



# NUEVA PERSPECTIVA PARA EL DISEÑO: LA SOSTENIBILIDAD ESTRUCTURAL

## Incidencia del esqueleto en los sistemas de certificación y su aporte en la construcción de ciudades sostenibles.

**Silvina Inés Prados**

*Ingeniera Civil. Especialista en Diseño Estructural de Obras de Arquitectura  
Profesora titular Estructuras IIB. Profesora adjunta, asesora de estructuras, Arquitectura VIA  
Directora del proyecto de investigación "Regularidad estructural como recurso para un diseño sostenible"*

FAUD.UNC

**Anabella Lorian Cardellino**

*Ingeniera Civil . Profesora asistente Estructuras IA, IIB y III  
FAUD. UNC*

FAUD. UNC

**Alexandra Abigail Vallejos**

*Arquitecta. Adscripta en la cátedra de Estructuras IIB  
FAUD.UNC*

FAUD.UNC

**Madeleine Ledezma Orozco**

*Arquitecta. Adscripta en la cátedra de Estructuras III  
FAUD.UNC*

FAUD.UNC

### Resumen

La incidencia del diseño estructural en la disminución del riesgo sísmico de las ciudades ubicadas en sitios geográficos vulnerables frente a los terremotos es absoluta e indiscutible, constituyéndose el principal recurso para garantizar edificios seguros.

No obstante, los sistemas de certificación del grado de sostenibilidad de las edificaciones reparan solo en la naturaleza de los materiales y en la cantidad de insumos de cualquier índole que se requieren durante su construcción, uso y mantenimiento, sin ahondar en el

nivel de desempeño que deben garantizar sus componentes estructurales.

Sin referencias claras sobre la influencia de un diseño estructural seguro y eficiente en el desarrollo de arquitecturas sostenibles, nos propusimos investigar en esa dirección.

En el presente artículo se expone el proceso, los resultados y conclusiones de la investigación llevada a cabo por el equipo del proyecto "Regularidad Estructural como recurso para un diseño sostenible" (Proyecto Formar, SECyT, UNC).

### El riesgo sísmico y su impacto en las ciudades

El sismo es un fenómeno dinámico, natural y destructor, que genera un riesgo de gran impacto social, y si bien no se puede evitar, sus consecuencias se pueden atenuar. Según Belén Benito Oterino (2013, p.70) el riesgo sísmico de una ciudad se define de la siguiente forma:

$$\text{Riesgo sísmico} = H \times V \times E \times C$$

Donde, H corresponde a la peligrosidad sísmica del sitio, que depende fundamentalmente de su ubicación geográfica; V considera la

vulnerabilidad estructural de las edificaciones del lugar; E corresponde al grado de exposición u ocupación, que está en función de la densidad de personas y estructuras que existen en el sitio; y C tiene en cuenta los costos en la reparación de los daños.

Del producto de esta ecuación se puede deducir que un alto riesgo sísmico no depende solo de la ubicación geográfica de las ciudades sino de la acción decisiva que lleven a cabo los profesionales de la construcción al reducir la vulnerabilidad sísmica en las edificaciones, lográndose así la disminución de grandes pérdidas humanas y materiales.

### **Construcción de ciudades sostenibles**

Las ciudades actuales están en constante mutación y para poder caracterizarlas como sostenibles se requiere la mirada confluyente de varias disciplinas.

Ser sostenible implica satisfacer las necesidades de la sociedad actual sin comprometer a las generaciones futuras garantizando un equilibrio entre las variables económicas, sociales, culturales y medioambientales (Fernández y Gutiérrez, 2013).

Por lo tanto, para lograr ciudades sostenibles, es imprescindible el diseño y construcción de arquitecturas sostenibles incorporando medidas que disminuyan los grandes consumos de energía y la necesidad de emplear responsablemente recursos materiales no renovables que se utilizan en dicha industria.

Esto es más visible para algunas tipologías arquitectónicas, como los edificios de vivienda, al alinearse con la necesidad de diseñar ciudades densas que eviten la gran extensión de redes de servicios y disminuyan las distancias requeridas para el traslado de las personas con la consecuencia de mayores emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera proyectado en el

tiempo.

Los sistemas de certificación tienen en cuenta todas estas cuestiones ya que, en sus orígenes si bien reparaban solo en el uso y naturaleza de los recursos, los más actuales, aunque siguen utilizando los mecanismos de aprobación de sus antecesores, tienen por objetivo alcanzar estilos de vida más sostenibles (Álvarez y Buigues Nollens, 2018).

En Argentina el desarrollo sostenible para la construcción de un edificio se encuentra regulado por las normas IRAM (Instituto Argentino de Normalización y Certificación) y carece hasta el momento de un método o sistema de certificación y de la obligatoriedad de reportar o hacer público su desempeño. Las normas relacionadas con esta temática son:

- IRAM 11930. Construcción sostenible. Principios generales: identifica y establece principios generales para la sostenibilidad en la construcción de edificios (equivalente a la ISO 15392 – 2008).
- IRAM 11931. Construcción sostenible. Sostenibilidad en edificios y obras de ingeniería civil. Guía de aplicación de los principios generales de la IRAM 11930.

Estas normas incorporan el ACV o análisis del ciclo de vida de los edificios. El ACV considera el impacto ambiental que se produce durante el proceso de diseño, a lo largo de toda la vida útil del edificio e incluso al final de su periodo de servicio, evaluando las posibilidades de reuso o bien las de reutilización o reciclaje de los materiales en el momento de su deconstrucción.

Al ser este un método estandarizado, crea referencias comunes entre los diferentes productos de una edificación para poder comparar el impacto ambiental de distintas alternativas y elegir la mejor opción.

### **Los estándares para el diseño estructural**

En el reglamento INPRES-CIRSOC 103<sup>1</sup>, vigente en nuestro país desde el año 2018, se define la regularidad estructural como parámetro para el diseño de los esqueletos, de tal forma de garantizar su confiabilidad en la predicción de la respuesta de las construcciones ante excitaciones sísmicas. Esta constituye, por lo tanto, una herramienta fundamental para el diseñador y constructor ya que, asegura periodos de vida útil para las construcciones superiores a los 50 años, una debida confiabilidad estructural en función de las demandas sociales y económicas de sus habitantes y reducir la vulnerabilidad sísmica en la construcción de la ciudad.

Como estrategias para cumplir con los requisitos de regularidad en planta se especifican (Figura 1):

- a) Proponer sistemas torsionalmente regulares,
- b) Plantear la continuidad de los elementos resistentes en toda la altura del edificio,
- c) Proponer elementos resistentes ortogonales y doblemente simétricos.

Entre las estrategias de diseño para cumplir con los requisitos de regularidad en altura se mencionan (Figura 2):

- a) Proponer una regularidad en las rigideces de los niveles sucesivos,
- b) Diseñar una regularidad de masas en los niveles sucesivos,
- c) Plantear esquemas con regularidades geométricas o regulares en sus dimensiones horizontales.

---

#### **Referencias**

<sup>1</sup>Reglamento argentino para construcciones sismorresistentes elaborado por el Instituto Nacional de Prevención Sísmica junto al Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles del Instituto Nacional de Tecnología Industrial.

- d) Plantear una configuración vertical de los elementos resistentes continuos en toda la altura y uniformes o con dimensiones crecientes de arriba hacia abajo,
- e) Presentar propuestas regulares en su resistencia lateral o del esfuerzo de corte.

Incorpora, además, un mapa de zonificación sísmica donde el territorio argentino es dividido en cinco zonas según la peligrosidad sísmica que exista en cada una de ellas (Figura 3). Estas estrategias o recursos de diseño, por lo tanto, son cada vez más estrictas según el lugar que se trate.

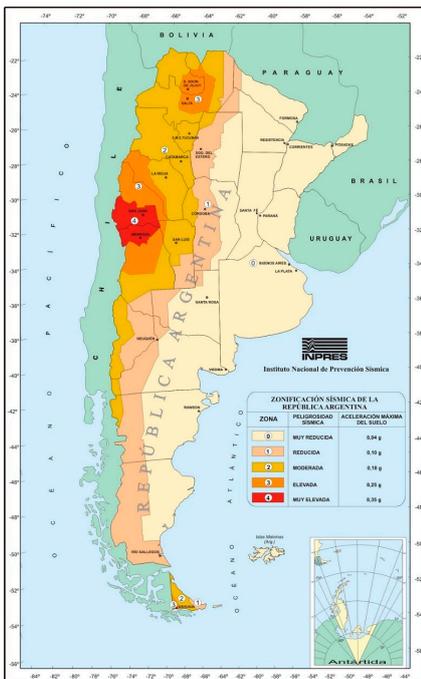


Figura 3: Zonificación sísmica de la República Argentina  
Fuente: INPRES-CIRSOC 103 Parte 1

### Seguridad y regularidad estructural pero también economía

Con el objetivo de visibilizar en los diseños estructurales la incidencia de la regularidad estructural en el desarrollo de proyectos arquitectónicos sostenibles, este equipo de investigación interdisciplinario, integrado por arquitectas e ingenieras, y en el marco del proyecto

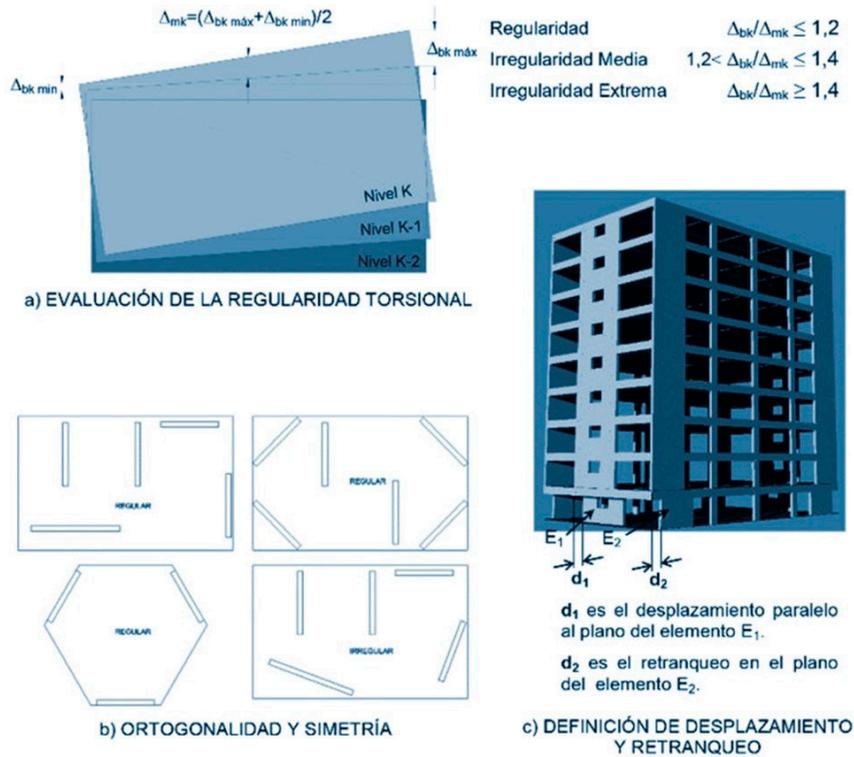


Figura 1: Criterios para cualificar la regularidad en planta de una construcción  
Fuente: Comentarios capítulo 2 del reglamento INPRES-CIRSOC 103

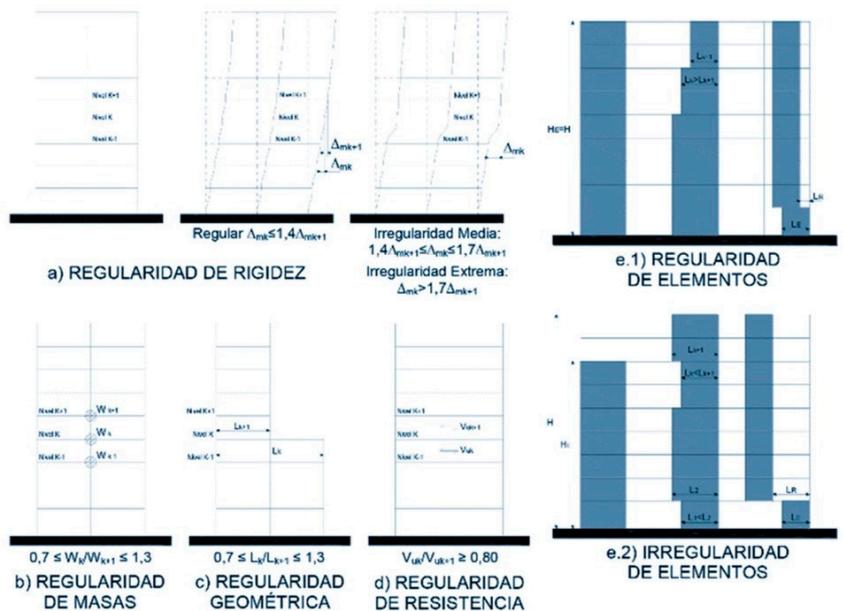


Figura 2: Criterios para cualificar la regularidad en altura de una construcción  
Fuente: Comentarios capítulo 2 del reglamento INPRES-CIRSOC 103

“Regularidad estructural como recurso para un diseño sostenible” que integra el Taller de Investigación de Diseño Estructural de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad Nacional de Córdoba, llevamos a cabo la siguiente metodología de análisis.

A partir de la búsqueda de edificios

de mediana altura (hasta 15 pisos), de hormigón armado, para vivienda, recientemente construidos en el territorio argentino y con un diseño estructural visiblemente irregular (edificio en esquina), se procedió a la optimización de dicho diseño hasta encuadrarlo en los estándares fijados en el reglamento de regularidad estructural y proceder a la comparación del volumen de

material requerido en cada caso (Figuras 4 y 5).

Con la optimización del diseño del esqueleto resistente se logró reducir el consumo de hormigón armado de 777 toneladas o 324 metros cúbicos con respecto a los 888 toneladas o 370 metros cúbicos de la propuesta original. Si bien no se evaluaron las cuantías requeridas para los diferentes elementos estructurales componentes en esta etapa de la investigación, sí es posible intuir que, al disminuirse considerablemente las rotaciones en planta para las acciones sísmicas, los elementos estructurales más demandados por la configuración del edificio, tendrán un comportamiento mucho más eficiente frente a la misma demanda de acciones gravitatorias, resultando por lo tanto menores cuantías y una mayor facilidad constructiva.



Figura 4: Propuesta original relevada. Estructura irregular en planta y en altura  
Fuente: Elaboración propia

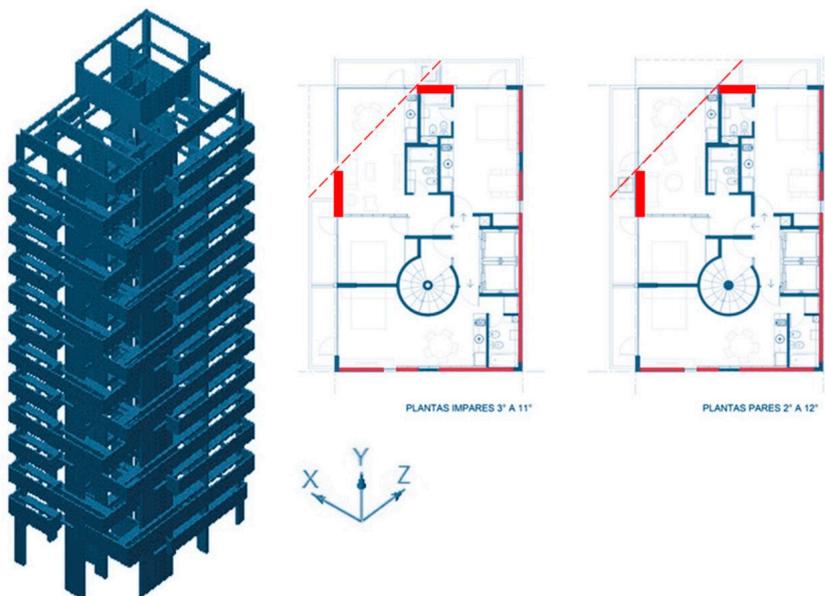


Figura 5: Propuesta optimizada. Estructura regular en planta y en altura  
Fuente: Elaboración propia

## Conclusiones

Una ciudad sostenible es aquella que garantiza el confort de sus habitantes no solo con normativas que tengan por objetivo una buena administración de los recursos renovables y no renovables disponibles, sino también, aquella que brinda menores costos para la construcción de sus viviendas sin afectar su seguridad. Garantizar un mejor desempeño en las edificaciones no implica más consumo de materiales para la construcción de sus esqueletos y esto adquiere mayor importancia cuando nos referimos a la necesidad de construir con grandes densidades de ocupación utilizando, para ello, materiales no renovables que consumen grandes cantidades de energía durante su producción.

Una estructura bien diseñada y bien construida permite más flexibilidad arquitectónica, mayor durabilidad, menores mantenimientos, menor consumo de materiales, mayor rapidez constructiva y constituye un recurso de protección pasivo frente a la acción de los terremotos que debiera exigir el Estado a los profesionales del rubro.

## Bibliografía

- Álvarez, A. y Buigues Nollens, A. (2018). Caracterización y diagnóstico de metodologías internacionales y normas IRAM para la evaluación ambiental edilicia de la vivienda: análisis dirigido a la contextualización regional para zonas áridas de Argentina. *Revista Hábitat Sustentable* 8(1),42-53. ISSN 0719 - 0700. Recuperado de: <https://doi.org/10.22320/07190700.2018.08.01.04>
- Barrios Corpa, J. y Santos Olalla, F. (2012) El proyecto de estructura en los sistemas de certificación sostenible de edificios. Málaga: 7º congreso Aula Greencities.
- Benito Oterino, B. (2013) Geología, terremotos y riesgo sísmico: Avances y perspectivas. Universidad Autónoma de Madrid. Fundación General. Encuentros multidisciplinares 45. ISSN: 1139-9325
- Fernández, L; Gutiérrez, M. (2013) Bienestar Social, Económico y Ambiental para las Presentes y Futuras Generaciones. *Información Tecnológica* 24(2), 121-130. ISSN 0718-0764
- Fraga, J. M. (2017) Nuevo modelo de evaluación de la sostenibilidad de estructuras de hormigón (Tesis de doctorado) Universidad da Coruña. Recuperado de <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/19931>.
- IHOBÉ, sociedad pública de gestión ambiental, Editor (2010) Green building rating systems: ¿Cómo evaluar la sostenibilidad en la edificación? Recuperado de <https://www.ihobe.eu-s/publicaciones/green-building-rating-systems-como-evaluar-sostenibilidad-en-edificacion>

- INPRES CIRSOC 103 (2018) Reglamento Argentino para construcciones sismorresistentes. Parte I: Construcciones en general. Reglamento y comentarios. Recuperado de <http://www.inti.gob.ar/cirsoc/>
- Prados, S. (2018). Uso del hormigón armado en edificios de vivienda de la última década en Argentina y su relación con la confiabilidad estructural (Trabajo final de Especialidad) Córdoba: FAUD-UNC. Recuperado de <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/8899>
- Prados, S., Cardellino, A. (2020). Diseño estructural sostenible en Hormigón Armado. Libro: Ambiente, tecnología y diseño sustentable: las preexistencias ambientales y su impacto en la calidad de vida, el confort y la eficiencia energética. Cap. 9 (pp. 118-129) Córdoba: FAUD-UNC.
- Prados, S.; Cardellino, A. (2020). Diseño estructural sostenible en Hormigón Armado. Libro: VIII Jornadas de Investigación y II Jornadas de Investigación de Becarios y Doctorandos Encuentro y Reflexión: investigación + transferencia + desarrollo. (pp. 133-141). Córdoba: FAUD-UNC. Recuperado de <https://rdu.unc.edu.ar/handle/11086/15566>
- Sgrelli, E. (2017) Hormigón sostenible en Argentina. Estado del arte y buenas prácticas. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Consejo Profesional de Ingeniería Civil. ISBN: 978-987-95422-7-9
- Universidad Nacional de Huancavelica. Facultad de Ciencias de Ingeniería. Escuela profesional de Ingeniería Civil – HCVA (2019). Criterios y Filosofía del Diseño Sísmico. (1-9) Recuperado de <https://fliphtml5.com/gkha/qdga/basic>.