébsamen, Enrique, Emilio Fuentes y Betancourt y Hugo Topf (eds.), *México Intelectual*, 3 tomos, Jalapa: Imprenta del Gobierno del Estado, 1889-1890.
- Redgrave, Gilbert R. y Charles Spackman, "Chapter iv. The early days of Portland Cement", en: *Calcareous Cements. Their nature, manufacture, and uses, with some observations upon cement testing*, Londres: Charles Griffin and Company, 1905, pp. 31-43.
- Rolland, Modesto C., Marcos G. Nava y José Vázquez Schiaffino, *Especificaciones mexicanas sobre el cemento Portland*, México: Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas / Comisión encargada de formar el Reglamento a que deben sujetarse las Construcciones de Concreto Reforzado en la República Mexicana, 1913.

Román Kalisch, Manuel Arturo, “Desarrollo tecnológico urbano-arquitectónico del Porfiriato en Yucatán”, en: *Cuadernos de Arquitectura de Yucatán*, núm. 21, 2008, pp. 6-19.

Sánchez de Aparicio, J. de J., “El nuevo puente de Laredo”, en: *Ingeniería*, vol. XXVII, núm. 2, enero, 1957, pp. 1-17.

Silva Contreras, Mónica, “Arquitectura y materiales modernos: funciones y técnicas internacionales en la Ciudad de México, 1900-1910”, en: *Boletín de monumentos históricos*, núm. 22, mayo-agosto, 2011, pp. 181-207.

_____, *Concreto armado, modernidad y arquitectura en México. El sistema Hennebique 1901-1914*, México: Universidad Iberoamericana, 2016.

Sin autor, “VI Congreso Internacional de Arquitectos”, en: *El Arte y la Ciencia*, vol. VI, núm. 5, agosto, 1904, pp. 65-88.

Torres Torija, Manuel, *El cemento armado (ensayo monográfico)*. *Lecciones dadas en la academia N. de Bellas Artes, el año de 1912*, México: 1913.

Electrónicas

“Historia del cemento en México”, en: CANACEM, versión digital en: <<https://bit.ly/4aixAsc>> (consultado el 26 de febrero de 2024).

Yepes Piqueras, Víctor, “La barca de Lambot, el ‘Antecesor’ del hormigón armado”, en: *Blogs de la Universidad Politécnica de Valencia*, versión digital en: <<https://bit.ly/3WIFXQw>> (consultado el 26 de febrero de 2024).

Roberts, Adam, “Where the Système Hennebique lives on”, en: *Invisible Paris*, versión digital en: <<https://bit.ly/4bIYpNb>> (consultado el 26 de febrero de 2024).