

*"La patología del concreto,  
una disciplina compleja y desafiante":*

# Paulo Helene, Presidente de Honor de Alconpat International

El ingeniero Paulo Helene, es doctor en ingeniería de la Universidad de Sao Paulo, Brasil. Es un reconocido investigador y consultor internacional en el área de estructuras de concreto, durabilidad, sostenibilidad, dosificación, ensayos, control, concretos especiales y de altas prestaciones, diagnóstico de problemas patológicos y rehabilitación. Trabajó en obras públicas y en 1976 hizo en España el Curso de Estudios Mayores de la Construcción del Instituto Eduardo Torroja, cuyo tema era "Patología de las Construcciones". Con esa especialidad se vinculó como investigador al Instituto de Pesquisas Tecnológicas de Sao Paulo y como profesor en la Escuela Politécnica de su universidad. Allí se jubiló con el máximo grado académico, el de Profesor Titular. Tiene posdoctorado de Berkeley, California, y es autor de muchos artículos en revistas especializadas, ponencias en congresos, y miembro de organismos técnicos, entre ellos Alconpat International, entidad de la cual es Presidente de Honor.



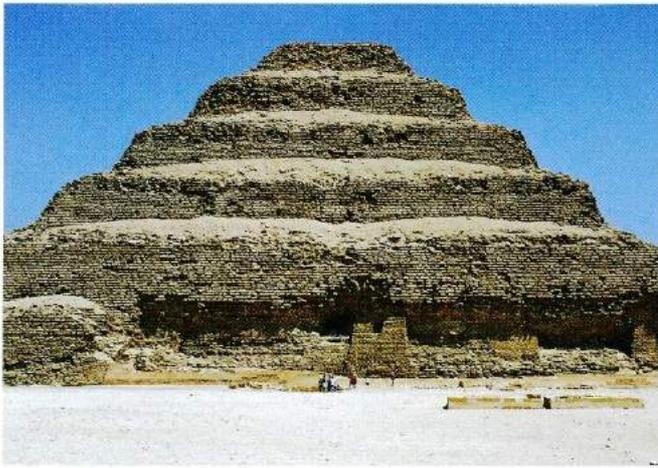
↑ Paulo Helene, doctor en Ingeniería por la Universidad de Sao Paulo, Brasil.  
CORTESÍA CONCRETO PHD

**Al lado del equipo del Instituto Eduardo Torroja** en Madrid —narró para Noticreto— *"me encanté con la complejidad de la Patología de las Construcciones e intenté aprender de ellos. Soy el primer especialista en Brasil en patología y en 1979 impartí el primer curso de patología en el país. Años después esa disciplina fue introducida en nuestro curso de pregrado de la USP. He supervisado muchas tesis de doctorado sobre patología y también he publicado libros sobre patología y rehabilitación de estructuras de concreto, algunos de ellos en español en Colombia, España y México."* Así comenzó un diálogo generoso de su parte.

**¿Desde cuándo busca la humanidad construir estructuras durables?**

*He descubierto, encantado, que nuestra profesión empezó exactamente bajo el concepto de la durabilidad. La primera vez en la historia que un ser humano fue llamado arquitecto fue en el Egipto antiguo, por el año 2790 antes de nuestro*

era. Imhotep era un alquimista del faraón Djoser y era especialista en conservar para la eternidad los cuerpos de los dignatarios muertos. Descubrió y perfeccionó sustancias y procedimientos para preparar momias. En determinado momento de su gloriosa vida cayó en cuenta de que los mausoleos que abrigaban las urnas con las momias duraban menos que las propias momias porque eran de arcilla, cerámica y madera, materiales de poca durabilidad. Entonces se propuso utilizar las rocas, y diseñó y construyó la primera pirámide de Egipto, la pirámide escalonada de Djoser en el valle de Sakkara. Después de cinco mil años todavía sigue allí, grandiosa e histórica, como un bello ejemplo de la capacidad humana de edificar obras durables.



↑ La pirámide escalonada de Djoser en el valle de Sakkara. Después de cinco mil años todavía sigue allí, grandiosa e histórica, como un bello ejemplo de la capacidad humana de edificar obras durables.

WIKIMEDIA - ALBERTO G-ROVI

### ¿Cuál fue el mayor avance en el último siglo?

Sin duda, la llegada del cemento Portland en el siglo XIX, que ha permitido las construcciones en concreto armado desde comienzos de los años 1900. Posteriormente amplió sus límites el descubrimiento del concreto pretensado en 1927. Las rocas se habían utilizado desde la antigüedad y la gran Revolución Industrial del siglo XVIII hizo posibles las estructuras metálicas, pero el concreto ha superado todas las expectativas y su gran versatilidad lo ha transformado en el material industrial más consumido en la actualidad en kilogramos por cápita en el mundo.

### ¿Y dentro de dos mil años será posible ver obras que se construyen hoy en día?

Hay un video hecho por The History Channel, denominado América Latina sin Nadie, sobre lo que pasaría con las construcciones si toda la población humana desapareciera repentinamente y las obras quedaran sin mantenimiento. En el video participé como entrevistado, y allí afirmo que sí, que dentro de 200 a 2.000 años van a perdurar muchas de las grandes obras de hoy. Es natural, porque el hombre ha descubierto una forma rápida de fabricar rocas durables. Hoy somos capaces de producir en solo 28 días, casi por milagro, una roca artificial, el concreto, con propiedades muy similares a las de las rocas naturales que han tardado millones de años en formarse.

Un concreto con relación  $a/c$  por debajo de 0,3 tiene resistencia por encima de 100 MPa y durabilidad del mismo orden que una roca natural de granito o de basalto. Lo comprueba el concreto de la cubierta de la cúpula del Panteón de Roma que, después de dos mil años de construido, todavía nos sigue encantando con su gran durabilidad y belleza. A lo largo de los siglos la humanidad se dio cuenta de que son pocos los materiales adecuados para construir grandes estructuras: rocas, acero y concreto. Entre ellos el concreto es el más sostenible, económico y versátil y puede ser el más durable siempre que se haga un buen diseño estructural y una correcta dosificación y control.

*"Hoy somos capaces de producir en solo 28 días una roca artificial con propiedades muy similares a las de las rocas naturales que han tardado millones de años en formarse."*



↑ Burj Khalifa, actualmente récord mundial en altura y bombeo de concreto.

WIKIMEDIA - DONALDYTONG

## ¿Cómo puede la llamada ingeniería preventiva prolongar la vida útil de las estructuras de concreto?

La ingeniería preventiva es un concepto casi natural en diversas ingenierías como la de autos, la aeronáutica, la naval, la eléctrica y mecánica de máquinas industriales, pero curiosamente no lo es en la ingeniería civil. Construir es tan viejo como el Homo sapiens, pero conservar o hacer ingeniería preventiva todavía está lejos de incorporarse a lo cotidiano de la gente. Hoy día, poco a poco, las construcciones se entregan con un manual de operación y mantenimiento que orienta a los usuarios en la prevención de problemas patológicos y de accidentes. Pocas personas se dan cuenta de que la Torre Eiffel en París está sometida a un ciclo de siete años, donde cinco son de uso y dos de mantenimiento, con intervenciones preventivas y correctivas y protección exterior siempre renovada. Todas las estructuras —unas más, y las de concreto menos— necesitan de ingeniería preventiva para lucir bien y ser funcionales por muchos años. Los edificios modernos, con estructuras mixtas o compuestas de acero y concreto, van a demandar cada vez más programas de mantenimiento y conocimiento preventivo del ciclo de vida de las obras.

De todas maneras, en la actualidad hay una herramienta muy fuerte para establecer el impacto de las obras. Ellas permiten comparar diversas opciones tales como hacer una alta inversión inicial o invertir menos e implantar políticas de mantenimiento más onerosas pero que van a ser útiles a lo largo de los años. La idea siempre es determinar desde el comienzo una expectativa de vida útil de proyecto, que puede variar entre 50 y 120 años. Después, durante ese periodo, hay que analizar desde el proyecto y la construcción, pasando por el uso y el mantenimiento hasta la demolición y destinación de los residuos. Son estudios complejos, pero esa herramienta va servir cada vez más y mejor a la sociedad y a la ingeniería.

*“Los edificios **modernos**, con estructuras mixtas o compuestas de acero y hormigón, van a demandar cada vez más **programas de mantenimiento preventivo**.”*

### ¿Por qué la rehabilitación de edificios es un tema social?

Consideremos que las actividades y estudios de patología son los que hacen posibles los buenos proyectos de intervención preventiva y correctiva. En ese aspecto, la rehabilitación de estructuras antiguas para modernizarlas o para cambiarlas de uso es, en definitiva, una operación social. Con estudios de inspección y diagnóstico de problemas, los edificios abandonados y viejos pueden ser rehabilitados con evidentes beneficios sociales, tanto para los usuarios como para su entorno, transformando el escenario muerto en obras nuevas y dinámicas.



↑ La Torre Eiffel en París está sometida a un ciclo de siete años, donde cinco son de uso y dos de mantenimiento, con intervenciones preventivas y correctivas y protección exterior siempre renovada.

WIKIMEDIA - MARIANNE CASAMANCE

### Construcción rápida y construcción durable. ¿Son conceptos opuestos?

La respuesta es compleja. Construir una obra durable consume el mismo tiempo que una no durable. Pero hay que considerar el tiempo total: el tiempo que se invierte en detallar y desarrollar el proyecto de arquitectura, el del diseño estructural, el de detallar el plan de operaciones, el de elegir los equipos mecánicos y herramientas, el de entrenar a los obreros, el de ensayar prototipos, el de la ejecución propiamente dicha. Hay profesionales que no dedican tiempo a cada una de las etapas creyendo que con eso van a reducir el tiempo total. Empiezan las obras sin planear, sin proyectos detallados y a veces inacabados, sin entrenar obreros, pero lo que obtienen son obras más demoradas, sin hablar de los problemas patológicos o de baja durabilidad. Los chinos son maestros en presentar en Internet construcciones rapidísimas, realizando en tres meses lo que se hace en quince, pero eso es una distorsión de la realidad porque no muestran el verdadero tiempo que han invertido en todo el proceso. Tardan lo mismo que otras obras convencionales y durables.

## ¿Cuáles son las condiciones más importantes para proteger las obras de concreto?

Hay una verdad técnica muy conocida, la Regla de las 4 C: la primera es la composición del concreto y el control adecuado de la relación agua-cemento; dos, una compactación fuerte y adecuada; tres, el curado efectivo y oportuno y, por último, el cubrimiento mínimo de las armaduras.

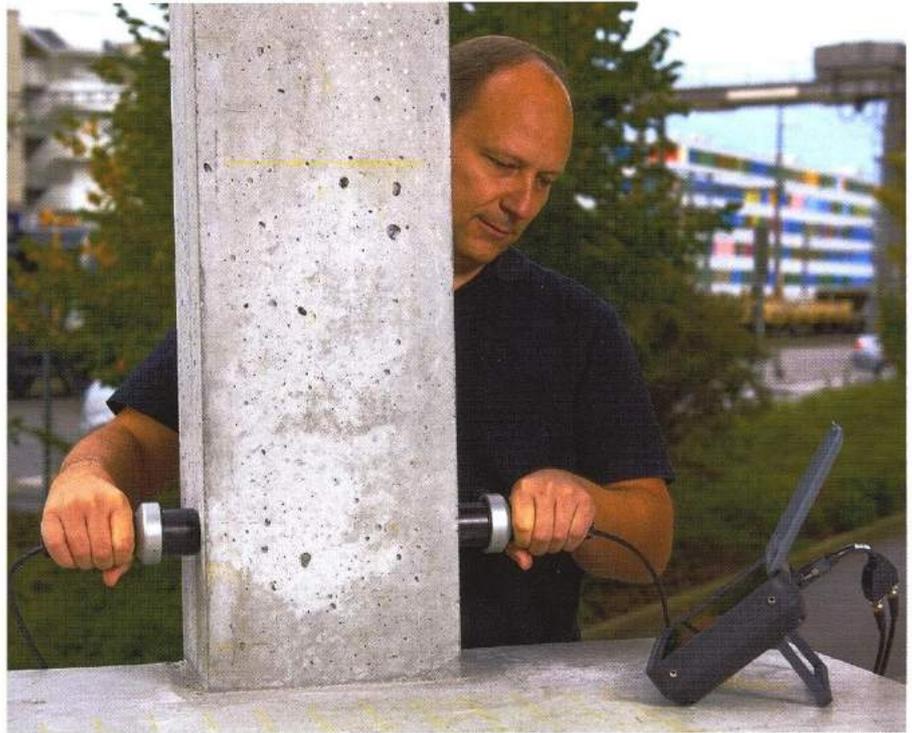
En el diseño estructural también es fundamental saber aplicar los conceptos de estructuras redundantes y robustas que reduzcan o eviten colapsos. En cuanto a la protección, hay la protección superficial a base de hidrofugos y pinturas, y protecciones superiores en muros tipo chapims. El agente agresivo más importante de la naturaleza es el agua, y si viene contaminada con cloruros o es lluvia ácida, el ataque químico al concreto es más intenso. Por lo tanto, el secreto es mantener el concreto lejos del agua o, al contrario, totalmente sumergido. Los concretos secos y los sumergidos son extremadamente durables. Los que están sometidos a ciclos de humedad y sequedad, o de hielo y deshielo, se deterioran más rápidamente.

## ¿Cómo se relacionan la sostenibilidad y la patología de estructuras?

No se trata simplemente de corregir un problema patológico, sino también de considerar los aspectos periféricos del problema. En el mundo se invierten incontables recursos en mantenimiento de construcciones. Se considera que cerca del 60% de la inversión en construcción de infraestructura civil se destina a obras nuevas y 40% a mantenimiento. Otras estadísticas indican que, por ejemplo, del 2% al 5% de la inversión anual en puentes viales debe destinarse al mantenimiento y la ingeniería preventiva. ¿Cuánto les cuesta a ciertas comunidades el colapso parcial o total de un puente importante? ¿Cuánto significa para la salud la paralización de una planta de tratamiento de aguas negras para reparar las paredes o los cimientos? ¿Cuánto se desvaloriza un inmueble urbano si colapsa una parte del revestimiento de fachada o si los cimientos presentan reacción álcali-agregado después de pocos años? Entonces, el estudio de los problemas patológicos—su origen, sus mecanismos, su corrección y principalmente su prevención—están directamente relacionados con la importancia que tiene el ambiente construido para el funcionamiento y la calidad de vida de una sociedad.

## ¿Llegará el momento en que los ensayos sean no destructivos?

Curiosamente, la industria de la construcción—y con ella las estructuras de concreto—son muy tradicionales, conservadoras. Eso es positivo porque nos coloca del



↑ El desarrollo de la construcción sigue dando pasos y hoy están disponibles muchos equipos para controlar la corrosión del acero y detectar diferentes patologías en estructuras de concreto.

© PROCEO

lado de la seguridad, pero por otro lado frena los desarrollos o los hace caminar más despacio. En medicina, un aparato de ultrasonido permite conocer el sexo de un niño, pero en el concreto ni siquiera conseguimos determinar el diámetro y el recubrimiento de las armaduras o, peor aún, si hay mucha armadura en dos o tres capas. La diferencia es que en el consultorio de cada ginecólogo hay un aparato de ultrasonido, mientras que tal vez uno de cada cien mil ingenieros va a adquirir uno. Por lo tanto, no hay estímulo fuerte para desarrollar y comercializar equipos para ingenieros civiles. Otro ejemplo: la reología del concreto se conoce desde los años 1950 y en todo el mundo se sigue utilizando el asentamiento del cono de Abrams, que se propuso en 1918 para medir la consistencia del concreto fresco, cuando existen muchos reómetros desarrollados para ese fin. A pesar de esa inercia, el desarrollo de la construcción sigue dando pasos y hoy están disponibles muchos equipos para controlar la corrosión del acero, equipos de concepto magnético para identificar posición de armaduras, esclerómetros con registros automáticos, sensores para medir tensiones, deformaciones y giros. Se avanza, pero a velocidad muy inferior a la medicina.

## Un consejo, por favor

No podemos olvidar que los estudios de patología exigen que los profesionales involucrados tengan gran capacidad de sintetizar los conocimientos de ingeniería de materiales, cimentación, estructuras, química y física, que se integren a equipos interdisciplinarios y que tengan una visión del total y de cada una de las partes para considerar todos los aspectos en juego. Tal vez es por esa desafiante complejidad que la patología del concreto es una disciplina que despierta tanto interés en los profesionales. 