



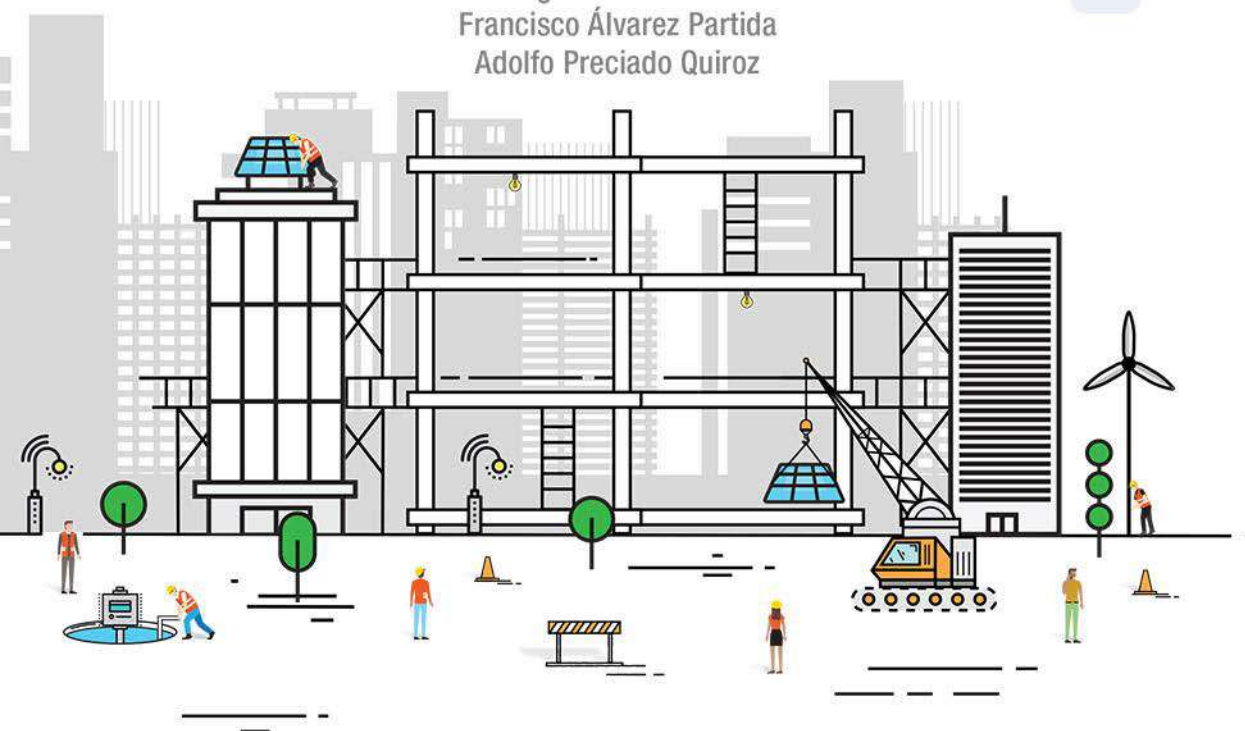
◆ Colección: Hábitat sustentable contemporáneo ◆

SUSTENTABILIDAD Y TECNOLOGÍA

HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN SEGURA
Y EFICIENTE DEL HÁBITAT

Coordinadores:

Mara Alejandra Cortés Lara
Rodrigo Flores Elizondo
Francisco Álvarez Partida
Adolfo Preciado Quiroz

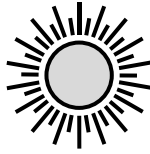


ITESO, Universidad
Jesuita de Guadalajara

◆ Colección: Hábitat sustentable contemporáneo ◆

SUSTENTABILIDAD Y TECNOLOGÍA

HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN SEGURA
Y EFICIENTE DEL HÁBITAT



◆ Colección: Hábitat sustentable contemporáneo ◆

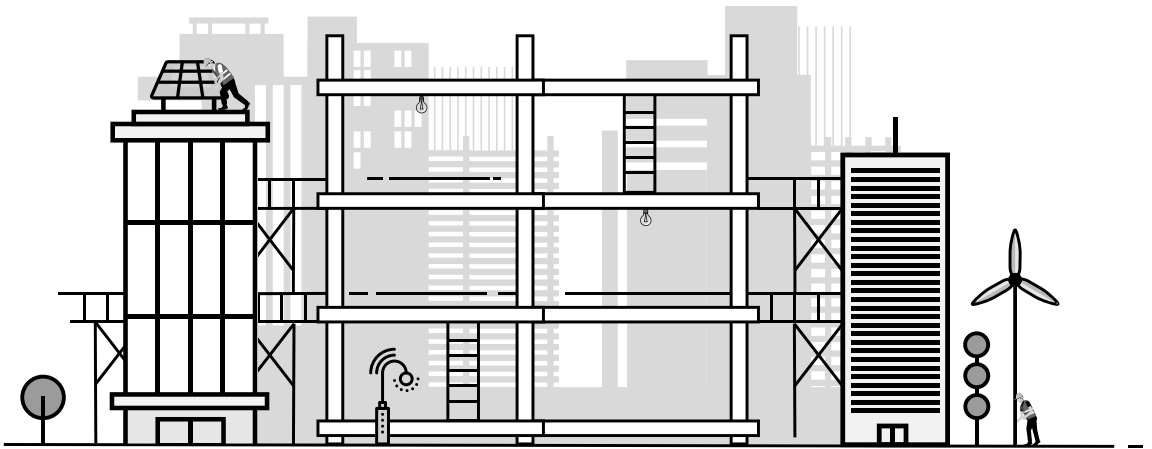
SUSTENTABILIDAD Y TECNOLOGÍA

HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN SEGURA Y EFICIENTE DEL HÁBITAT

Coordinadores:

Mara Alejandra Cortés Lara
Rodrigo Flores Elizondo
Francisco Álvarez Partida
Adolfo Preciado Quiroz

VOLUMEN 2



ITESO, Universidad
Jesuita de Guadalajara



INNOVACIÓN



UNESCO
Organización
de las Naciones Unidas
para la Educación,
la Ciencia y la Cultura



ITESO Universidad
Jesuita de Guadalajara

60
años

Cátedra UNESCO-ITESO
en Gestión del Hábitat y Desarrollo
Socialmente Sustentable

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE OCCIDENTE
Biblioteca Dr. Jorge Villalobos Padilla, SJ

Congreso Internacional sobre Sustentabilidad en los Hábitats (1º : 2016 : ITESO)

Sustentabilidad y tecnología : herramientas para la gestión segura y eficiente del hábitat /
Coord. de M.A. Cortés Lara... [et al.] ; introd. de M.A. Cortés Lara, R. Flores Elizondo.-- Guadalajara,
México : ITESO, 2018.

202 p. (Hábitat Sustentable Contemporáneo)

ISBN 978-607-8528-85-1 (Ebook PDF)

ISBN de la colección 978-607-8528-77-6 (Ebook PDF)

1. Redes Sociales – Cosenza, Italia. 2. Hundimientos de Tierra – Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco. 3. Vivienda – Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco. 4. Vulnerabilidad Social – Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco. 5. Desechos – Torreón, Coahuila. 6. Contaminantes Ambientales – Torreón, Coahuila. 7. Agua de Lluvia – Administración. 8. Recursos Naturales – Administración. 9. Sistema de Drenaje y Alcantarillado. 10. Infraestructura Urbana. 11. Valoración Patrimonial e Histórica. 12. Construcción Antisísmica. 13. Universidades – Lejona, España. 14. Zonas Urbanas. 15. Energía Solar y Arquitectura – Cali, Colombia – Concursos. 16. Ecodiseño. 17. Desarrollo Sustentable – Aspectos Tecnológicos. 18. Desarrollo Sustentable – Congresos – Tema Principal. 19. Desarrollo Urbano – Tema Principal. 20. Urbanismo. I. Cortés Lara, Mara Alejandra (coordinación). II. Flores Elizondo, Rodrigo (introducción). III. t.

[LC]

711. 4 [Dewey]

Comité editorial de la colección:

Mtro. Francisco Álvarez Partida

Dr. Raúl Díaz Padilla

Dr. Rodrigo Flores Elizondo

Arq. Carlos Petersen Farah

Dr. Adolfo Preciado Quiroz

Dr. Daniel Enrique Sardo

Dra. Mara Alejandra Cortés Lara (coordinadora)

Diseño original: Danilo Design

Diseño de portada: Héctor Alberto Medina Velázquez / Despacho Integral de Diseño ITESO

Diagramación: Rocío Calderón Prado

Este libro es producto del proyecto “Publicación especializada: Construyendo el hábitat sustentable contemporáneo” según convenio 5413-2017, financiado por COECYTJAL.

La presentación y disposición de *Sustentabilidad y tecnología. Herramientas para la gestión segura y eficiente del hábitat* son propiedad del editor. Aparte de los usos legales relacionados con la investigación, el estudio privado, la crítica o la reseña, esta publicación no puede ser reproducida, ni en todo ni en parte, en español o cualquier otro idioma, ni registrada en o transmitida por un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, sea mecánico, fotoquímico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia, o cualquier otro, inventado o por inventar, sin el permiso expreso, previo y por escrito del editor.

1a. edición, Guadalajara, 2018.

DR © Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO)

Periférico Sur Manuel Gómez Morán 8585, Col. ITESO,

Tlaquepaque, Jalisco, México, CP 45604.

www.publicaciones.iteso.mx

ISBN 978-607-8528-85-1 (Ebook PDF)

ISBN de la colección 978-607-8528-77-6 (Ebook PDF)

Índice

INTRODUCCIÓN /
Mara Alejandra Cortés Lara y Rodrigo Flores-Elizondo **7**

I. RETOS EN EL MANEJO SUSTENTABLE DE LOS RECURSOS NATURALES

ALERTA TEMPRANA DE SUBSIDENCIA DESDE INDICIOS
SOCIOECONÓMICOS, GEOLÓGICOS Y DE VIVIENDA VULNERABLE
EN TLAJOMULCO, JALISCO /
Adolfo Preciado Quiroz y Rodrigo Flores-Elizondo **13**

CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DE SITIOS CONTAMINADOS
EN LA ZONA URBANA DE LA CIUDAD DE TORREÓN, COAHUILA /
*Andrea Iante Juárez Ramírez, Raúl Flores Chávez,
Juan Gualberto Antonio Pérez y José Antonio Martínez Villalba* **35**

HIDROLOGÍA URBANA CON CRITERIOS DE SUSTENTABILIDAD /
Alfredo Urías Angulo y Francisco Álvarez Partida **65**

II. TECNOLOGÍA PARA LA EDIFICACIÓN SUSTENTABLE

DE REDES INTELIGENTES A COMUNIDADES INTELIGENTES:
LA EVOLUCIÓN DE LAS REDES PARA UNA NUEVA INFRAESTRUCTURA
SOCIAL / *Pierfrancesco Celani, Erminia d'Alessandro
y Roberta Falcone* **91**

APRENDER HACIENDO: LA EXPERIENCIA DE APRENDIZAJE EN CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE DEL SOLAR DECATHLON / <i>Iván Osuna Motta</i>	119
INNOVACIONES EN EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LA REHABILITACIÓN DE EDIFICIOS ADMINISTRATIVOS / <i>Luis Alfonso del Portillo, Jon Terés-Zubiaga, Aitor Erkoreka, Koldobika Martín, Jon Torres Lozano, Iván Flores Abascal y Xabier Aparicio</i>	145
INGENIERÍA ESTRUCTURAL SENSIBILIZADA ANTE RIESGOS NATURALES APLICADA A LA PROTECCIÓN DEL PATRIMONIO HISTÓRICO / <i>Adolfo Preciado Quiroz, Ósmar Rodríguez Hurtado, Nayar Gutiérrez Astudillo y Oscar Leal Rubio</i>	173
ACERCA DE LOS AUTORES	195

Introducción

MARA ALEJANDRA CORTÉS LARA
RODRIGO FLORES-ELIZONDO

La sustentabilidad ha logrado establecerse como el paradigma del desarrollo más allá de que, como concepto, puede estar aún en debate, acorde a diferentes posturas de pensamiento. Desde hace ya varios lustros, la sustentabilidad, es la base de las políticas y acciones para la preservación ambiental, el cuidado del patrimonio e incluso de la prevención y alternativas de las ciudades ante los riesgos frente al cambio climático. También es cierto que, a una generación de su propuesta como modelo de desarrollo para reorientar el crecimiento global por la Comisión Brundland, no se han logrado sus mejores promesas; los hábitats naturales retroceden y se llevan los servicios ecosistémicos en los que la humanidad soporta su calidad de vida. La vulnerabilidad crece, sin embargo, la humanidad reacciona.

La sustentabilidad evoluciona como concepto y transforma los mercados, las políticas públicas, las disciplinas académicas. Las mejores mentes del planeta se orientan a resolver problemáticas cada vez más complejas y han consolidado pequeños núcleos de influencia que combaten, con acciones innovadoras, las viejas formas de hacer las cosas.

Es innegable que, en esta evolución del paradigma de la sustentabilidad actual, se considere a la tecnología como uno de los grandes aliados y el recurso que facilita el hábitat del siglo XXI. Lejos está la visión en la que la tecnología era la fuente de los problemas del ambiente, y ahora se incorpora a este desarrollo como un aliado para combatir

los efectos negativos de la negligencia que, como especie, tuvimos con el ambiente durante décadas.

Con la claridad de que los escenarios, sobre los que hay que imaginar e implementar la sustentabilidad, son variados, se construye este libro, producto de las ideas y planteamientos más valiosos que el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO), a través del Departamento del Hábitat y Desarrollo Urbano, obtuvo al organizar el primer Congreso Internacional sobre Sustentabilidad en los Hábitats en septiembre de 2016. En este encuentro se dieron cita académicos, urbanistas, desarrolladores de tecnología, autoridades locales, organizaciones civiles y estudiantes de tres continentes (América Latina, Asia y Europa), los cuales trabajaron sobre las líneas de generación y aplicación del conocimiento de los posgrados en sustentabilidad. Dicha labor continuó y maduró posterior al congreso, del que emana este libro, que es parte de una publicación de dos volúmenes.

El contenido de este volumen, titulado *Sustentabilidad y tecnología. Herramientas para la gestión segura y eficiente del hábitat*, incluye textos inéditos que cubren desde las preocupaciones por la vulnerabilidad que se trasmite en diversos ámbitos hasta las infraestructuras para crear ciudades inteligentes y el desarrollo de tecnología apropiada para el hábitat. Responde a tres líneas de generación y aplicación del conocimiento sobre los proyectos sustentables: la infraestructura y equipamientos sustentables, la tecnología apropiada, y la eficiencia en el uso de los recursos naturales y energéticos.

Este volumen se estructuró en dos grandes apartados. El primero se titula “Retos en el manejo sustentable de los recursos naturales”. Plantea una serie de reflexiones sobre las condicionantes del entorno, de las formas de vida actuales y las implicaciones de su manejo sustentable, específicamente considerando la vulnerabilidad de la vivienda por causas hidrogeológicas, los sitios contaminados y la hidrología urbana. El segundo se denomina “Tecnologías para la edificación sustentable” y estructura una serie de discusiones y propuestas para afrontar, mediante los recursos tecnológicos, la sustentabilidad en una variedad de ám-

bitos, que van desde las redes inteligentes, la construcción sostenible de vivienda y la eficiencia energética en edificios, hasta la ingeniería estructural aplicada a la conservación del patrimonio.

El primer apartado de este libro está conformado de tres textos. Abre con “Alerta temprana de subsidencia desde indicios socioeconómicos, geológicos y de vivienda vulnerable en Tlajomulco, Jalisco”. Este texto plantea los riesgos asociados al crecimiento demográfico desproporcionado, considerando que Tlajomulco es un municipio emblemático de este modelo de expansión periférico, que ha imperado por varias décadas. Este crecimiento ha traído, sin duda, una crisis ambiental y cierta vulnerabilidad que los autores, Adolfo Preciado Quiroz y Rodrigo Flores-Elizondo, exploran, señalando el riesgo latente de hundimientos a nivel geológico y estructurales a nivel de vivienda.

El siguiente texto tiene un carácter remedial: “Caracterización ambiental de sitios contaminados en la zona urbana de la Ciudad de Torreón, Coahuila”. Andrea Iante Juárez Ramírez, Raúl Flores Chávez, Juan Gualberto Antonio Pérez y José Antonio Martínez Villalba, de la Universidad Iberoamericana Torreón, proponen un método para analizar estos sitios a fin de llegar a estrategias de remediación más eficientes.

El tercer texto realiza, como principal aportación, una comparativa entre dos proyectos aplicados a un desarrollo habitacional para manejo de áreas pluviales, uno con criterios convencionales y otro desde la perspectiva de la sustentabilidad. Alfredo Urías Angulo y Francisco Álvarez Partida, del iteso, son los autores del trabajo titulado “Hidrología urbana con criterios de sustentabilidad”.

En el segundo apartado, orientado a la tecnología, se hace un énfasis en las mejoras e impactos que esta representa tanto en lo social como en lo ambiental. En el texto titulado “De redes inteligentes a comunidades inteligentes: la evolución de las redes para una nueva infraestructura social”, Pierfrancesco Celani, Erminia d’Alessandro y Roberta Falcone establecen una urbe en donde la comunidad es el

actor principal de la inteligencia urbana y que esto va de la mano con la tecnología. En este texto se busca integrar las redes inteligentes energéticas con una compleja infraestructura social.

“Aprender haciendo: La experiencia de aprendizaje en construcción sostenible del Solar Decathlon”, presenta un recuento del proceso que alumnos y profesores desarrollaron para elaborar un prototipo que funciona con energías no convencionales y que sirvió para abordar ciertos puntos de la sustentabilidad energética en las viviendas. Iván Osuna, autor de esta contribución, expone este texto como un instrumento de aprendizaje y experimentación en el campo de la construcción sostenible.

En “Innovaciones en eficiencia energética para la rehabilitación de edificios administrativos”, Luis Alfonso del Portillo y sus colegas de la Universidad del País Vasco, exponen el proyecto en curso A2PBEER, como estrategia para enmarcar los objetivos de la Unión Europea en materia energética a través de un monitoreo y evaluación de los objetivos alcanzados de este proyecto.

El capítulo titulado “Ingeniería estructural sensibilizada ante riesgos naturales aplicada a la protección del patrimonio histórico” cierra esta sección. Adolfo Preciado, Ósmar Rodríguez, Nayar Gutiérrez y Oscar Leal estudian el comportamiento y falla por sismo de edificios históricos de mampostería no reforzada y exploran distintas técnicas para reforzarlos y rehabilitarlos para evitar dañar su carácter patrimonial y el valor arquitectónico y cultural de los mismos.

Esperamos que este esfuerzo académico sea motivante para generar nuevas líneas de trabajo y repensar las soluciones aquí expuestas impulsando el conocimiento sobre la sustentabilidad y su aplicación en los hábitats.

***I. Retos en el manejo sustentable
de los recursos naturales***

Alerta temprana de subsidencia desde indicios socioeconómicos, geológicos y de vivienda vulnerable en Tlajomulco, Jalisco

ADOLFO PRECIADO QUIROZ
RODRIGO FLORES-ELIZONDO

Resumen: *el riesgo de subsidencia por extracción excesiva de agua subterránea es mayor en urbes de crecimiento acelerado. El municipio de Tlajomulco, en el occidente de México, observa uno de los mayores incrementos inmobiliarios desde inicios del siglo XXI. Mezcla edificaciones nuevas con otras de adobe y estructuras de mampostería no reforzada o con confinamiento inadecuado, presentando así una vulnerabilidad alta ante la amenaza por subsidencias y sismos. El artículo busca establecer indicios para señalar el riesgo de hundimiento que pudiera presentarse en la zona. Se discute la posibilidad de establecer una alerta temprana desde dichos indicios.*

Palabras Clave: *gestión del agua, vulnerabilidad hídrica, subsidencias, vulnerabilidad estructural, área metropolitana de Guadalajara.*

Abstract: *The risk of subsidence due to the over-extraction of underground water is greater in rapidly growing cities. The municipality of Tlajomulco, in western Mexico, has undergone one of the fastest rates of real estate development since the turn of the 21st century, with a mix of new constructions alongside others made of adobe and non-reinforced or inadequately confined masonry structures; it is thus highly vulnerable to subsidence and earthquakes. This article seeks to establish*

indicators that will point to the risk of sinking that could occur in the area. The possibility of setting up an early-warning system based on these indicators is discussed.

Keywords: *water management; hydrological vulnerability, structural vulnerability, metropolitan area of Guadalajara.*

El crecimiento de las ciudades va enfrentando diversos retos. Uno milenario es el abasto suficiente de agua para el servicio de la población. Grandes centros urbanos del mundo se han desarrollado cerca de ríos y lagos, y en algún momento de su historia han tenido que enfrentar los límites del territorio para satisfacer su demanda (Melville, 1996; Aboites, 1998; Castro, 2006). Otro reto urbano, no menor, es el poder edificar en un terreno firme. Como apuntan Xavier Font, José Serra y Víctor Pinto (1996), los riesgos geológicos se componen de la probabilidad de que sucedan y del daño que pueden causar.

La probabilidad de un hundimiento de tierra tiene que ver con dinámicas geológicas naturales que pueden modificarse por conductas antropogénicas. Una acelerada urbanización es una de estas conductas. Dicho dinamismo humano también aumenta la posibilidad de daño por subsidencia dada la creciente cantidad de edificaciones expuestas. Así, tendría que contarse con un sistema que evaluara el riesgo en que se está incurriendo a fin de moderar o encausar las conductas inicuas y remediar cuando sea posible. Sin embargo, las autoridades municipales suelen ver el crecimiento urbano con buenos ojos y solo actúan cuando los hundimientos son evidentes. Es, por tanto, importante contar con sistemas de alarma temprana basados en indicios.

Como los mismos Font, Serra y Pinto (1996) acusan, un adecuado sistema de monitoreo pudiera ser muy costoso, por lo que es poco utilizado fuera de puntos específicos de gran interés. Ciudades medias de Jalisco como Ciudad Guzmán (Brunori, Bignami, Albano, Zucca, Samsonov, Gropelli, Norini, Saroli & Stramondo, 2015) o Jocotepec (Leal,

2017) comienzan a registrar subsidencia. En el caso de esta última, el fenómeno abarca una veintena de manzanas en su punto más agudo. Por tanto, es necesario pensar métodos de alerta temprana prácticos y asequibles que puedan atender grandes extensiones urbanas en las que pudiera no haber sitios de particular interés. En el presente artículo se explora un método basado en indicios que permite orientar la mirada de forma estratégica.

En este texto se explorarán tres tipos de indicios que podrían orientar las prevenciones sobre riesgo de subsidencia: los socioeconómicos (crecimiento urbano acelerado, gestión deficiente del agua subterránea y cambios de uso de suelo); los geológicos (tipos de suelo), y los estructurales (edificaciones sensibles). Entre los últimos, se trataría de identificar los primeros indicios de hundimiento en las edificaciones más sensibles disponibles. Las de adobe y estructuras de mampostería no reforzada o con confinamiento inadecuado son un buen ejemplo. Un examen experto y sistemático de este tipo de estructuras puede funcionar como sistema de alerta temprana justo en el punto en que los ayuntamientos pueden tomar cartas en el asunto y antes de que el fenómeno avance y los daños sean mayores.

El caso de estudio se ubica en el municipio de Tlajomulco, municipio conurbado de Guadalajara, Jalisco, el cual ha registrado un crecimiento acelerado en las últimas décadas del siglo XX y las primeras del XXI. Basa su abasto de agua totalmente en fuentes subterráneas y tiene un interesante núcleo de construcciones de mampostería en su cabecera municipal que puede funcionar como base para el indicio estructural. En las conclusiones se discute la utilidad de esta propuesta y se agregan previsiones de reparación funcional una vez que el hundimiento se presente en sus inicios.

INDICIOS SOCIOECONÓMICOS EN TLAJOMULCO: CRECIMIENTO Y AGUA SUBTERRÁNEA

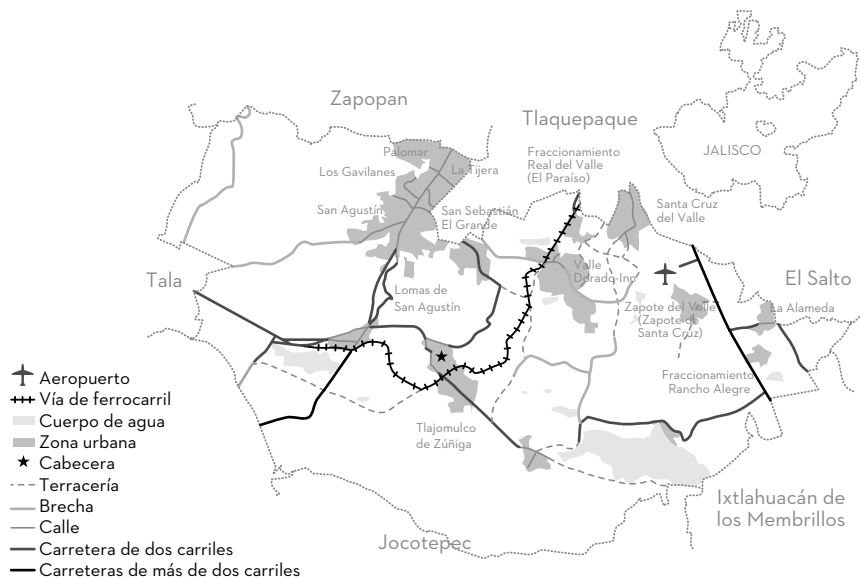
Tlajomulco de Zúñiga es un municipio de la región centro de Jalisco de 682 km² (IEEG, 2016).¹ Se ubica al sur y sur poniente de la ciudad de Guadalajara, cuya mancha urbana se comenzó a compartir desde hace tres décadas. La cabecera municipal aún se mantiene no conurbada a la ciudad; lo mismo que otros tres centros de población relativamente mayores, y una gran variedad de medianos y menores (véase el mapa en la figura 1.1). Su población para 2015 se estimó en 549 mil habitantes (IEEG, 2016). En el conjunto del área metropolitana de Guadalajara (AMG), es el cuarto después de Guadalajara, Zapopan y Tlaquepaque. Pero es el primero en tasa de crecimiento: tenía 123 mil habitantes en 2000; 220 mil en 2005 y 416 mil en 2010 (Uribe, 2016).

En cuanto a la gestión del agua relacionada con este municipio, vale la pena traer a cuentas el estudio de Heliodoro Ochoa (2012), para el que no solo se revisó el conjunto de concesiones de agua subterránea para los diversos usos en ese territorio sino que se indagaron los costos de aumentar las coberturas de abasto y drenaje a la velocidad que crece la población en Tlajomulco. Ya que se trata de una zona en veda, no se pueden autorizar nuevas concesiones. Lo que se hace es adquirir los derechos de extracción desde otro usuario cuya prelatura de uso de agua sea menor según la Ley de Aguas Nacionales (Comisión Nacional del Agua, 2014).

Para el caso de uso público urbano, prácticamente toda concesión de otro tipo de uso está disponible. En Tlajomulco, en 2010, cerca de 15% del agua concesionada era ya para ese uso. El triple de esa can-

1. Según el Programa de Ordenamiento Ecológico Local (POEL) del Municipio de Tlajomulco (Chavez, 2010), la extensión territorial varía según la autoridad y el documento que se atienda. La extensión mínima es de 673 km² y la máxima registrada es de 763 km² con la suma de todas las envolventes. A pesar de esta aclaración, el POEL abarca 769.5 km² en su estudio de cambios de uso de suelo (véase la tabla 1.1).

FIGURA 1.1 UBICACIÓN DE ZONAS URBANAS, CUERPOS DE AGUA Y VIALIDADES EN TLAJOMULCO, MÉXICO



Fuente: Inegi (2010b).

tividad estaba bajo concesión agrícola. Así, por transmisión de títulos, el mecanismo parece viable por varios años a medida que el uso de suelo cambia. Sin embargo, como se adelantó, los acuíferos sobre los que se asienta el territorio ya están sobreexplotados (acusan un déficit conjunto de 87 hm³ / año, DOF, 2015).² El cambio de uso de suelo, por su parte, también abona al aumento del riesgo de subsidencia.

2. El Instituto de Información Estadística y Geográfica (INEGI, 2016) se apoya en el Índice Municipal de Medio Ambiente para afirmar que está asentado sobre un acuífero no sobre explotado. Esto es correcto solo parcialmente pues la Comisión Nacional del Agua publicó en el Diario Oficial de la Federación (DOF, 2015) que, de los tres acuíferos que toca el territorio, la disponibilidad es de 0.8 hm³ / año para el 1450, San Isidro y de déficit de 72.3 hm³ / año para el 1402, Toluquilla y de 15.3 hm³ / año para el 1403, Cajititlán. Los últimos dos son los predominantes en el territorio.

CAMBIOS DE USO DE SUELO

Según el Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de Tlajomulco (Chávez, 2010), se trata de un municipio con amplias áreas verdes que incluyen algunas con estatus de área natural de protección (ANP), como es el caso de una parte del ANP Bosque La Primavera y la totalidad del ANP de Cerro Viejo (la primera aporta unas cuatro mil hectáreas de ecosistemas terrestres naturales primarios y la segunda, nueve mil). Tiene varios cuerpos de agua, incluida la laguna de Cajititlán (segundo cuerpo de agua de Jalisco) de 1,700 hectáreas de embalse.

La actividad económica predominante, en cuanto a extensión territorial, sigue siendo la agrícola (una cuarta parte del territorio), a pesar de que en las últimas décadas ha ido retrocediendo, al igual que los hábitats naturales, para dejar sitio a los espacios urbanos. La tabla 1.1 evidencia esta dinámica, pero también permite matizar; la agricultura de temporal crece entre 1990 y 2008, en tanto que la de riego decrece entre 1973 y 2008. Por tanto, es posible leer aquí no solo el cambio de uso de suelo sino también de uso de agua, de agrícola a urbano.

Siguiendo con el Programa de Ordenamiento Ecológico Local del Municipio de Tlajomulco (Chávez, 2010), fuente de la tabla 1.1, se observa que los hábitats naturales (incluyen ecosistemas acuáticos, bosques templados y bosques tropicales) prácticamente no perdieron terreno entre 1973 y 1990, pero lo hicieron con rapidez los siguientes dieciocho años. En cambio, los hábitats inducidos (incluyen vegetación sabanoides, matorral subtropical y pastizal inducido) han retrocedido en ambos periodos, aunque a una velocidad menor.

Este mismo documento detalla cómo la región tiene un elevado potencial de evo-transpiración en relación con la precipitación promedio mensual. Lo cual lleva a que solo durante los meses de julio a septiembre es esperable infiltración de agua subterránea. Dado que esta infiltración era apoyada en bordos que retenían cuerpos de agua perenes (385 embalses, 634 ha, 26 hm³, en el año 2000; 53% perdidos en la primera década del siglo XXI) y de represas (nueve presas, 1,316 ha en

TABLA 1.1 CAMBIOS DE USOS DE SUELO ENTRE 1973 Y 2008 EN TLAJOMULCO, MÉXICO

Clase o agrupación por tipo de ecosistema	Superficies (ha)			Porcentajes del total municipal				
	1973	1990	2008	1973	2008	1973 a 1990	1990 a 2008	Cambio 1973 a 2008
Total de hábitat natural	26,569.2	26,556.2	21,594.0	34.5%	28.1%	0.0%	-18.7%	-18.7%
Total de hábitat inducido	27,264.4	24,831.5	24,546.0	35.4%	31.9%	-8.9%	-1.1%	-10.0%
Hábitat artificial								
Agricultura de temporal	12,109.1	9,348.7	15,198.1	15.7%	19.8%	-22.8%	62.6%	25.5%
Agricultura de riego / de humedad	2,357.0	1,540.4	1,287.0	3.1%	1.7%	-34.6%	-16.5%	-45.4%
Áreas sin vegetación aparente	8,351.7	13,503.6	7,963.1	10.9%	10.3%	61.7%	-41.0%	-4.7%
Urbanizado	298.4	1169.3	6147.7	0.4%	8.0%	291.9%	425.8%	1960.2%
Total de hábitat artificial	23,116.2	25,562.0	30,595.9	30.0%	39.8%	10.6%	19.7%	32.4%
Totales	76,950	76,950	76,950	100.0%	100.0%			

Fuente: elaboración propia con base en Chávez (2010).

el año 2000; 37% pérdidas hacia el año 2010), la paulatina desaparición de estos es otro factor de pérdida en la infiltración y de aumento en la vulnerabilidad hídrica y estructural.

Como parte de los riesgos detectados en el municipio, se establece una dinámica anual de inundaciones que se prevé aumente debido a la urbanización y modificación de represas, drenajes y cuencas naturales. Las dinámicas socioeconómicas y socioterritoriales son retomadas por el gobierno municipal de Tlajomulco en su Plan Municipal de Desarrollo 2015–2018. En su diagnóstico, la problemática del agua, ya

sea como abasto o como drenaje, es la primera o la segunda en las tres regiones en que divide al territorio. El ayuntamiento, como medida de respuesta, lanza un plan que denomina de Manejo Integrado de Agua. Sin embargo, se trata del tradicional aumento de ofertas de agua y drenaje a través de infraestructura, sin estudio alguno del estado de los acuíferos (el que lleva a cabo de oficio la Comisión Nacional del Agua es insuficiente, Peñuela–Arévalo, 2012) tanto en cantidad como en calidad, ni de la estructura geológica de la zona, a fin de prevenir asentamientos.

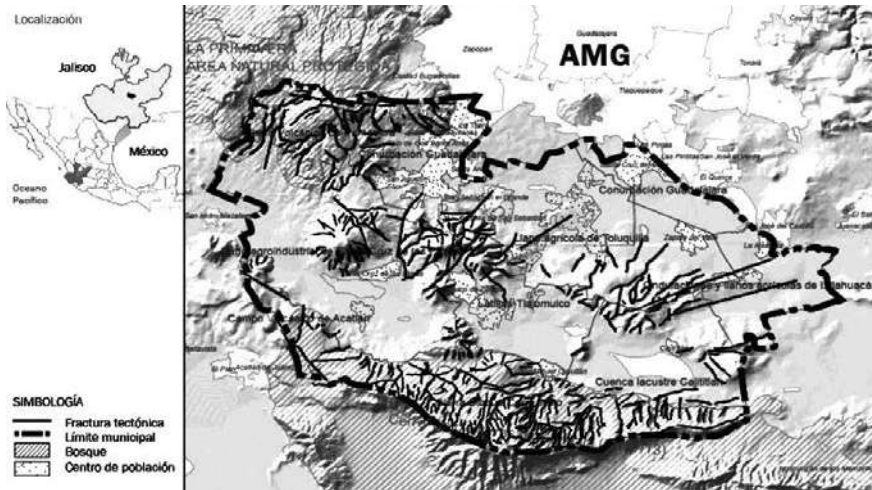
El municipio de Tlajomulco registra, entonces, las condiciones socioeconómicas que lo hacen susceptible de sufrir hundimientos que dañen sus estructuras urbanas. Toca ahora examinar las condiciones geológicas del territorio.

INDICIOS GEOLÓGICOS

En una revisión de literatura, relativamente reciente sobre subsidencia en zonas urbanas en el centro y el occidente de México, pueden encontrarse casos en el centro de México en general (Chaussard, Wdowinski, Cabral–Cano & Amelung, 2014), y en particular de Querétaro (Pacheco, Arzate, Rojas, Arroyo, Yutsis & Ochoa, 2006) y Aguascalientes (Martínez, Hernández, Thomas, González, Ortiz, Zermeño & Solis, 2013), y las mencionadas Ciudad Guzmán (Brunori *et al.*, 2015) y Jocotepec (Leal, 2017). En general, los casos reportan correlacionar con extracción de agua subterránea por arriba de la capacidad de recarga calculada para la zona. También se reportan fallas tectónicas previas al fenómeno y tipos de suelo aluviales. El mapa en la figura 1.2 ilustra la ubicación de fallas tectónicas sobre el relieve en el territorio de Tlajomulco.

Estelle Chaussard, Shimon Wdowinski, Enrique Cabral–Cano y Falk Amelung (2014) estudiaron el fenómeno de subsidencia del suelo en el centro de México y encontraron que las principales ciudades que pueden presentar problemas potenciales de este tipo son Puebla, Ciu-

FIGURA 1.2 UBICACIÓN DE ZONAS URBANAS Y SISTEMAS DE FRACTURACIÓN TECTÓNICA EN TLAJOMULCO, MÉXICO



Fuente: elaboración propia con base en Chávez (2010).

dad de México, Guadalajara, Tepic, San Luis Potosí, Morelia, Irapuato, Aguascalientes y León. Otros estudios detallados se han enfocado en ciudades cercanas al llamado Cinturón Volcánico Mexicano (CVM) que se extiende por toda la costa del Pacífico (por ejemplo Garduño-Monroy, Arreygüe-Rocha, Israde-Alcántara & Rodríguez-Torres, 2001; Rojas, Arzate & Arroyo, 2002 y Pacheco *et al.*, 2006).

Paolo Farina, Jorge Alejandro Avila-Olivera, Víctor Hugo Garduño-Monroy y Filippo Catani (2008) estudian este fenómeno en cinco ciudades relativamente cercanas al CVM: Morelia, Celaya, Querétaro, Salamanca y Aguascalientes. Como resultado recomiendan se tome especial atención a los asentamientos diferenciales que están generando estas zonas de subsidencia, principalmente en ciudades con edificios históricos incluidos por la Unesco como Morelia y Querétaro. Además, recomiendan considerar el riesgo potencial en la infraestructura urbana y carretera en las cinco urbes bajo estudio.

En cuanto se refiere al origen de las fallas por subsidencia geológica, estas se relacionan con el efecto que genera la sobreexplotación de acuíferos (Garduño-Monroy *et al.*, 2001 y Rojas *et al.*, 2002). Farina *et al.* (2008) afirman que el movimiento del suelo por subsidencia está primariamente conectado a la consolidación de los sedimentos lacustres y fluviales generados por la extracción de acuíferos, lo que genera un asentamiento lento y continuo a través del tiempo. Sin embargo, estudios recientes desarrollados por Víctor Hugo Garduño-Monroy, Gerardo M. Rodríguez-Torres, Isabel Israde-Alcántara, Eleazar Arreygüe y demás autores (1999) indican que este fenómeno no solo se debe a la sobreexplotación sino que también es resultado de efectos del clima, de las técnicas de explotación (diseño del pozo) y de la respuesta del terreno en la columna de los depósitos fluvio lacustres (Garduño-Monroy *et al.*, 2001).

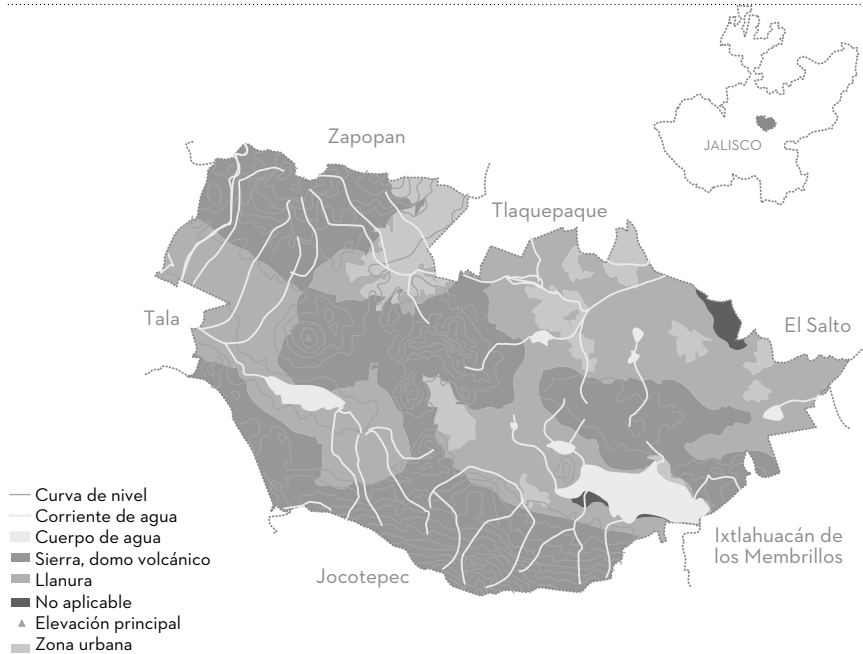
Volviendo al municipio de Tlajomulco de Zúñiga, y de acuerdo al *Compendio de información geógrafa municipal* del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi) (Inegi, 2010b), este territorio se encuentra fisiográficamente en la provincia Eje Neo-volcánico, en las subprovincias Chapala, (en un 90%) y Guadalajara (10%). Los sistemas de topo-formas se distribuyen como sigue: llanura aluvial (47.35%), sierra con laderas de escarpa de falla (26.37%), sierra volcánica de laderas tendidas (12.48%) y domo volcánico (10.73%).³

Sobre la zona urbana, el documento del Inegi detalla:

Las zonas urbanas están creciendo sobre suelos aluviales del Cuaternario y rocas ígneas extrusivas del Cuaternario y Plioceno-Cuaternario, en llanura aluvial, domo volcánico, sierra con laderas de escarpa de falla y sierra volcánica de laderas tendidas; sobre áreas donde originalmente había suelos denominados Phaeozem, Planosol y Vertisol (Inegi, 2010b, p.3).

3. El documento señala que para el 3.07% restante no hay datos.

FIGURA 1.3 RELIEVE DEL MUNICIPIO DE TLAJOMULCO DE ZÚÑIGA



Fuente: Inegi (2010b).

El mapa de la figura 1.3 ilustra la ubicación de este tipo de suelo en el municipio. Llama la atención la ubicación de la cabecera municipal, al centro del territorio y al pie del relieve montañoso por el norte y poniente de la urbe. Hacia el sur y oriente se extiende la llanura aluvial y el crecimiento de la ciudad por lo que antes fue terreno agrícola.

Estos atributos de ubicación y dinámicas antropogénicas hacen de la cabecera municipal de Tlajomulco un lugar indicado para estar atentos a subsidencias. Dado que dicha urbe cuenta con un importante núcleo de edificaciones de adobe y estructuras de mampostería no reforzada o con confinamiento inadecuado, el sitio se vuelve idóneo para desarrollar en él el tercer tipo de indicador, el de las estructuras.

LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DE LA VIVIENDA AUTOCONSTRUIDA EN TLAJOMULCO

Como se mencionó anteriormente, el hábitat construido en el municipio de Tlajomulco está expuesto a sufrir fuertes daños estructurales en caso de presentarse el fenómeno de subsidencia. Aunado a esto, el hábitat construido se encuentra dominado en su mayoría por viviendas, negocios e iglesias con una vulnerabilidad estructural que va de media a muy alta, tomando, como base, estándares de clasificación de estructuras europeas y nacionales (por ejemplo Grünthal, 1998 y Cenapred, 2006).

En el conteo realizado por el Inegi (2010a) se especifica que, para el año 2010, el municipio completo contaba con una totalidad de 101,811 viviendas con todos los servicios. Los principales sistemas constructivos tradicionales que se pueden identificar en el municipio de Tlajomulco son de mampostería no reforzada (o mal confinada) de tabique de barro rojo recocido y *block* de cemento-arena y jalcreto, así como confinada con dalas y castillos y adobe (véase la figura 1.4).

El sistema de techo tradicional es a base de bóveda catalana conformada por ladrillos y perfiles IR como refuerzo (figura 1.4c), losa de concreto maciza (figura 1.4d) y cubierta ligera de teja de barro y madera en las viviendas de adobe (figura 1.4a).

Las iglesias cuentan con una estructura a base de muros de piedra labrada y tabique de barro sin ningún tipo de refuerzo estructural y cubiertas abovedadas y domos pesados del mismo material con la presencia de una o dos torres campanario.

De las tipologías estructurales más comunes en el municipio de Tlajomulco incluidas en la figura 1.4, podemos resaltar a las de adobe (figura 1.4a) como las más susceptibles o vulnerables a sufrir un enorme daño en caso de la ocurrencia del fenómeno de subsidencia.

Las estructuras de adobe se agrietan con gran facilidad debido a la pobre resistencia de este material y a la falta de integridad estructural, además de que pueden llegar a presentar, en un periodo muy corto

FIGURA 1.4 TIPOLOGÍAS ESTRUCTURALES EN TLAJOMULCO



a) Adobe tradicional.



b) Mampostería confinada.



c) No reforzada.



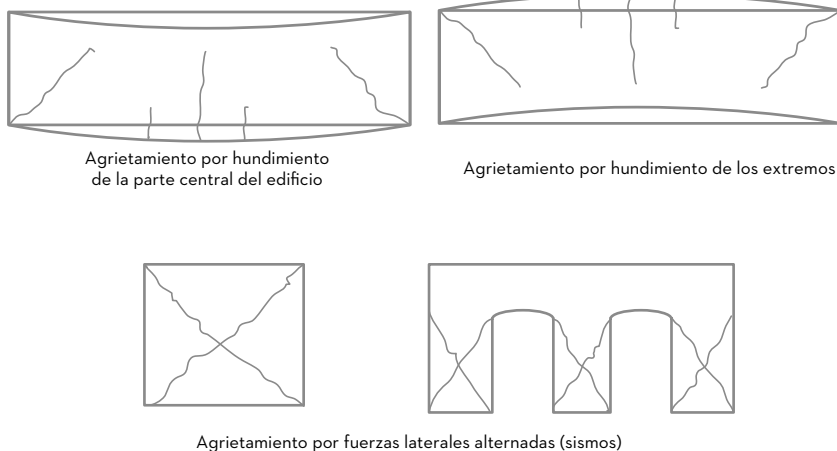
d) Mal confinada.

Fuente: Preciado, Rodríguez, Caro-Becerra & Lujan-Godínez (2015).

de tiempo, un colapso súbito o parcial fuera del plano. Otro aspecto importante que perjudica el comportamiento ante subsidencias es el gran peso de estas estructuras, lo que favorece el que se presenten concentraciones de esfuerzos importantes. Por los aspectos anteriormente mencionados es que a las estructuras de adobe se les cataloga con una vulnerabilidad muy alta.

El mismo comportamiento frágil y colapsos súbitos, similar a las estructuras de adobe, se puede presentar en las de mampostería sin ningún refuerzo (figura 1.4c) y en la mampostería mal confinada o insuficiente como se muestra en la figura 1.4d. Los agrietamientos generados por subsidencia geológica pueden generar desplomes importantes de muros perimetrales con baja carga vertical, es decir, aquellos que

FIGURA 1.5 MECANISMOS DE PROPAGACIÓN DE AGRIETAMIENTOS EN MUROS DE MAMPOSTERÍA Y ADOBE POR SUBSIDENCIAS Y SISMOS



Fuente: Roberto Meli (1998).

soportan su propio peso y cubiertas de lámina ligera de cartón o teja de barro, o inclusive los perimetrales en patios sin ninguna cubierta.

Otro daño muy común por subsidencia es el agrietamiento diagonal en la base de muros (véase la figura 1.5), que se presenta en cualquier tipo de mampostería, ya sea confinada o no confinada. En las de adobe este problema se acentúa aún más. Tanto los desplomes de muros como agrietamientos diagonales pueden ser el disparador de un mecanismo de colapso, como el de inestabilidad o volteo fuera del plano en el caso de desplomes y desprendimiento del resto de la estructura en el caso de agrietamientos diagonales. Las estructuras de mampostería sin refuerzo y con refuerzo inadecuado son producto de la autoconstrucción la cual no sigue ningún reglamento, por consiguiente, su vulnerabilidad estructural es catalogada como alta.

En el caso de las edificaciones de adobe, estas se catalogan con una vulnerabilidad estructural muy alta. Las viviendas autoconstruidas se caracterizan por no seguir ninguna reglamentación, utilizan mate-

riales deficientes, no conocen de comportamiento estructural ni son construidas por medio de un ingeniero o arquitecto. Usualmente, colocan confinamientos ineficientes (sin estar anclados con otros elementos compatibles, distancias excesivas entre ellos, etcétera) y que, lejos de mejorar el comportamiento estructural, agregan masa a la edificación y amplifican la concentración de esfuerzos (véanse las figuras 1.4d y la figura 1.6a–b).

Entre 2014 y 2015, Preciado *et al.* (2015) realizaron una inspección visual y fotográfica del hábitat construido en la cabecera municipal de Tlajomulco, la cual cuenta con todos los tipos de mampostería y adobe vulnerables ante el fenómeno de subsidencia. El objetivo consistió en la identificación de desplomes en muros y la presencia de grietas diagonales en la base de muros (véase la figura 1.5) o deformaciones en calles. Este fenómeno no se identificó en ninguna de las viviendas, solo se observó la presencia de grietas verticales por deficiencia de materiales y falta de confinamientos, así como desplomes en muros como consecuencia de un mal control de obra en la autoconstrucción.

Se pretende realizar nuevas campañas de inspección para identificar si el fenómeno de subsidencia se ha hecho presente en las viviendas localizadas en la cabecera municipal. El hecho de que no se hayan registrado indicadores de este fenómeno no indica que el riesgo sea nulo, ya que las viviendas, en esta localidad, tienen una vulnerabilidad estructural alta y muy alta.

La amenaza de subsidencia está latente, como se comentó en las primeras secciones de este artículo, así como la cercanía a diferentes fallas geológicas. Otro aspecto muy importante que no se abordó, para no confundir al lector con la amenaza generada por subsidencia, es la amenaza por sismo en la zona de subducción en las costas de Colima y Jalisco que puede inducir sismos de gran magnitud y generar daños de dimensiones incalculables debido a la alta vulnerabilidad estructural.

MEDIDAS PREVENTIVAS DE MEJORAMIENTO ESTRUCTURAL EN VIVIENDAS VULNERABLES EN TLAJOMULCO

Si se adiciona a la mampostería simple un refuerzo interno o confinamiento por medio de dalas y castillos de concreto reforzado (véanse las figuras 1.4b y 1.6) siguiendo lo especificado en los reglamentos (por ejemplo NTCDF, 2004) puede ser suficiente para evitar la falla frágil de la vivienda y reducir sustancialmente su vulnerabilidad estructural.

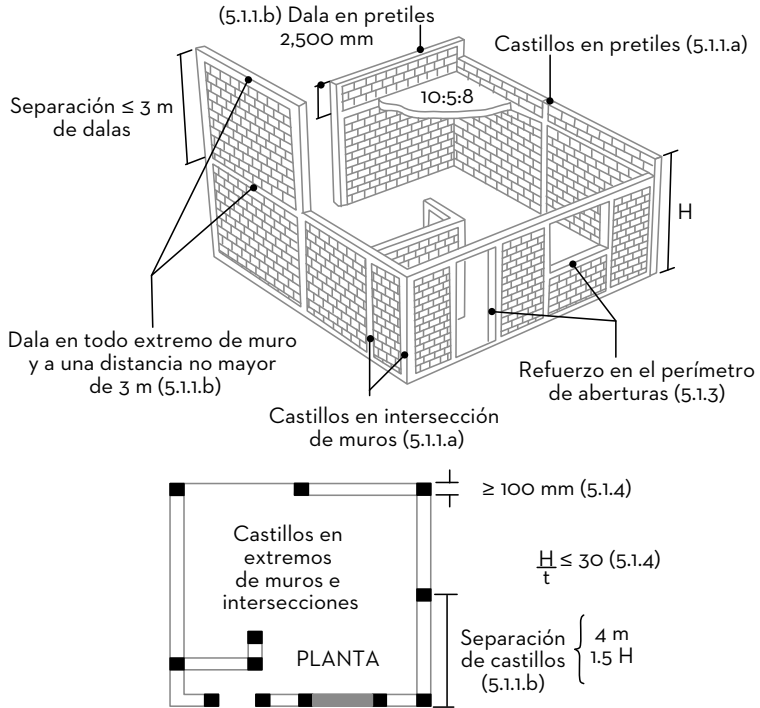
Esta adición de refuerzo estructural en la edificación de la figura 1.6 mejora su comportamiento ante subsidencias y sismos, presentando una falla casi-frágil sin un colapso súbito, es decir, se puede desalojar la vivienda y repararla por medio de un sellado de grietas o reposición de piezas dañadas. Como medida de atención inmediata a viviendas que se identifiquen con daños por subsidencia se recomienda la inserción de dalas y castillos en puntos identificados como vulnerables o que no cumplan con el reglamento como se muestra en la figura 1.6.

La adición de malla electrosoldada también ayuda a incrementar la resistencia a cortante y a flexión de la mampostería sustancialmente. Otra técnica de refuerzo de estructuras existentes de mampostería consiste con el cambio de juntas de mortero por otro de mejor comportamiento, como lo son los morteros de polímeros reforzados con fibras de carbón, arámide y vidrio. Las adiciones de refuerzo en la estructura original mejoran su comportamiento y evitan un colapso súbito. Los muros que presentan desplomes excesivos deben de ser demolidos de forma inmediata, para evitar que colapsen a la calle o interior de la vivienda y dañen a las personas.

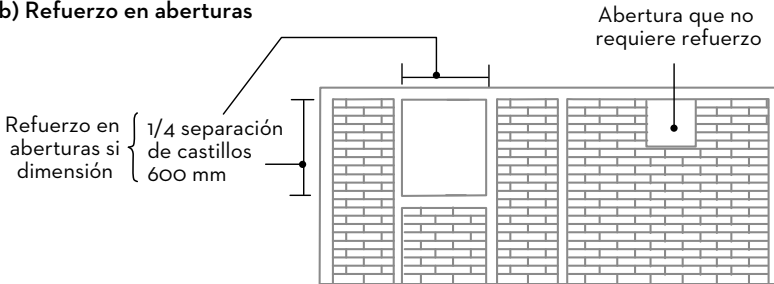
En el caso de estructuras de adobe es muy difícil lograr un mejoramiento estructural debido a la fragilidad y propiedades mecánicas pobres de este material. La compatibilidad de deformaciones juega un papel importante en este sentido, ya que usualmente se agregan confinamientos como dalas y castillos en este tipo de estructuras, o malla electrosoldada. Por ser refuerzos con un mayor módulo de elasticidad, rigidez y resistencia, perjudican a la estructura ante deformaciones por

FIGURA 1.6 ESPECIFICACIONES DE DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA

a) Separación máxima de dalas y castillos



b) Refuerzo en aberturas



Fuente: NTCDF (2004).

temperatura o concentración de esfuerzos inducidos por subsidencia o sismo.

Otra técnica de refuerzo más compatible con el adobe consiste con la inserción de malla de alambre de gallinero u otro tipo de fibras naturales o la inserción de elementos de madera. Estos materiales son de menor rigidez y pueden trabajar de una forma más adecuada en conjunto con el adobe para incrementar su capacidad de flexión y cortante.

CONCLUSIONES

Con los indicios explorados hasta este momento (el creciente déficit de agua subterránea, los cambios de uso de suelo, las pérdidas en la capacidad de infiltración, el crecimiento urbano y el tipo de suelo sobre el que se edifica), es posible afirmar que en el municipio de Tlajomulco de Zúñiga, en Jalisco, ha aumentado el riesgo de subsidencia en lo que va del siglo XXI y es posible que se presenten hundimientos de terreno como en Ciudad Guzmán y Jocotepec.

Si bien, en el trabajo de campo no se ubicaron edificaciones sensibles que presentaran agrietamientos que evidenciaran subsidencia, la presencia de los otros indicios sugiere que lo prudente es llevar a cabo monitoreos periódicos de este tipo de construcciones, a fin de poder usar sus indicios estructurales como alerta temprana.

Abundando más en los estudios a ampliar, hay que mencionar que el Programa de Ordenamiento Ecológico Local de Tlajomulco señaló que los indicios de morfo–alineamientos y fallas tectónicas no eran concluyentes. Por tanto, es necesario hacer más estudios de geología y de geohidrología para poder establecer, con más puntualidad, la relación entre sobreexplotación de agua subterránea y hundimiento del suelo urbano.

De todas las viviendas observadas en la cabecera municipal de Tlajomulco, las de adobe presentan una vulnerabilidad muy alta debido al deficiente comportamiento de este material y a su pobre integridad estructural. De presentarse alguna de las amenazas latentes, como sis-

mos y subsidencias, las viviendas autoconstruidas de mampostería no reforzada o con confinamiento inadecuado son catalogadas con una vulnerabilidad alta debido a su comportamiento frágil similar a las de adobe, pero con un modo de falla menos frágil debido al tabique de barro con mortero y cemento portland. La adición de dadas y castillos de concreto reforzado siguiendo los lineamientos de diseño sísmico establecidos en las normas ayudan a mejorar el comportamiento y cambian la falla de frágil a casi-frágil, lo que permite desalojar el inmueble y repararlo. Otra medida de atención inmediata es la demolición de muros con desplomes excesivos para salvaguarda de las personas.

REFERENCIAS

- Aboites, L. (1988). *El agua de la nación*. México: CIESAS.
- Brunori, C.A., Bignami, C., Albano, M., Zucca, F., Samsonov, S., Groppelli, G., Norini, G., Saroli, M. & Stramondo, S. (2015). Land subsidence, Ground Fissures and Buried Faults: InSAR Monitoring of Ciudad Guzmán (Jalisco, Mexico). *Remote Sensing*, 7(7), 8610–8630. Recuperado el 18 de febrero de 2018, de doi:10.3390/rs70708610
- Castro, J.E. (2006). *Water, power and citizenship. Social struggle in the basin of Mexico*. Hampshire, Inglaterra: Palgrave.
- Cenapred (2006). *Guía básica para la elaboración de Atlas estatales y municipales de peligros y riesgos: Evaluación de la vulnerabilidad física y social*. Centro Nacional de Prevención de Desastres.
- Chaussard, E., Wdowinski, S., Cabral-Cano, E. & Amelung, F. (2014). Land subsidence in central Mexico detected by ALOS InSAR time-series. *Remote Sensing of Environment*, No.140, 94–106.
- Chávez, A. (2010). *Programa de Ordenamiento Ecológico Local. Tlajomulco*. México: Ayuntamiento de Tlajomulco de Zúñiga.
- Comisión Nacional del Agua (2014). *Ley Nacional del Agua*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales / Gobierno de la República.

- Diario Oficial de la Federación (2015, 20 de abril). Acuerdo por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, mismos que forman parte de las regiones hidrológico-administrativas que se indican. *Diario Oficial de la Federación* (Segunda Sección). México: Poder Ejecutivo.
- Farina, P., Avila-Olivera, J.A., Garduño-Monroy, V.H. & Catani, F. (2008). DInSAR analysis of differential ground subsidence affecting urban areas along the Mexican Volcanic Belt (MVB). *Rivista italiana di Telerilevamento*, 40(2), 103-113.
- Font, X., Serra, J. & Pinto V. (1996). Los riesgos geológicos en la Ordenación Territorial. *Acta Geológica Hispánica*, 30(1-3), 83-90.
- Garduño-Monroy, V.H., Arreygue-Rocha, E., Israde-Alcántara, I. & Rodríguez-Torres, G.M. (2001). Efectos de las fallas asociadas a sobreexplotación de acuíferos y la presencia de fallas potencialmente sísmicas en Morelia, Michoacán, México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 18(1), 37-54.
- Garduño-Monroy, V.H., Rodríguez-Torres, G.M., Israde-Alcántara, I., Arreygue, E., Canuti, P. & Chiesa, S. (1999). Efectos del clima (El Niño) en los fenómenos de fluencia de las fallas geológicas de la Ciudad de Morelia. *Geos, Unión Geofísica Mexicana*, 9(2), 84-93.
- Grünthal, G. (Ed.) (1998). European Macroseismic Scale EMS-98. *Notes of the European Center of Geodynamics and Seismology*, 15. Luxemburgo.
- Instituto de Información Estadística y Geográfica (2016). *Tlajomulco de Zúñiga, Diagnóstico del Municipio. Septiembre 2016*. México: IIEG / Gobierno del Estado de Jalisco.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010a). *Censo de población del municipio de Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco 2000 y 2010*. Inegi.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010b). *Compendio de información geográfica municipal 2010, Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco*. Inegi.

- Leal, O. (2017). *Evaluación de vulnerabilidad de viviendas afectadas por hundimientos en función de los tipos de materiales empleados en el pueblo de Jocotepec, Jalisco*. Tesis para obtener el grado de maestría en Proyectos y Edificación Sustentables, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO), Guadalajara, México.
- Martínez, J.P., Hernández, M., Thomas, J.B., González, N., Ortiz, J.A., Zermeño, M.E. & Solis, A. (2013, 17 de septiembre). Land subsidence and ground failure associated to groundwater exploitation in the Aguascalientes Valley, México. *Engineering Geology*, 164, 172–186.
- Meli, R. (1998). *Ingeniería estructural de los edificios históricos*. México: Fundación ICA A.C., México.
- Melville, R. (1996). *El abasto de agua en las grandes ciudades y la agricultura de riego. Apropriación y usos del Agua. Nuevas líneas de investigación*. México: Universidad Autónoma de Chapingo, México.
- NTCDF (2004). Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Mampostería. En *Normas Técnicas Complementarias del Distrito Federal*. México: SMIE.
- Ochoa, H. (2012). Gestión del agua en la periferia urbana: Tlajomulco de Zúñiga. En H. Ochoa & H.J. Bückner (coords.), *Gobernanza y gestión del agua en el Occidente de México: la metrópoli de Guadalajara* (pp. 245–282). México. ITESO.
- Pacheco, J., Arzate, J., Rojas, E., Arroyo, M., Yutsis, V. & Ochoa, G. (2006, 16 de mayo). Delimitation of ground failure zones due to land subsidence using gravity data and finite element modeling in the Querétaro valley, México. *Engineering Geology*, 84(3–4), 143–160.
- Peñuela-Arévalo, L.A. (2012). La teoría de los sistemas de flujo de agua subterránea como herramienta para la definición de zonas de interés en programas de Pago por Servicio Ambiental Hidrológico, México. En E. Pérez, M. Perevochtchikova & V. Ávila (coords.), *¿Hacia un manejo sustentable del suelo de conservación del*

Distrito Federal? (pp. 109–132). México: Instituto Politécnico Nacional.

Preciado, A., Rodríguez, O., Caro-Becerra, J.L. & Lujan-Godínez, R. (2015). *Escenarios de Daño Sísmico a Escala Territorial en Mampostería no Reforzada en Tlajomulco, Jalisco*. XX Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica (SMIS), noviembre 24–28, Acapulco, México.

Rojas, E., Arzate, J. & Arroyo, M. (2002, septiembre). A method to group fissuring and faulting caused by regional groundwater decline. *Engineering Geology*, 65(4), 245–260.

Uribe, A. (2016). *Plan Municipal de Desarrollo 2015–2018*. Tlajomulco, México: Ayuntamiento de Tlajomulco de Zúñiga.

Caracterización ambiental de sitios contaminados en la zona urbana de la ciudad de Torreón, Coahuila

ANDREA IANTE JUÁREZ RAMÍREZ
RAÚL FLORES CHÁVEZ
JUAN GUALBERTO ANTONIO PÉREZ
JOSÉ ANTONIO MARTÍNEZ VILLALBA

Resumen: *en los últimos 20 años, Torreón se ha caracterizado por ser una ciudad con gran desarrollo industrial y habitacional. Este crecimiento intensivo y desordenado ocasionó un manejo inadecuado de residuos en tiraderos no autorizados. El objetivo de esta investigación fue caracterizar, mapear y describir los contaminantes presentes en distintos lugares de la zona urbana. Se encontraron 148 sitios contaminados, en donde se destacan 32 zonas con alta contaminación de residuos de construcción y demolición (RCD) y residuos sólidos urbanos (RSU) al centro y noreste de la ciudad. Es prioridad implementar medidas de regulación en la disposición final para cada residuo, y así evitar una mayor contaminación.*

Palabras clave: *sitios contaminados, residuos de construcción y demolición (RCD) residuos sólidos urbanos (RSU).*

Abstract: *In recent decades, Torreón has been characterized as a city with a high level of industrial and housing development. This intensive and disordered growth has led to an improper handling of waste in unauthorized landfills. The objective of this research was to characterize, map and describe the contaminants present in different parts of the urban area; 148 contaminated sites were found, from which 32 areas stand out with severe contamination from construction*

and demolition waste (CDW) and municipal solid waste (MSW) in the center and northeastern sectors of the city. It is a priority to implement regulatory measures for the final disposal for each type of waste, and thus avoid further contamination.

Keywords: *contaminated sites, construction and demolition waste (CDW), municipal solid waste (MSW).*

Torreón, Coahuila, se ha caracterizado por ser una ciudad con gran desarrollo económico e industrial. Esto sucedió después del fortalecimiento de la actividad económica en la década de los setenta con la construcción de los parques industriales (Parque Industrial Lagunero, Ciudad Industrial Torreón, Parque Industrial Oriente) en las orillas de la ciudad. En el periodo de la década de los noventa, la región impulsó nuevamente la actividad industrial con la llegada de empresas transnacionales importantes del sector automotriz y maquilador. Bajo este esquema socioeconómico, a partir del 2001, la población tuvo un mayor acceso a créditos hipotecarios, por lo que comienza la compra de tierras en las periferias para la construcción de fraccionamientos habitacionales más allá del Periférico Raúl López Sánchez.

Gracias a estos préstamos financieros, la población comienza a expandirse generando el inicio de la construcción de centros habitacionales hacia la carretera a San Pedro y el rumbo del corredor Torreón-Matamoros. Este crecimiento intensivo y desordenado ocasionó un manejo inadecuado de los residuos de construcción y demolición (RCD), lo cual ha perjudicado a la ciudad con lugares donde se ha depositado material derivado de dichas actividades provocando que la localidad y la población se vean afectadas considerablemente.

Lo descrito anteriormente, trae como resultados graves problemas a los habitantes que viven cerca de estos puntos ya que, al problema anterior, se agregan los residuos sólidos urbanos (RSU) que dejan los habitantes en los tiraderos no autorizados. Se presenta una acumulación excesiva de residuos en zonas abandonadas, existe degradación de la infraestructura cercana a los sitios contaminados, persiste la contaminación del suelo y provoca afectaciones a la salud de la po-

blación, debido a partículas suspendidas, proliferación de vectores de enfermedades, entre otros.

Es necesario encontrar alternativas que lleven a solucionar este problema derivado de la urbanización. Para ello, es necesario determinar posibles riesgos ocasionados por los residuos de la construcción; asimismo, es de suma importancia la creación de un sistema de información de puntos dentro de la ciudad contaminada, mediante las caracterizaciones preliminares de sitios importantes, recomendaciones para la prevención, manejo y rehabilitación de estos mismos. Dicha determinación y / o estrategia es con la finalidad de mostrar un panorama general de los lugares contaminados por residuos de construcción en Torreón y, a su vez, brindar información pertinente para una pronta solución. En este trabajo de investigación, se caracterizaron sitios contaminados en el municipio de Torreón Coahuila con el propósito de llevar a cabo las medidas preventivas y de remediación para proponer estrategias de limpiar la ciudad y prevenir daños a la salud de la población.

METODOLOGÍA

La metodología que se aplicó al proyecto corresponde a la establecida por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales establecida el 1 de febrero del 2013 en el *Diario Oficial de la Federación* (DOF) donde se publicó la Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011. Esta norma establece los criterios para clasificar a los residuos de manejo especial y determinar cuáles están sujetos a plan de manejo. Mediante la delimitación de áreas de estudio en la zona urbana de Torreón, Coahuila, se llevó a cabo una caracterización ambiental a criterio en donde se localizaron los sitios que presentaban una contaminación, la mayoría por residuos de la construcción y demolición.

A partir de estos puntos críticos contaminados, se hizo una priorización para caracterizar los de mayor importancia. Con base a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR)

(DOF, 2003) se verificó el riesgo que los diferentes residuos podían presentar, así como su clasificación (sólidos urbanos, peligrosos o de manejo especial, etcétera) con el fin de darle la envergadura correspondiente a los sitios.

Visita de campo

En primer lugar, como estrategia para incluir todo el territorio de la zona urbana de Torreón, este se dividió en cuatro cuadrantes: norte, sur, este y oeste. Los cuales, fueron muestreados de forma aleatoria, evaluados y analizados mediante visitas de campo que sirvieron para identificar los puntos más contaminados dentro de la mancha urbana. La evaluación fue continua durante un mes y medio. Al término de este plazo, se realizó una base de datos de lugares prioritarios contaminados con base a las normas establecidas, en donde se incluyeron las características generales de cada sitio.

Localización del sitio

Como segundo paso, se identificaron las coordenadas geográficas, de cada lugar considerado como contaminado, en unidades UTMWGS84, mediante *Google Earth*. Posteriormente, se tomó de cada punto la dirección completa que incluye: calle, número y colonia. Enseguida, se anotó la referencia geográfica de cada punto para completar la base de datos (Mas, Sorani & Álvarez, 1996).

Identificación y clasificación del sitio

Se creó, para cada punto, una clave de clasificación; en la que se incluye el tipo de residuo con mayor predominación en el sitio (véase tabla 2.1). Se consideraron aquellos residuos de manejo especial (RME) como los generados en los procesos productivos que no reúnen las características para ser considerados como peligrosos ni como sólidos urbanos.

TABLA 2.1 CLAVES DE CLASIFICACIÓN PARA DETERMINACIÓN DEL RESIDUOS CONTAMINANTE MÁS FRECUENTE EN ÁREAS CONTAMINADAS

Clave	Definición
RSL	Residuos de salud
RAAG	Residuos de actividades agrícolas y ganaderas, incluye residuos de insumos utilizados
RINP	Residuos industriales no peligroso
RSTR	Residuos del servicio de transporte
RLTAR	Residuos de lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales
RCNS	Residuos de construcción
RTII	Residuos tecnológicos provenientes de las industrias de la informática
RSUO	Residuos sólidos urbanos orgánicos
RSUI	Residuos sólidos urbanos inorgánicos

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI, 2007).

TABLA 2.2 CLAVES DE CLASIFICACIÓN SEGÚN EL TIPO DE RESIDUO CON COMBINACIONES CON RESIDUOS SECUNDARIOS Y TERCIARIOS: CLAVES DE RESIDUOS SECUNDARIOS Y TERCIARIOS

Residuo dominante	RR	RSA	RGAPASFA	RINP	RSTPAFPA	RLTAR	RDP	RC	RTPII	RSUO	RSUI
Residuo secundario	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8	O9	10	11
Residuo terciario	A	B	C	D	F	G	H	I	J	K	L

RR: Residuos rocosos / RSA: Residuos de Servicios de salud / RGAPASFA: Residuos generados por las actividades pesqueras, agrícolas, silvícolas, forestales, avícolas y ganaderas / RINP: Residuos industriales no peligrosos / RSTPAFPA: Residuos de los servicios de transporte así como los generados a consecuencia de las actividades que se realizan en puertos, aeropuertos, terminales ferroviarias, portuarias y en las aduanas / RLTAR: Residuos de lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales / RDP: Residuos de tiendas departamentales o centros comerciales / RC: Residuos de construcción / RTPII: Residuos Tecnológicos Provenientes de las Industrias de la Informática / RSUO: Residuos sólidos urbanos orgánicos / RSUI: Residuos sólidos urbanos inorgánicos.

Fuente: ONUDI (2007).

Para aquellas áreas que presentaban más de un tipo de contaminante, se procedió a evaluar los residuos secundarios o terciarios (véase tabla 2.2). A continuación, se creó la clave de Identificación de cada punto en donde se siguió la siguiente fórmula (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, Inegi, 2010).

Coordenadas en X + Clave Clasificación + Coordenada en Y +
Clave del Estado + Clave del Municipio

Descripción total de cada sitio contaminado

Para conocer los rasgos distintivos del área contaminada, se realizó una breve descripción del sitio. Se detallaron las características que más resaltaron del entorno que rodeaba cada lugar identificado como contaminado; así como su población adyacente según los criterios de la LGPGIR. Además, se evaluó la superficie dañada utilizando el software *OpenGeo*, para calcular el área deteriorada se empleó el programa del Servicio Geológico Mexicano (SGM) (2015).

También, con base en los sistemas de georeferencias y visitas de campo, se determinó el volumen del residuo, para el cual se multiplicó el área determinada por la altura aproximada que presentaban los residuos dentro de los sitios contaminados. Se generó una descripción del efecto contaminante con la finalidad de señalar los riesgos más importantes y significativos.

Generación de matriz de importancia para sitios contaminados

Para generar la matriz de importancia, se evaluaron los siguientes criterios según Luis Fernández y colaboradores (Fernández, Rojas, Roldán, Ramírez, Zegarra, Uribe & Arce, 2006):

- *Intensidad (IN)*: Se evaluó el grado de destrucción o incidencia.
- *Extensión o superficie (EX)*: m² ocupados por el lugar de afectación.

- *Plazo de manifestación (PM)*: Se valorizó el tiempo que transcurre entre la aparición de la acción y el comienzo del efecto sobre el factor del medio evaluado. Se consideró de mediano y largo plazo cuando su efecto se manifestó al cabo de cierto tiempo, desde el inicio de la actividad que lo provocó, e inmediato cuando el tiempo entre el inicio de la acción y el de manifestación del efecto fue nulo.
- *Persistencia (PS)*: Se calculó el tiempo que, supuestamente, permanecería el efecto desde su aparición y a partir del cual, el factor afectado retornaría a las condiciones iniciales previas a la acción por medios naturales, o mediante la introducción de medidas correctoras.
- *Reversibilidad (RV)*: Se refirió a la posibilidad de reconstrucción del elemento afectado; en el que se crearon ideas para tener una posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción por medios naturales.
- *Sinergia (SI)*: Se estudió y se cuidó que el efecto conjunto de la presencia simultánea de varios agentes o acciones supone una incidencia ambiental mayor que el efecto de la incidencia individual.
- *Acumulación (AC)*: Se analizó el incremento progresivo de la manifestación del efecto cuando persistió de forma continuada o reiterada a la acción que lo generó.
- *Efectos (EF)*: Se determinó la forma de manifestación del efecto sobre un factor. Se consideró directo o indirecto dependiendo de la incidencia inmediata en los factores ambientales.
- *Periodicidad (PI)*: Se estimó la regularidad de manifestación del efecto.
- *Recuperabilidad (RC)*: Se dieron soluciones para retornar a las condiciones iniciales previas a la actuación por medio de la intervención humana.

Después de tener los parámetros a considerar, se prosiguió a monitorearlos para hacer una valorización a cada punto inscrito en la matriz de importancia.

Valorización numérica a cada criterio dentro de la matriz de importancia

Para determinar el valor numérico que representa cada componente en la matriz, se monitorearon los sitios contaminados por zona durante 45 días y, con base a los cambios que produjeron en dicho TIEMPO, se otorgó un valor a razón por parte del investigador (véase tabla 2.3).

Los aspectos que se tomaron en cuenta para la valorización abarcan el incremento en la acumulación de residuos de construcción en volumen y extensión, la combinación de este con otros tipos de residuos que, en conjunto, puedan deteriorar las condiciones del suelo. Se evaluaron los efectos que podrían causar directa o indirectamente según el grado de incidencia. En cuanto al tiempo, se pueden manifestar a partir de que la actividad de contaminación inició y durante el tiempo en que, una vez manifestados los efectos, estos permanecen en el sitio.

Una vez evaluados estos criterios, se analizó la posibilidad de que el sitio pueda retornar a sus condiciones iniciales de manera natural según las características que posea el suelo del sitio o del tipo de contaminantes encontrados. Para completar la valorización, también se analizaron las acciones de remediación no naturales, sobre todo cuando los RSU y sus efectos incrementan progresivamente o cuando las manifestaciones de dichos efectos son muy regulares. Finalmente, se otorgaron los valores a cada criterio en la matriz. Si se presentaban diversos contaminantes, se clasificaron en secundarios o terciarios.

Dicha puntuación ayudó a determinar el valor numérico de importancia (IM) y el rango de contaminación del sitio. Por lo que se sumó cada valor para otorgarle una categoría al sitio contaminado mediante la siguiente fórmula:

$$IM = 3(IN) + 2(EX) + 2(EF) + (PS) + (RV) + (SI) + (AC) + (PM) + (PI) + (R)$$

TABLA 2.3 MATRIZ DE IMPORTANCIA DE SITIOS CONTAMINADOS

IN	EX	EF
Baja (2)	< Mil m ² (2)	Indirecto (1)
Media (4)	Mil a 10 mil m ² (4)	Directo (4)
Alta (8)	10 mil-100 mil m ² (8)	AC
Muy alta (12)	>100 mil m ² (12)	Simple (1)
PS	RV	Acumulativo (4)
Fugaz (1)	Plazo inmediato (1)	SI
Temporal (2)	Plazo medio (2)	Sin sinergismo (1)
Permanente (4)	Irreversible (4)	Sinérgico (2)
RC	PM	Muy sinérgico (4)
Recuperable (1)	Largo (1)	PI
Mitigable (4)	Mediano (2)	Irregular (1)
Irrecuperable (8)	Inmediato (4)	Periódico (2)
		Discontinuo (4)

IN: Intensidad / EX: Extensión / EF: Efecto / PS: Persistencia / RV: Reversibilidad / AC: Acumulación / SI: Sinergia / RC: Recuperabilidad / PM: Plazo de manifestación / PI: Periodicidad.
Fuente: ONUDI (2007).

Según el resultado del IM se clasificó al sitio como muy bajo (0-25), bajo (26-50), medio (51-75) y alto (superior a 76) valor de importancia para su rápida atención.

Generación de propuesta de regulación

Como último paso del protocolo de caracterización de sitios contaminados se implementaron soluciones acorde al tipo de grado de afectación y valor numérico en la matriz de importancia para cada área. Los criterios a tomar en cuenta para mejorar la calidad ambiental de la ciudad se enfocaron en la matriz para implementar medidas

de mitigación, preventivas o correctivas, medidas de restauración o rehabilitación, presupuesto, tiempo de restauración, ejecutor y posibles instituciones u organizaciones no gubernamentales de apoyo (Semarnat, 2012).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Visitas de campo y localización

Partiendo de las visitas de campo realizadas en los cuatro cuadrantes en que se dividió la ciudad de Torreón, se encontraron 148 puntos potencialmente contaminados; de los cuales, 116 de ellos son de baja importancia y los otros 32 son considerados de importancia media y alta.

De esos 32 sitios, el sector que presentó mayor cantidad de lugares contaminados es la zona norte con 12; en seguida, el sector oeste con 9; la zona este con 6 y finalmente, al sur de la ciudad solo se encontraron 5 sitios. En estas zonas, se identificaron principalmente RCD como los más abundantes y RSU en menor medida. Con base a la información recolectada, se enfatizó en estudiar las consecuencias de los RME, específicamente los de construcción, y los RSU que procedían de actividades domésticas.

En la zona norte es donde se presentó el problema más grave de contaminación ya que en este sector es donde ha aumentado considerablemente el desarrollo de complejos habitacionales en los últimos 15 años; asimismo, se ha expandido la zona industrial trayendo el comercio, restaurantes y la construcción de carreteras a dicho sector. En esta parte de la ciudad, los sitios contaminados presentaban entre un 85–90% de residuos de construcción entre los que destacan, en su mayoría, escombros (cascajo), hormigón, azulejos, arenas y ladrillos. Ninguno de ellos genera un problema considerable de salud ni lixiviados, sin embargo existe una deficiente logística para su correcta disposición. Estos RME procedían, en gran medida, de la construcción de diferentes complejos habitacionales y comerciales.

La responsabilidad de estos desechos recae sobre los transportistas de materiales de construcción, recolectores informales y las constructoras que no cumplen con la ley municipal. Además, estos terrenos no autorizados para la disposición final de residuos son blanco por parte de la comunidad que arroja basura o desechos relacionados a las actividades domésticas.

Aunado a lo anterior, los llamados “carretoneros” (recolectores informales) que son las personas que recogen diferentes tipos de basura o residuos, por ejemplo ramas de árboles, muebles inservibles, basura doméstica, residuos de construcción, etcétera, tiran los desechos generalmente en terrenos de este sector. Tomando la definición de la LGPGIR (2015) que cita textualmente a los RSU como:

[...] los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; sí como los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos.

Son algunos de este tipo de desechos los que tiran los recolectores informales, así como los RCD. Los RSU oscilan entre un rango de 10 y 15%. Lo que da una combinación de ambos residuos en la zona norte de la ciudad.

Por otro lado, las partes aledañas al centro de la ciudad de Torreón se encuentran al sureste, en esta sección se localizan la mayor parte de las colonias y fraccionamientos antiguos. Debido a la enorme densidad de población y tiendas comerciales asentadas desde varios años atrás, ahí se concentra gran cantidad de áreas contaminadas por RSU derivados de centros comerciales, parques y comercios informales. De igual manera, persisten terrenos abandonados que son objetivos fáciles de la ciudadanía para depositar su basura.

En este contexto la LGPGIR indica en su título sexto sobre la prevención y manejo integral de RSU y de RME. Establece los lineamientos que debe de tomar la entidad para someter al correcto manejo de los residuos con el propósito de promover la reducción en la generación, valorización y gestión de ambos desechos, a fin de proteger la salud, prevenir y controlar la contaminación ambiental producida por su manejo. Conjuntamente, el artículo 100 habla sobre la prohibición de verter RSU en predios baldíos, vía pública y zonas no autorizadas (LGPGIR, 2015). Dicha normatividad no es respetada por la ciudadanía ni se le da un seguimiento oportuno por parte del municipio.

Identificación y clasificación del sitio

De los 32 sitios que presentaban un grado de contaminación moderada y alta, se consideraron solo 23 áreas debido a que los otros 9 restantes eran propiedad privada, se dificultaba el acceso al terreno y algunos otros se desarrollaban obras públicas y complejos habitacionales. La realización de la clave de clasificación permite visualizar los principales residuos en el sector contaminado y, a su vez, asiente una descripción más detallada de las coordenadas, desechos, la clave del estado y municipio. En la tabla 2.4 se presentan dichas claves para los 23 lugares contaminados. Los RCD fueron las que se encontraron en un 91.3% como el principal contaminante primario, de igual manera se pudieron observar residuos rocosos (RR) y RSU en un menor porcentaje.

Es importante añadir que, además de los desechos de construcción, las 23 zonas contaminadas se encontraron más de un contaminante. La clasificación arrojó a los residuos sólidos urbanos orgánicos (21.7%) e inorgánicos (69.5%) como los contaminantes secundarios más abundantes; principalmente se localizaron botellas de PET, bolsas, ropa, vidrios y llantas como desechos inorgánicos. Los desperdicios de comida y aceites como desechos orgánicos fueron encontrados en las zonas afectadas.

TABLA 2.4 CLAVE DE IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS 23 CARACTERIZADOS EN LA CIUDAD DE TORREÓN, COAHUILA

No.	Clave de clasificación	Clave de identificación
1	RC10KX	661691RC10KX 283293305035
2	RC11JX	662889RC11JX282089405035
3	RC11JX	667794RC11X282526705035
4	RC11Y	660702RC11Y282403505035
5	RC11X	663460RC11X282170005035
6	RC11JX	662943RC11JX282376705035
7	RC10KX	661568RC10KX282804105035
8	RC11JX	656846RC11JX282262405035
9	RC11JX	661443RC11JX282921405035
10	RSUI08JX	658034RSUI08JX283150605035
11	RC11JX	668486RC11JX282750705035
12	RC10KX	661408RC10KX283412805035
13	RC10KX	661003RC10KX283268205035
14	RC11JX	662442RC11JX282676005035
15	RC11AX	661126RC11AX283309505035
16	RC11JX	660899 RC11JX282988205035
17	RC11JX	655333RC11JX 282501005035
18	RC10KX	657646RC10KX282947905035
19	RC11JX	667211RC11JX282572105035
20	RR11HX	659805RR11HX283269205035
21	RC12X	660555RC12X282459405035
22	RC05IX	658142RC05IX283012705035
23	RC11JX	661947RC11JX282554705035

Fuente: elaboración propia a partir de la fórmula (Coordenadas en x + Clave Clasificación + Coordenada en y + Clave del Estado + Clave del Municipio) con base en datos de Inegi (2010).

Los Residuos Tecnológicos Provenientes de las Industrias de la Informática (RTPII) se encontraron en 12 de los 23 lugares identificados, lo que equivale al 52.1% de los contaminantes terciarios. El cartón, papel, materiales ferrosos, madera y fibras sintéticas abundaban más; asimismo, en casos muy específicos, cables y aparatos electrónicos (televisiones, videocaseteras y radios). Los aparatos electrónicos pueden generar algunos lixiviados o gases en la temporada de lluvias por la gran cantidad de compuestos que tienen; por ejemplo metales pesados, que resultan ser un punto crítico en la contaminación de suelo y agua subterránea en tiraderos a cielo abierto.

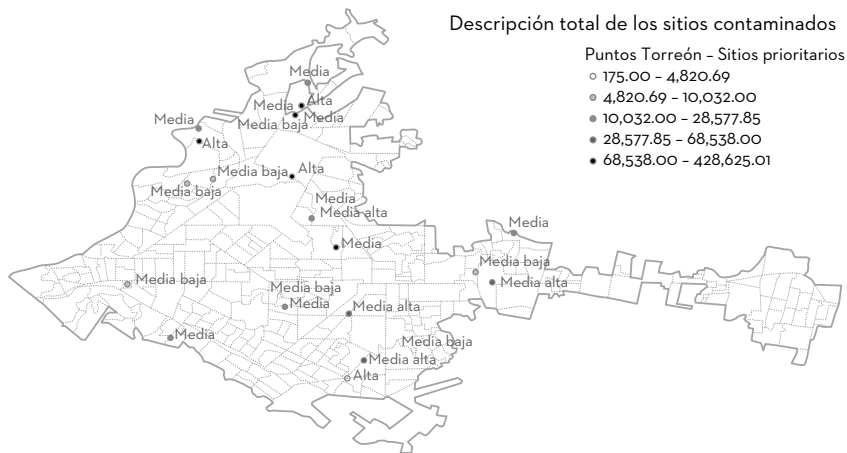
Se han implementado algunas campañas sociales como “*Laguna yo te quiero verde*” y “*limpiemos nuestro México*” para recoger todos los contaminantes presentes en dichas zonas, sin embargo, estas estrategias son útiles solo durante la campaña por el poco porcentaje de RSU que se encuentran en dichos sitios. Por lo que el problema regresa a los pocos días de terminar los programas antes mencionados.

Descripción total de los sitios contaminados

Como siguiente paso, se presentaron los 23 puntos analizados en un mapa realizado en el software *OpenGeo* para obtener una descripción gráfica de la ciudad. Las zonas más contaminadas por residuos de construcción se encuentran al norte de la ciudad en donde persisten grandes terrenos con enormes cantidades de desechos de construcción. El crecimiento industrial y de la mancha urbana se ha dado por esta área de la ciudad. Se encontraron zonas con más de 428,625 m² de residuos de este tipo.

En contraparte, los sitios afectados del sureste presentan, en su mayoría, una media. Se localizaron áreas desde los 8,463 hasta 226,933 m² de residuos. En la figura 2.1, se detallan todos los sitios contaminados con su respectiva área. Para la determinación del área y hectáreas contaminadas se complementó con el programa del Servicio Geológico Mexicano.

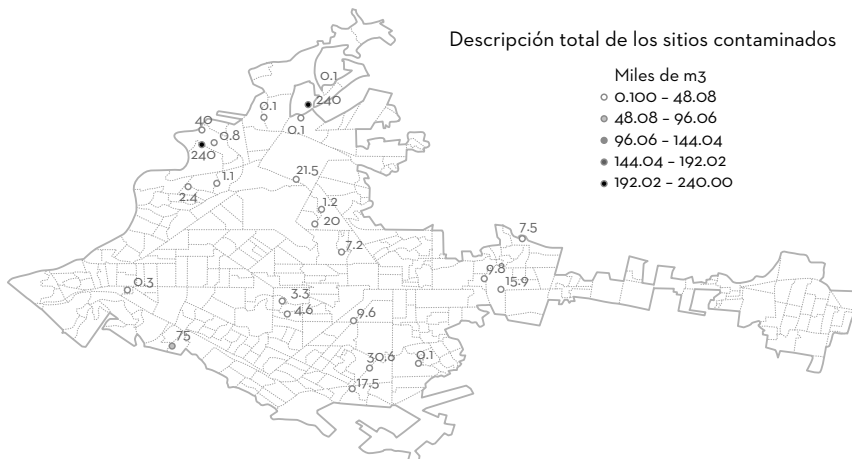
FIGURA 2.1 MAPA DE LA CIUDAD DE TORREÓN, COAHUILA CON LOS PUNTOS DE LOS 23 SITIOS CONTAMINADOS Y EL ÁREA DE METROS CUADRADOS CONTAMINADA



El área se representa en metros cuadrados.

Fuente: elaboración propia a partir de los resultados de la investigación.

FIGURA 2.2 MAPA DE LA CIUDAD DE TORREÓN, COAHUILA QUE INDICA EL VOLUMEN EN METROS CÚBICOS DE LOS PRINCIPALES SITIOS CONTAMINADOS



Fuente: elaboración propia a partir de los resultados de la investigación.

El volumen se determinó de dos maneras. La primera se realizó en las visitas de campo, y la segunda por el programa *Google Earth* usando la modalidad “*Street view*”. En ambos casos, se realizaron las respectivas medidas de los montones de residuos. Se calculó la altura más significativa de los montones dentro del terreno y se multiplicó por el área previamente calculada. Existen terrenos con un volumen de hasta de 240,030 m³ de contaminantes (véase figura 2.2).

Generación y valorización de la matriz de importancia

Según el criterio establecido por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat, 2008). Se elaboraron las 23 matrices de importancia de los puntos identificados con la finalidad de saber el estado de afectación en el que se encuentran.

En la tabla 2.5, se presenta el ejemplo de la matriz que presentó el mayor grado de afectación en la ciudad de Torreón (76). Esta zona contaminada está ubicada al norte de la ciudad y exhibió una intensidad (IN), acumulación (AC) y extensión (EX) bastante alta de RCD durante las visitas de campo. Al lado de este terreno, se encuentra la construcción del complejo habitacional Real del Nogalar, lo que puede ser indicativo de la mala disposición final de los RME, llevando a esta zona parte de los desechos generados.

La gran cantidad de piedras, varillas, grava, arena, etcétera, genera el proceso de reversibilidad a mediano (RV) plazo con una recuperabilidad (RC) mitigable por la erosión del suelo. El sinergismo (SI) es nulo debido a que no existen otros tipos de contaminantes que pueden provocar un riesgo a la salud, sean focos de infección o generen lixiviados.

Por lo tanto, según los datos numéricos obtenidos en la matriz, se priorizaron los puntos de mayor grado de afectación localizados dentro de la ciudad. Para aquellos lugares que obtuvieron una puntuación de 51-75 (según la fórmula de IM) se consideró una importancia media y para aquellos con un valor de 76-100 se catalogaron con importancia

TABLA 2.5 MATRIZ DE IMPORTANCIA DEL TERRENO QUE OBTUVO MAYOR GRADO DE AFECTACIÓN POR RCD EN LA CIUDAD DE TORREÓN, COAHUILA

IN		EX		EF	
Baja (2)		< Mil m ² (2)		Indirecto (1)	x
Media (4)		Mil-10 mil m ² (4)		Directo (4)	
Alta (8)		10 mil-100 mil m ² (8)		AC	
Muy alta (12)	x	>100 mil m ² (12)	x	Simple (1)	
PS		RV		Acumulativo (4)	x
Fugaz (1)		Plazo inmediato (1)		si	
Temporal (2)	x	Plazo medio (2)	x	Sin sinergismo (1)	x
Permanente (4)		Irreversible (4)		Sinérgico (2)	
RC		PM		Muy sinérgico (4)	
Recuperable (1)		Largo (1)		pi	
Mitigable (4)	x	Mediano (2)	x	Irregular (1)	
Irrecuperable (8)		Inmediato (4)		Periódico (2)	
				Discontinuo (4)	x
Rangos de importancia	Muy baja (0-25) / Baja (26-50) / Media (51-75) / Alta (76-100).				
Cálculo de la importancia	76				

Fuente: elaboración propia a partir de los resultados de la investigación.

alta. No se tomaron en cuenta las zonas con una puntuación menor de 42 debido a que no requieren una atención inmediata.

Cabe destacar, que la importancia indica qué tanta atención requiere el sitio para comenzar los planes de acción inmediatamente, pues los de baja importancia no representan un grave riesgo o peligro para el ambiente, la población y sus recursos en estos momentos, aunque esto no quiere decir que no se les dé la atención adecuada para prevenir y evitar una mayor acumulación de desechos.

Una vez determinados estos criterios en la matriz de importancia, se pudieron establecer las características principales de los sitios con la finalidad de caracterizar la zona dañada según el grado de afectación. Se describieron en una base de datos todas las características de las 23 áreas dañadas. Se señalaron la latitud y la longitud para identificar geográficamente al sitio. De la misma manera, se representó el grado de afectación obtenido de los valores asignados en las visitas a campo por el investigador. Aquellos con valores superiores a 42 muestran mayor intensidad, persistencia y acumulación de los RME (materiales de construcción) y un porcentaje menor de RSU. Por lo tanto, son los que requieren una atención inmediata por parte de las autoridades del municipio.

Se hallaron sitios con poca extensión en área, sin embargo, por los efectos de los contaminantes, se considera un grado de afectación elevado. Por ejemplo, estos lugares se encontraban RSU que desprendían malos olores, plagas y se consideraron como un foco de infección importante. Estos puntos no autorizados se clasificaron como prioritarios. También, la matriz arrojó lugares donde la extensión no era muy grande y los tipos de residuos domésticos no tan peligrosos (botes, latas, papel, vidrio, etcétera) pero al estar localizados cerca de espacios habitacionales, se consideraron peligrosos por las afectaciones que pueden tener sobre las personas cercanas a la zona afectada. Los espacios que concentraban RSU se consideraron como potencialmente peligrosos como focos de infección y latente en afectaciones a la salud por la descomposición de los desechos orgánicos.

En el 2013, la disposición correcta de los RSU en México, fue alrededor de 74.5%. La cifra más reciente publicada fue en 2015, donde alcanzó los 53.1 millones de toneladas, lo que equivale a 1.2 kg de RSU *per cápita* al día (Semarnat, 2016) mientras que para América Latina y el Caribe solo un 23% de los residuos sólidos fueron depositados cumpliendo con las condiciones sanitarias (Organización Panamericana de la Salud / Organización Mundial de la Salud, 2005).

Conjuntamente, se determinó los efectos característicos que tenían los contaminantes en el sitio. Aquellas zonas donde el volumen de rocas, ladrillos, hormigón, etcétera, era bastante alto, provocaban erosión en el suelo. La suspensión de partículas era considerable en aquellos lugares con residuos de construcción, especialmente grava y arena, lo cual era mayor en los *terregales* cotidianos que se presentan en la ciudad.

En este caso, los RCD poseen una composición cuantitativa y cualitativamente distinta a los RSU y en la ciudad de Torreón son consecuencia por la urbanización, movimientos de tierra y edificaciones nuevas; por lo tanto, se consideran residuos inertes ya que no experimentan cambios químicos o biológicos significativos, así como su lixiviación total. Básicamente estos desechos están constituidos por: hormigón, tierra, piedras, ladrillos, restos de pavimentos asfálticos, cristal y plásticos (véase tabla 2.6).

En México, a partir de 2013, los generadores de residuos de construcción están obligados a cumplir con el manejo de residuos conforme a lo establecido por la norma NOM-161-SEMARNAT-2011. Esta norma establece que los residuos de la construcción se clasifican como residuos de manejo especial, por lo que es obligación de los generados disponer correctamente de ellos o aplicar algunas acciones para su reutilización o reciclaje.

Solo en la ciudad de México se generaron 38 toneladas de estos residuos en 2004 mientras que en Coahuila, se produjeron más de 115 mil toneladas durante el año 2011 (López, Velázquez & López, 2016). Apenas en el 2015, el Gobierno de la Ciudad de México (antes Distrito Federal) publicó una norma para el manejo integral de los residuos de construcción. Dicha ley abarca los puntos en generación, recolección, transporte, aprovechamiento y disposición final (Gaceta Oficial del Distrito Federal, 2015). Claramente, México está a algunos pasos atrás en cuestión del manejo integral de estos residuos.

En algunos otros países, como en el caso de Argentina, cuentan con plantas de tratamiento con la intención de reutilizar los RCD en

TABLA 2.6 DESCRIPCIÓN DE LOS 23 SITIOS CONTAMINADOS EN LA CIUDAD DE TORREÓN, COAHUILA, QUE MUESTRAN COMO PRINCIPAL CONTAMINANTE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN

No.	Latitud (decimales)	Longitud (decimales)	Grado de afectación	Extensión (m ²)	Volumen (m ³)	Efecto	Intensidad
1	25.603991	-103.388893	76	428,625	240,030	Erosión del suelo	Alta
2	25.496183	-103.379236	76	174,564	226,933	Afectaciones a la salud	Alta
3	25.535211	-103.330029	74	10,600	15,900	Afectaciones a la salud	Media-alta
4	25.525123	-103.400512	66	10,036	4,582	Suspensión de partículas	Media-alta
5	25.503497	-103.373579	65	68,538	38,647	Suspensión de partículas	Media-alta
6	25.522534	-103.37876	65	10,052	9,563	Suspensión de partículas	Media-alta
7	25.561009	-103.391643	63	41,890	20,000	Suspensión de partículas	Media-alta
8	25.512550	-103.439000	62	39,114	75,000	Suspensión de partículas	Media-alta
9	25.565897	-103.389627	62	3,434	1,200	Suspensión de partículas	Media-alta
10	25.592605	-103.42639	62	3,046	761	Foco de infección	Media-alta
11	25.555340	-103.322863	58	5,000	7,500	Suspensión de partículas	Media
12	25.616098	-103.392586	55	31,945	103	Suspensión de partículas	Media
13	25.602943	-103.396774	54	79,247	213,968	Suspensión de partículas	Media
14	25.549283	-103.383097	52	70,000	7,200	Afectaciones a la salud	Media
15	25.602595	-103.399075	48	64,331	25,732	Foco de infección	Media-baja
16	25.578075	-103.397968	48	28,577	21,508	Foco de infección	Media-baja
17	25.5342500	-103.454000	47	175	300	Suspensión de partículas	Media-baja

TABLA 2.6 CONTINUACIÓN

18	25.5752778	-103.433611	45	8,946	2,445	Suspensión de partículas	Media-baja
19	25.539372	-103.335753	42	9,000	9,750	Suspensión de partículas	Media-baja
20	25.6030556	-103.408611	42	3,176	115	Suspensión de partículas	Media-baja
21	25.529936	-103.402133	42	10,032	3,340	Suspensión de partículas	Media-baja
22	25.5767100	-103.425000	42	58,325	1,092	Suspensión de partículas	Media-baja
23	25.5383960	-103.388164	42	8,463	4,267	Suspensión de partículas	Media-baja

Fuente: elaboración propia a partir de los resultados de la investigación.

obras viales o civiles. En Brasil también tiene plantas de este tipo para darle tratamiento a más del 50% de los residuos generados; los cuales, son reutilizables en reparación y pavimentación. Con ello, estos países sudamericanos buscan un desarrollo sostenible en materia de medio ambiente (Mercante, Bovea, Arena & Martinengo, 2009). Caso contrario sucede en Colombia, en donde al año se generan más de 12 millones de toneladas de RCD, de los cuales, más de 300 mil toneladas son tiradas en zonas no autorizadas, calles o puntos no destinados para dicha finalidad (El Tiempo, 2012).

En Alemania, la mayoría de los residuos generados en el 2008 fueron recuperados y dispuestos para reúso. En ese año, se generaron más de 200.52 toneladas y el 88% fueron reutilizados o reciclados siguiendo el proceso de una nueva actividad económica que implementa el país (Federal Ministry of Transport, Buildings and Urban Affairs, 2011). En 2009, cerca de 40 millones de toneladas se produjeron en España; de ellas, menos de 15 millones de RCD (37%) se sometieron a algún tratamiento de valorización (Boletín Oficial España, 2009).

Con la gran cantidad de RCD generándose a esta velocidad en todo el mundo, los vertederos autorizados de escombros no serán la primera

opción en un futuro cercano. Por lo que es importante tomar medidas inmediatas en este tema y encontrar una solución sostenible para este problema.

Generación de propuesta de regulación

La caracterización de sitios contaminados brinda una idea general para la toma de acciones correctivas o alternativas viables que nos permitan erradicar este problema. El establecimiento de planes a corto y mediano plazo permite que todas estas áreas puedan mantenerse limpias. Los planes que se establecen son: 1) medidas de prevención y mitigación y, 2) medidas de remediación o rehabilitación.

Es importante mencionar que deben de participar tanto el gobierno estatal como municipal para obtener mejores resultados. Si bien, en el 2016 hubo una modificación al reglamento de limpieza de la ciudad (Periódico Oficial del Gobierno de Coahuila, 2016; Periódico Oficial del Gobierno de Coahuila, 2013), este no se aplica de manera estricta o adecuada por parte del municipio. Lo que es un indicio de la gran contaminación que se percibe en sitios no autorizados en distintos puntos de la ciudad.

Según el reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (2014), en el caso de las medidas de prevención y mitigación, se entiende como un conjunto de acciones que se deben de ejecutar para evitar y atenuar los impactos ambientales con la finalidad de restablecer o compensar las condiciones ambientales existentes antes de su perturbación. Las medidas incluyen actividades como: programas de concientización a los ciudadanos, campañas ambientales, rescate de especies que peligran en zonas cercanas a los sitios contaminados, desmonte y despalme, uso de maquinaria y equipo, compactación y nivelación del suelo y reforestación, creación y restitución de áreas verdes (Periódico Oficial del Gobierno de Coahuila, 2013); las cuales pueden implementarse exitosamente en la entidad.

De igual manera, se pueden clasificar los residuos para llevarse a los diferentes destinos para su disposición final; por ejemplo:

- Plásticos: centro de acopio o reciclaje.
- Residuos inorgánicos: relleno sanitario.
- Residuos de construcción: centros de acopio.
- Residuos de automotriz: centros de acopio.
- Residuos tecnológicos: centro de acopio.

Por otro lado, las medidas de remediación incluyen operaciones y actividades más específicas que, con base en estudios, se determina cuál es el mejor método para remediar el suelo según su grado de afectación. Estas medidas van desde tratamientos físicos, químicos o biológicos que permitirán dar un uso distinto al terreno en estudio y de llevarse a cabo, pues al ser espacios abiertos, será el municipio quien tendrá que cubrir los gastos que estos procedimientos impliquen (Semarnat, 2015).

Una alternativa viable y amigable para el medio ambiente es el reciclaje de los residuos de construcción. En países como Holanda, Bélgica y Dinamarca reciclan más del 80% de dichos residuos (Sánchez de Rojas, Marín, Frías & Rivera, 2001). Algunos otros como Finlandia, Austria y Reino Unido reutilizan el 45% de los residuos básicos de construcción y demolición (Gaitán, 2013). Ante tal perspectiva, en nuestro país se pueden implementar medidas legales y económicas para aquellas empresas que impliquen la reutilización, reciclaje y correcta eliminación de dichos residuos.

Finalmente, se estableció una relación con la licenciada Susana Estens de la Garza, titular de la Dirección del Medio Ambiente de Torreón, a quien se le presentó el proyecto elaborado por la universidad para dar a conocer los puntos críticos de contaminación en la ciudad y el área de mejora. El objetivo es que se tenga un mayor acceso a apoyos económicos y técnicos, tanto para las campañas, como para llevar a cabo los planes de remediación y restauración de los sitios contaminados.

PERSPECTIVAS FUTURAS

El presente estudio sentó las bases para que el gobierno municipal comience un plan de educación y concientización ambiental en el que se incluya y fomente la participación ciudadana, así como para acudir a las autoridades competentes para trabajar a la par en la mitigación y remediación de estas áreas afectadas por el crecimiento de la mancha urbana. Dicho compromiso fue adquirido por la directora del medio ambiente en Torreón para proponer una estrategia ambiental en un futuro inmediato. Por lo tanto, se dará un seguimiento en los próximos meses para valorar la disminución de los sitios contaminados en la ciudad.

CONCLUSIÓN

Se obtuvieron puntos con un alto grado de afectación que se localizaron principalmente en la zona aledaña al centro de Torreón debido a que es uno de los lugares más antiguos de la ciudad, razón por lo que ha aumentado la densidad de la población y RSU desde tiempo atrás. Se encontró que la causa principal de este problema está muy relacionada con las zonas más populares de la ciudad; lo cual nos indica que parte de los puntos más afectados son lugares en donde existen sectores socioeconómicos bajos de la población, en donde la gente no tiene el cuidado y conciencia adecuada para no contaminar ni degradar el ambiente.

Por otro lado, también es notorio que conforme se extiende la mancha urbana, es decir, se desarrolla la ciudad hacia la periferia, el aumento en el surgimiento de sitios potencialmente contaminados es proporcional, como en el sector norte de la ciudad. Este fenómeno se debe a la gran demanda habitacional de la población y las actividades de construcción que esto conlleva, así como el crecimiento industrial.

La metodología desarrollada en la elaboración de la matriz fue determinante para la clasificación de los contaminantes de la zona, así como

para priorizar el grado de afectación del sitio y brindar las estrategias de mitigación específicas para cada lugar.

La preocupación de la contaminación al ambiente se desglosa al darnos cuenta de que cada uno de los 23 puntos encontrados como contaminantes representan un riesgo, principalmente para la población, pues la mayoría de estos sitios están ubicados cerca de fraccionamientos o colonias muy pobladas e incluso escuelas. Algunos de ellos presentan gran volumen y extensión territorial. Además, son focos atencionales de salud ya que algunos residuos traen efectos directos o indirectos a las personas que habitan a poca distancia de la zona afectada. Se encontraron principalmente RCD, residuos rocosos, sólidos urbanos orgánicos e inorgánicos y, en casos más extremos, aquellos residuos que son derivados de la industria.

Por tanto, la generación de RCD es un problema considerable en la región que, por el crecimiento acelerado de la población, su volumen y flujo, afecta directamente la perspectiva ambiental, social y económica de la ciudad. De modo que es necesario implementar planes de prevención donde se haga un llamado a la población para que conozcan la situación en la que nos encontramos y se fomente la participación ciudadana con el propósito de reducir la contaminación por RCD y RSU.

Se debe mejorar la educación ambiental de la población de Torreón y, a la par, comenzar planes de manejo y rehabilitación de sitios contaminados con las autoridades competentes para reincorporar estos lugares, cuya mayoría son abiertos, y darles otro uso o, propiamente, mejorarlos.

No existe una cultura por parte de los ciudadanos ni el gobierno cuenta con programas para recolección de residuos de manera adecuada. Es importante la colaboración de los tres gobiernos para obtener mejores resultados, incluso establecer multas o sanciones a los responsables de contaminar. Para finalizar, el gobierno municipal ha tomado el compromiso para presentar un plan de mejora a estas áreas, brindar estrategias, otorgar espacios limpios y seguros en la ciudad de Torreón, Coahuila.

REFERENCIAS

- Boletín Oficial España (2009). Plan Nacional Integrado de Residuos para el Periodo 2008–2015. *Boletín Oficial del Estado*, España. Recuperado el 18 de febrero de 2018, de <https://www.boe.es/boe/dias/2009/02/26/pdfs/BOE-A-2009-3243.pdf>
- Diario Oficial de la Federación (2003). Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos. *Diario Oficial de la Federación*. México: Poder Ejecutivo.
- Diario Oficial de la Federación (2013, 1 de febrero). Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011. Que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo. *Diario Oficial de la Federación*. México: Poder Ejecutivo.
- El Tiempo (2012). ¿Quién responde por estas montañas de escombros? / Con nombre propio. *El Tiempo*. Recuperado el 18 de febrero de 2018, de <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-11563844>
- Federal Ministry of Transport, Buildings and Urban Affairs (2011). *Guideline for sustainable construction of public buildings*. Recuperado el 18 de febrero de 2018, de <https://www.bundesregierung.de/Content/EN/Behoerde/behoeerde-bmvbs.html>
- Fernández, L., Rojas, G., Roldán, T., Ramírez, M., Zegarra, H., Uribe, R. & Arce, J. (2006). *Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados* (pp. 111–112). México: Semarnat.
- Gaceta Oficial del Distrito Federal (2015, 8 de julio). Norma ambiental para el Distrito Federal NADF-024-AMBT-2013, que establece los criterios y especificaciones técnicas bajo los cuales se deberá realizar la separación, clasificación, recolección selectiva y alma-

- cenamiento de los residuos del Distrito Federal. *Gaceta Oficial del Distrito Federal*, Ciudad de México.
- Gaitán, M.A. (2013). *Lineamientos para la gestión ambiental de residuos de construcción y demolición (RCD) en Bogotá DC*. Tesis para obtener el grado de maestría, Pontificia Universidad Javeriana, Barranquilla, Colombia.
- Gobierno de Coahuila (1993). *Reglamento Limpieza*. Administración Pública del Ayuntamiento de Torreón, Coahuila. Recuperado el 18 de febrero de 2018, de <http://www.normatividadtorreon.gob.mx/reglamentos-abogados/reglamento-limpieza.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2010, 22-23 de marzo). *Marco Geoestadístico Nacional. Compendio de criterios y especificaciones técnicas para la generación de datos e información de carácter fundamental*. Aguascalientes: Inegi. Recuperado el 18 de febrero de 2018, de http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/INTERNET/16-%20marco_geoestadistico_nacional.pdf
- Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (2014, 31 de octubre). *Reglamento de la ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente en materia de evaluación del impacto ambiental*. Recuperado el 8 de marzo de 2018, de <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/148.pdf>
- López, J., Velázquez, J. & López, E. (2016). Problema de gestión en el aprovechamiento de residuos de la construcción y de la demolición (RCD) para la elaboración de elementos constructivos de la vivienda. *CienciAcierta. Revista de Divulgación científica*. Universidad Autónoma de Coahuila.
- Mas, J.F, Sorani, V. & Álvarez, R. (1996, 5 de octubre). Elaboración de un modelo de simulación del proceso de deforestación. *Investigaciones Geográficas (Mx)*. No.Es5, 43-57. Ciudad de México: Instituto de Geografía.
- Mercante, I., Bovea, M., Arena, P. & Martinengo, P. (2009, 24-25 de septiembre). Estudio Comparativo de los Aspectos Técnicos entre

- la Legislación de RCD en España y América Latina. En *II Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos*. Barranquilla, Colombia: Red de Saneamiento Ambiental / Universidad del Norte.
- Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (2007). Guía para la gestión integral de los residuos sólidos urbanos. Recuperado el 9 de marzo de 2018, de <https://open.unido.org/api/documents/4745768/download/GUIA%20PARA%20LA%20GESTI%C3%93N%20INTEGRAL%20DE%20LOS%20RESIDUOS%20S%C3%93LIDOS%20URBANOS>
- Organización Panamericana de la Salud / Organización Mundial de la Salud (2005). *Informe de la evaluación regional de los servicios de manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe*. Washington, DC: Organización Panamericana de la Salud / Organización Mundial de la Salud, Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental Unidad de Saneamiento Básico / Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente.
- Periódico Oficial del Gobierno de Coahuila (2013, 28 de mayo). Programa Estatal para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial para el Estado de Coahuila. *Periódico Oficial. Órgano del Gobierno Constitucional del estado independiente, libre y soberano de Coahuila, Zaragoza* (Primera Sección), *Tomo CXX, No.43*. Saltillo, Coahuila: Gobierno de Coahuila. Recuperado el 18 de febrero de 2018, de <http://www.sema.gob.mx/descargas/legal/extras/PERIODICO%20OFICIAL.pdf>
- Periódico Oficial del Gobierno de Coahuila (2016, 13 de diciembre). Reglamento de Limpieza para el Municipio de Torreón, Coahuila de Zaragoza. *Periódico Oficial. Órgano del Gobierno Constitucional del estado independiente, libre y soberano de Coahuila, Zaragoza* (Primera Sección), *Tomo CXXIII, No.100*. Saltillo, Coahuila: Gobierno de Coahuila. Recuperado el 19 de febrero de 2018, de http://legismex.mty.itesm.mx/estados/ley-coah/COAH-RM-Torreon-Limpieza2016_12.pdf

- Sánchez de Rojas, M.I., Marín, F.P., Frías, M. & Rivera, J. (2001). Viabilidad de utilización de materiales de desecho procedentes de productos cerámicos en prefabricados de hormigón. *Materiales de construcción*, 51(06), 263-264.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2008, octubre). *Programa Nacional de Remediación de Sitios Contaminados. Semarnat*. Recuperado el 18 de febrero de 2018, de http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/programas/Documents/Programa_Nacional_Remediacion_Sitios.pdf
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2012). *Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos. Secretaria del Medio Ambiente*. Recuperado el 9 de marzo de 2018, de <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/Documents/Ciga/libros2009/CD001408.pdf>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2015). *Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores Clave, de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde*. Ciudad de México.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2016). *Informe de la situación del medio ambiente en México. Informe técnico*. Ciudad de México: Semarnat.
- Servicio Geográfico Mexicano (2015). *Mapa de México*. Recuperado el 11 de marzo de 2018, de <https://www.sgm.gob.mx/GeoInfoMexGo-bMx/>
- Qgis (2018). Qgis (3.0.0) [Software]. Recuperado el 12 de marzo de 2018, de <https://www.qgis.org/es/site/>

Hidrología urbana con criterios de sustentabilidad*

ALFREDO URÍAS ANGULO
FRANCISCO ÁLVAREZ PARTIDA

Resumen: *en este capítulo, se analizan los criterios de sustentabilidad de los sistemas de drenaje pluvial urbano y se hace una comparativa entre dos proyectos aplicados en un desarrollo habitacional en un bioclima templado de México. Uno de los proyectos fue diseñado como un sistema convencional de manejo de aguas pluviales y el otro utilizando sistemas más sustentables llamados Sistemas Urbanos de Drenaje Sostenible (SUDS). El estudio se apoya en un análisis hidrológico y el software xpdrainage® de diseño y evaluación. También se menciona y concluye cómo los SUDS se pueden implementar en las regiones con este tipo de bioclima.*

Palabras clave: *manejo de aguas pluviales, desarrollo habitacional sustentable, impacto hidrológico cero, SUDS.*

Abstract: *In this chapter, the sustainability criteria of urban storm drainage systems are analyzed and a comparison is made between two projects, applied in a housing development, in a temperate bioclimate in Mexico. One of the projects was designed as a conventional storm water project and another using more sustainable systems, called Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS). The study is based on a hydrological analysis and on xpdrainage® software for design*

- *Agradecimientos:* Se agradece a la empresa XP Solutions por su asistencia y permisos para el uso del software xpdrainage® con licencia educacional, el cual fue de gran ayuda para expresar y entender mejor el proceso de diseño y análisis de un proyecto con SUDS.

and evaluation. It also mentions and concludes how SUDS can be implemented in regions with this type of bioclimate.

Keywords: *storm water management, sustainable residential development, zero hydrological impact, SUDS.*

PROBLEMÁTICA

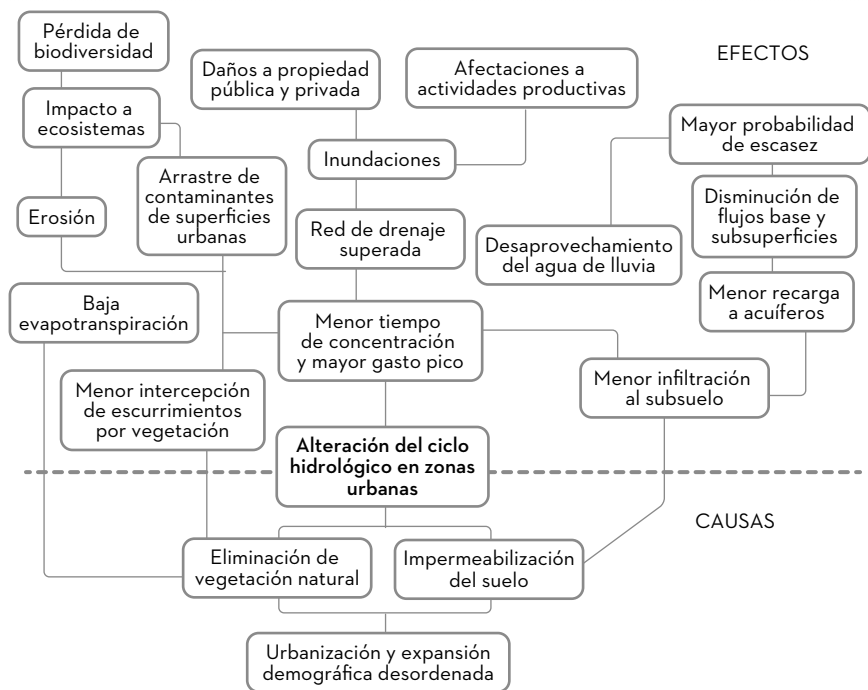
La problemática central que se analizará es el impacto a los elementos del ciclo hidrológico en zonas urbanas; se atribuye, como causa principal, la fuerte presión que el desarrollo urbano genera sobre las áreas naturales y suelos anteriormente agrícolas.

En la figura 3.1 se observa un árbol de problemas que muestran la interrelación y complejidad de una urbanización que produce grandes superficies impermeables como: eliminación de la vegetación natural, pérdida de biodiversidad y de evapotranspiración, baja en los flujos subsuperficiales y flujo base; y los distintos efectos que generan la problemática, como mayor cantidad de escurrimiento en un menor tiempo, el cual ocasiona arrastre de contaminante, erosión e impacta en los ecosistemas; un menor tiempo de concentración y volumen de agua a manejar, la cual supera la red de drenaje pluvial provocando inundaciones en zonas medias y bajas de la cuenca, daños materiales y afectaciones a la actividad productiva; menor infiltración al subsuelo, para recargar los acuíferos y mayor probabilidad de escasez.

Estos cambios que se generan al pasar de un estado natural a uno urbanizado, permiten que la evapotranspiración se vea reducida por la falta de vegetación y de humedad; el flujo superficial es mucho mayor y ocurre en un tiempo más corto debido a la impermeabilización del suelo, los flujos subsuperficial y base se reducen, y se tiene un caudal base más bajo.

Como se mencionó antes, hay importantes impactos ambientales de la urbanización a la calidad del agua de escorrentía. Este proceso es más intenso en las primeras lluvias del año, normalmente se le conoce como el efecto de primer lavado o “First flush” en inglés (Moynihan,

FIGURA 3.1 ÁRBOL DE PROBLEMAS SOBRE EL MANEJO DE AGUAS PLUVIALES URBANAS



2015). Está documentado que, en los primeros 25mm de lluvia, generalmente, se concentra el 95% de la carga contaminante en suspensión (Tucci, 2006). A esto se le conoce como contaminación difusa ya que no proviene de una fuente puntual detectable como una descarga sanitaria o industrial sino que proviene y se va acumulando desde varios puntos de una cuenca (Novotny, 1995).

Situación en el contexto de la región

En la zona metropolitana de Guadalajara (ZMG) se calcula que se hay alrededor de \$530 millones de pesos (30.57 millones de dólares) en pér-

didadas anualmente debido a las inundaciones, sin contar otros efectos negativos asociados a esta problemática (Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado, 2008).

La situación está siendo gestionada desde distintas iniciativas, como la construcción de más infraestructura de colectores y vasos reguladores, ampliación y mejora de cauces urbanos. Estas acciones, principalmente, vienen por parte de la Comisión Estatal del Agua (CEA), la Secretaría de Infraestructura y Obra Pública (SIOP), el Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado (SIAPA), en conjunto con la participación de empresas privadas de consultoría y construcción. En específico, se viene manejando desde 2008–2009 el Programa de Manejo Integral de las Aguas Pluviales (PROMIAP) como eje rector para definir la infraestructura que se construirá en el corto, mediano y largo plazo para mitigar las problemáticas asociadas (SIAPA, 2008). También, desde 2014, se ingresó en la Ley de Estatal de Aguas de Jalisco el artículo 86-Bis, aunque se practica desde 2008, aproximadamente, en los municipios de la ZMG.

Este artículo obliga a quien genere áreas impermeables mediante cualquier obra de construcción a que incluya, en sus proyectos, medidas o dispositivos de regulación del caudal pico para lluvias con un periodo de retorno de 10 años, denominada Impacto Hidrológico Cero (IHC) el cual busca que el caudal máximo urbanizado sea igual o menor que el que se presentaba en estado natural (o antes de urbanizarse) con el fin de ayudar a mitigar el nuevo exceso de volumen de aguas generado por cualquier construcción, sin embargo, existen más criterios, que deben tomarse en cuenta, para lograr un funcionamiento adecuado de estos sistemas en términos de sustentabilidad.

Conceptos y técnicas alternativas de manejo sustentable del agua pluvial

Existen diversos enfoques teórico–conceptuales en prácticas internacionales que están desarrollando estrategias que tengan un manejo del

agua más integral, teniendo en cuenta la sustentabilidad como un fundamento y atendiendo, a la vez, a la disminución de las problemáticas antes mencionadas. Dentro de estos enfoques, uno de los principales es el Desarrollo Urbano Sensible al Agua el cual se creó en Australia. Paralelamente, se han desarrollado otros conceptos como el Desarrollo de Bajo Impacto (LID), por sus siglas en inglés, la Infraestructura Verde en Estados Unidos y los SUDS como se les nombra en España y Reino Unido (Elliott & Trowsdale, 2007).

Los sistemas SUDS buscan cambiar la manera en que se maneja el agua pluvial, intentando controlar lo más cerca posible de la fuente mediante infiltración, evapotranspiración, detención y retención de una mayor cantidad de agua en el sitio (Novotny, Ahern & Brown, 2010). Este cambio hace falta en las estrategias que se han venido trabajando en la ZMG y por lo tanto es pertinente investigar sobre estos conceptos y sistemas para que sean implementados efectivamente, por lo que en este trabajo buscará justificar su uso en comparación con los sistemas que ya se utilizan en la región.

En el *software* que se utilizará para modelar los proyectos de manejo de aguas pluviales que se comparan, se utiliza un método de tránsito de hidrogramas en reservorios llamado Muskingum-Cunge el cual es descrito como un método hidrológico en reservorios o vasos, el cual es usado para determinar la atenuación al caudal pico que experimenta un hidrograma al entrar a un reservorio o algún otro tipo de espacio de almacenamiento. Los datos necesarios para este tipo de análisis son el hidrograma de entrada y las características del reservorio (almacenamiento e instalaciones de salida).

Los métodos hidrológicos están basados en el concepto de que el caudal de entrada, caudal de salida y almacenamiento deben adherirse al principio de conservación de masa o continuidad que se explicara a más adelante. El método Muskingum ignora la ecuación de momento y se basa solamente en la de continuidad y es aplicable para ondas de difusión (Molina-Aguilar & Aparicio, s.f.).

Asimismo, dentro del *software*, es necesario calcular la velocidad de flujo en conducciones cerradas a abiertas mediante la ecuación de Manning, la velocidad está en función del área hidráulica, la rugosidad del material y la pendiente longitudinal por la que se mueve (Sotelo, 1995).

OBJETIVOS

1. Demostrar la pertinencia y viabilidad técnico-económica de la implementación de algunos SUDS en el predio urbanizado de análisis, establecidos con el fin de resaltar algunos beneficios de manera cuantitativa en comparación con la infraestructura convencional.
2. Desarrollar dos sistemas de drenaje pluvial (convencional y con el uso de SUDS) funcionales hidráulicamente para lograr el Impacto Hidrológico Cero.
3. Comparar costos y cantidad de materiales necesarios para cada proyecto para realizar comparativa
4. Evaluar sistemas e identificar cuál es la mejor opción en términos de sus beneficios ambientales, sociales y económicos.
5. Concluir sobre los alcances de los hallazgos obtenidos en la comparativa de los dos proyectos.
6. Identificar y describir cómo pueden desarrollarse los SUDS a un nivel urbano más amplio en las zonas con las mismas características bioclimáticas, así como los beneficios que ofrecen en contraste con las prácticas actuales.

METODOLOGÍA

1. Identificar características del predio como usos de suelo, diseño urbano, dirección de escurrimientos, delimitación de microcuencas, ubicación de puntos de concentración.
2. Recoger información de intensidades de lluvia para el área de estudio.

3. Desarrollar los cálculos hidrológicos e hidráulicos que definirán el diseño de los sistemas comparados, calculando el caudal máximo mediante el Método Racional Americano.
4. Caracterizar proyecto de drenaje pluvial convencional separativo en los elementos que lo conforman, función y costos.
5. Ingresar información hidrológica a *software* de diseño especializado en SUDS (xpdrainage®), para generar hidrogramas de cada microcuenca del predio en análisis y conectar los caudales a los sistemas correspondientes.
6. Caracterizar proyecto de drenaje pluvial con SUDS en los elementos que lo conforman, dimensiones, función y costos.
7. Realizar un resumen comparativo de funcionamiento hidráulico general y costos paramétricos totales.
8. Identificar los beneficios ambientales, sociales y económicos identificados tanto para el predio específico como para cuencas urbanas de mayor tamaño.

ESTUDIO COMPARATIVO

Ambas propuestas, proyecto IHC y SUDS se aplicaron en un fraccionamiento ubicado en la parte alta de la cuenca de Arroyo Hondo al norte del municipio de Zapopan, Jalisco, México, a unos 150 metros al poniente del Bosque del Centinela. Consta de 2.7 hectáreas, en una zona bioclimática templada.

Hidrología básica del sitio

El objetivo del cálculo hidrológico es conocer los gastos máximos (o gastos picos) correspondientes a cada microcuenca del predio analizado, tanto los que se presentan naturalmente, así como los que se presentarán cuando se haya urbanizado.

El método elegido será el Método Racional Americano, preferido por su simplicidad y confianza, (Comisión Nacional del Agua, Conagua, 2007).

Usos de suelo

Para obtener el coeficiente de escurrimiento, es necesario ponderar los valores en relación con el área que representan, en la tabla 3.1 se muestra el cálculo resumido de todo el predio, el valor encontrado es igual a 0.7576, valor que ubica al predio en un alto grado de urbanización ya que como, se puede observar, el uso habitacional y de vialidades abarcan, aproximadamente, el 86%, si se le suma a esto el área de estacionamientos y equipamiento privado (en este caso es la casa club) queda solo 13% del total como área permeable.

Resultados de hidrología del predio

El fraccionamiento se dividió en 7 microcuencas, en la figura 3.3 se muestra la configuración urbanística y la delimitación de microcuencas que se determinó, la cual está en función la pendiente longitudinal y transversal de las vialidades, el arreglo de las manzanas y obstrucciones del flujo pluvial como topes, machuelos, banquetas, etcétera. Se pueden observar, además, las áreas verdes y la dirección de los escurrimientos pluviales que van hacia el suroeste en dirección al arroyo.

En la figura 3.2 se muestran los coeficientes de escurrimiento y gastos máximos para cada microcuenca, así como el gráfico del hidrograma urbanizado y natural para todo el predio, así como los datos básicos para el cálculo como la intensidad de lluvia, tiempo de retorno de diseño, tiempo de concentración y áreas de microcuencas.

A continuación, se mostrarán los dos diseños terminados, uno con infraestructura convencional y otro con el uso de sistemas SUDS, con el fin de realizar comparación final de beneficios y de costos paramétricos.

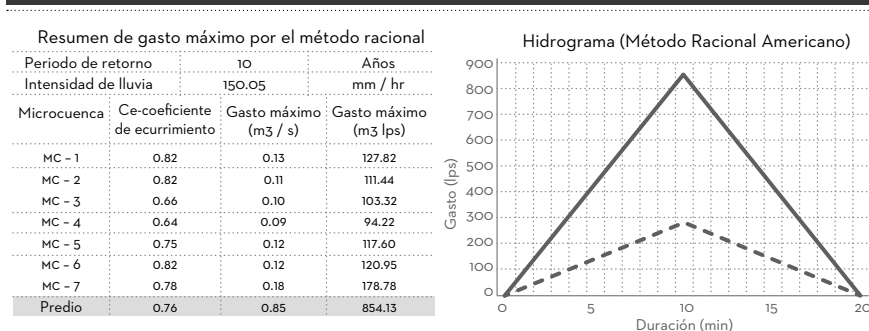
Proyecto convencional de IHC

El sistema IHC consta de 5 bocas de tormenta, una red de tuberías de PVC con pozos de visita, una cuneta de concreto y dos depósitos sub-

TABLA 3.1 RESULTADO DE COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO PARA CADA USO DE SUELO DEL PREDIO

Uso de suelo	Ce	Área en m ²	Porcentaje total	Ce Ponderado
Habitacional H4-H	0.80	15581.81	57.65%	0.46
Áreas verdes	0.25	3466.48	12.83%	0.03
Vialidades	0.90	7370.75	27.27%	0.25
Estacionamientos	0.90	247.27	0.91%	0.01
Equipamiento	0.80	360.40	1.33%	0.01
Total		27026.70		0.7576

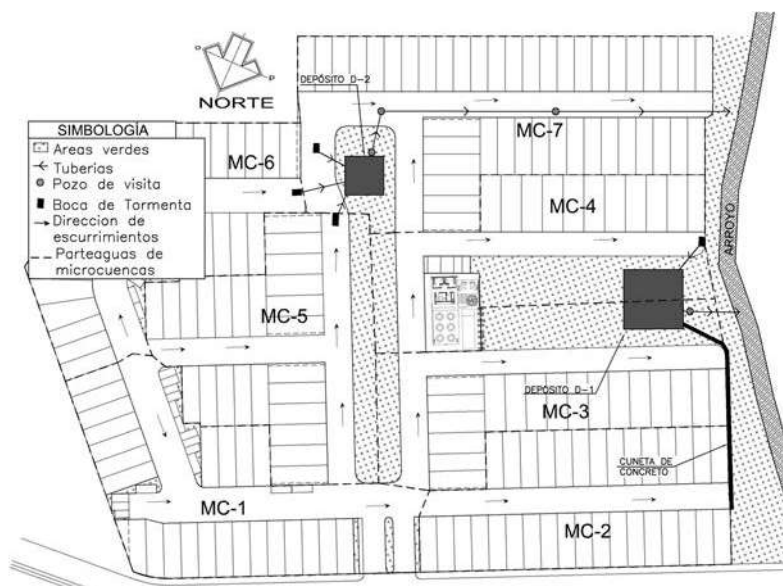
FIGURA 3.2 HIDROGRAMA CARACTERÍSTICO DEL DESARROLLO (DERECHA) Y GASTOS MÁXIMOS (IZQUIERDA)



terráneos con estructura de concreto, muros de mampostería y base permeable para facilitar la infiltración. Los dos depósitos detienen la lluvia y la van desfogando lentamente hacia el arroyo como se muestra en la figura 3.3.

En la figura 3.3 se muestra el proyecto de infraestructura IHC de manera conceptual para facilitar su visualización, además se muestran las microcuencas de análisis y la dirección de los escurrimientos pluviales sobre la vialidad.

FIGURA 3.3 DIBUJO CONCEPTUAL DEL PROYECTO CONVENCIONAL



Como se puede observar, la cuneta de concreto recibe los escurrimientos de las microcuencas 1, 2 y 3. Una boca de tormenta recoge lo de la 4 y conduce hacia el depósito de tormentas denominado D-1. Las 3 bocas de tormenta en la parte sureste conducen hacia el depósito de tormenta D-2. El depósito D-1 tiene unas dimensiones de 16 x 16m en planta, con 0.95 m de altura, y el depósito D-2 es de 10 x 10m en planta y 1.10m de altura. Ambos desfogan hacia el arroyo entre 20 y 25 horas después de la tormenta debido a que el canal de salida es de un diámetro reducido, el volumen de agua, que queda en la parte baja, se vacía por infiltración.

Este diseño tiene un funcionamiento hidráulico adecuado ya que sus tuberías tienen la capacidad suficiente para conducir el gasto máximo calculado y los depósitos regulan el gasto pico para reducirlo al de gasto en breña, lo requerido para cumplir con el Impacto Hidrológico Cero.

Proyecto con SUDS

En función de la configuración urbana, las áreas para aplicar los sistemas SUDS, será en 2 grandes áreas verdes; una, en medio del predio, y otra, al lado del arroyo, mientras que la del medio resulta la adecuada para aplicar sistemas de biorretención, cuneta verde y una detención pequeña, donde se intercepte y trate parte importante del volumen de agua, y en la parte baja, en el área adyacente al arroyo, será adecuada para contar con un sistema de conducción de cuencas verdes que dirijan el flujo hacia un estanque de detención, si no es suficiente, se agregarán zanjas y pozos de infiltración.

Lo primero, será explicar que el sistema funciona hidráulicamente para lograr el Impacto Hidrológico Cero, seguido se detallarán los beneficios que ofrece el sistema en comparación con el convencional especialmente en la dimensión ambiental y finalmente se revisarán los costos de construcción y la cantidad de materiales y actividades necesarios.

El diseño de estos sistemas se apoyó, como ya se mencionó antes, en un *software* especializado de diseño de SUDS llamado xpdrainage® el cual, de manera visual, y cuantitativa permite manejar el proceso de diseño y evaluación. Genera modelos sencillos de una y dos dimensiones utilizando las ecuaciones de Manning para el análisis de conducciones y la ecuación de almacenamiento Muskingum–Cunge para el análisis de los sistemas SUDS, la cual calcula el tiempo de traslado y el coeficiente de retención de cada subsistema.

Para comprobar, de manera sencilla, el funcionamiento hidráulico y tener una base comparativa confiable, se utilizó el mismo método de cálculo de los hidrogramas que se utiliza para cualquier proyecto pluvial de la ZMG, que es lo que determina el diseño de volumen de los sistemas. El tiempo de concentración, para todas las cuencas se tomó como 10 minutos, por lo que el caudal pico se presenta en todo el desarrollo en este momento, mismo que también se calculó con la fórmula del

TABLA 3.2 RESUMEN DE EVALUACIÓN DE LOS SISTEMAS SUDS

Sistema SUDS	Nivel máximo (m)	Profundidad máxima (m)	Caudal entrante máximo (lt / s)	Volumen inundado máximo (m ³)	Caudal de salida máximo (lt /s)	Porcentaje disponible (%)	Estatus
Biorretención 1	583.95	1.62	122.1	0.000	22.2	0.00	OK
Cuneta Verde 2	582.51	1.21	133.7	0.000	77.2	93.36	OK
Depósito D-2*	580.77	0.97	190.9	0.000	36.2	19.50	OK
Cuneta Verde 1	580.15	0.35	266.0	0.000	273.5	100.00	OK
Estanque de detención	578.20	1.00	341.6	0.000	39.9	27.61	OK
Zanja de infiltración	578.89	0.74	90.0	0.000	0.0	44.72	OK
Cuneta verde 3	578.59	0.39	73.5	0.000	71.3	8.66	OK
Pozo Absorción	575.76	5.76	36.1	0.000	27.6	6.07	OK
Arroyo	574.72	0.72	193.6	0.000	0.0	70.92	OK

Fuente: elaboración propia con el software xpdrainage®.

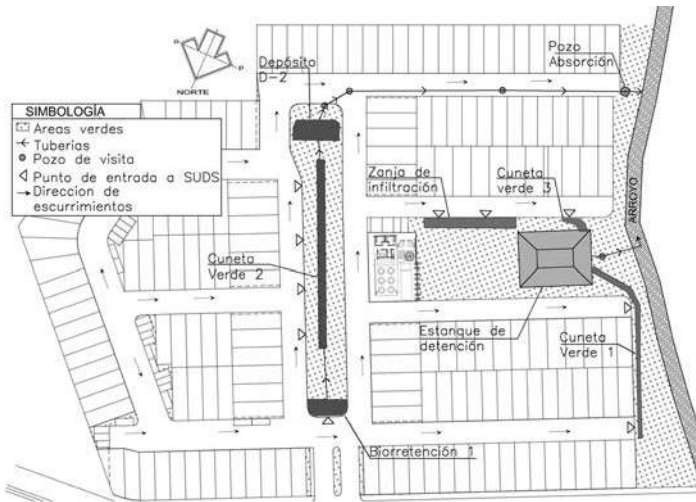
Método Racional Americano. Para el dimensionamiento de las tuberías se utiliza la fórmula de Manning.

La tabla 3.2 muestra los sistemas del diseño final utilizados con su nombre y los parámetros principales de evaluación que sirven para comprobar el correcto funcionamiento.

Ubicación y dimensionamiento de los sistemas

En la figura 3.4 se observa la ubicación en planta de los sistemas SUDS, los cuales se pueden categorizar en sistema de tratamiento, conducción, infiltración, detención, aunque cada técnica puede realizar varias funciones y dependiendo de los objetivos y criterios de diseño definidos que se busquen será su dimensión y ubicación (Construction Industry Research and Information Association, CIRIA, 2007).

FIGURA 3.4. UBICACIÓN Y TIPOS DE SISTEMAS suds UTILIZADOS



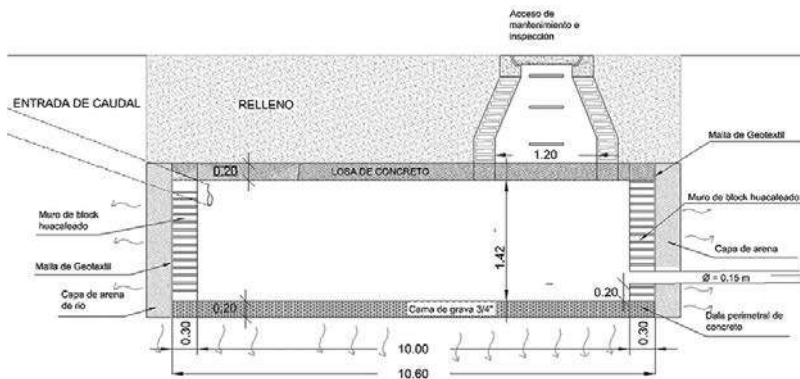
Se tiene entonces que, en este desarrollo de 2.7 hectáreas, se utilizó un sistema de biorretención, 3 cunetas verdes, dos depósitos de regulación (estanque de detención y depósito D-2), una zanja de infiltración y un pozo de absorción.

El sistema de biorretención se conforma por un área con vegetación y plantas de 65m², una capa de filtrado de 1.2m de profundidad, una capa de drenado con grava 3/4" de 0.30m, y cuenta con un sistema de tubería perforada en el fondo para drenar, hacia la cuneta verde 2. Las cunetas verdes funcionan como conducción superficial hacia el estanque y el depósito D-2, las cuales son canales vegetados o empastados. Tienen dimensiones de base de 1.00m y ancho del espejo de agua de entre 1.5 y 2m, con tirantes máximos entre 40 y 60cm, respectivamente. La cuneta 2, además de conducir, tiene una zanja de 1 x 1m (ancho-alto) que por debajo está rellena de grava para facilitar la infiltración. La cuneta verde 3 tiene de base 1.00m y de espejo de agua máximo 2.00m, con un tirante máximo de 30cm, y una longitud de 11m, este conduce el gasto de la microcuenca 4 hacia el estanque.

TABLA 3.3 CÁLCULO HIDROLÓGICO GENERAL DEL PREDIO Y DATOS BÁSICOS DE PRE-DIMENSIONAMIENTO

Área	Superficie	Ce	Lc	Tc	Tr	Intensidad de lluvia	Caudal máximo	Volumen necesario detención
	Has		metros	minutos	años	mm / hr	m ³ / s	m ³
Total (urbano)	2.703	0.76	231.3	10	10	150.05	0.854	512.48
Total (breña)	2.703	0.25	231.3	10	10	150.05	0.282	169.10
Diferencia		0.51					0.572	343.38

FIGURA 3.5 DEPÓSITO PLUVIAL SUBTERRÁNEO DE DETENCIÓN



Vista en corte longitudinal

El estanque de detención se conforma por un área de base de 72m² y crece a 432m² por sus taludes, es un vaso o laguna seca que detiene temporalmente el agua pluvial. El depósito de tormenta D-2 tiene las mismas características y dimensiones que en el proyecto de drenaje convencional (véase figura 3.5). La zanja de infiltración consta de 30m de largo, por 1.50m de ancho y 1.00m de altura, se rellena con grava o gravilla y no lleva taludes. Y por último el pozo de infiltración es de 7 metros de profundidad y 1.40m de diámetro.

Al final de la tabla 3.2 se incluye el “arroyo”, para poder observar el caudal de entrada máximo, la finalidad es ver si el caudal que recibe supera al que se presenta en estado natural para el mismo periodo de retorno. El estatus OK muestra que no se presenta un nivel más alto que el nivel de excedencia del sistema que genera la inundación de este. Este dato, en conjunto con los caudales de entrada y salida máximos, son los principales a observar para evaluar el correcto desempeño hidráulico.

El caudal máximo en breña que se presenta en el desarrollo es de 282 lps, como lo muestra la tabla 3.3, por lo que el gasto que recibe el arroyo en el proyecto de SUDS cumple con el Impacto Hidrológico Cero. Los principales sistemas para lograr esto y que atenúan mayormente el gasto, como se mostró en la tabla 3.2, son los sistemas de detención, el depósito D-2 y el estanque de detención, los cuales reducen caudales de 190.9 lps y 341.6 lps a 36.2 lps y 39.9 lps respectivamente.

Entonces se ha comprobado que el sistema propuesto funciona hidráulicamente para lograr el Impacto Hidrológico Cero, lo siguiente será obtener costos paramétricos para este sistema, sin tener en cuenta costos de mantenimiento y / o operación necesarios.

DISCUSIÓN

A continuación, se muestran las tablas y gráficos comparativos tanto de la función hidráulica, costos y uso de materiales para justificar el uso de SUDS como alternativa sustentable de manejo de las aguas pluviales. La figura 3.6 muestra el hidrograma de entrada, el cual es igual en ambos casos, y los de salida, la figura compara ambos sistemas.

Como se puede observar en el gráfico (véase figura 3.6), la reducción del gasto máximo de salida por debajo del gasto máximo en estado natural si se logra en ambos sistemas, se encuentra alrededor de los 25 lps, lo que dice que ambos son funcionales en el cumplimiento del Impacto Hidrológico Cero.

FIGURA 3.6 GRÁFICO COMPARATIVO DE HIDROGRAMAS DE SALIDA ENTRE SISTEMA DE DRENAJE PLUVIAL CONVENCIONAL Y CON SUDS

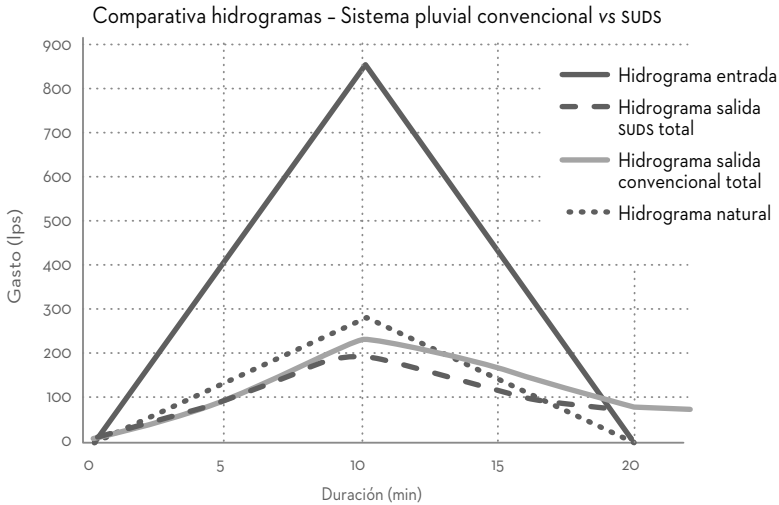


TABLA 3.4 COMPARATIVA DE COSTOS PARAMÉTRICOS ENTRE AMBAS ALTERNATIVAS DE DRENAJE PLUVIAL

Comparativa de costos paramétricos totales

Alternativa	Importe	Referencia proporcional
Convencional IHC	\$556,698.54	100.00%
Con SUDS	\$403,315.10	72.45%
Diferencia	\$153,383.44	

En cuanto a los costos, la tabla 3.4 resume y compara los resultados obtenidos en costos necesarios, la cual muestra que el uso de SUDS puede ofrecer una reducción del 37% del costo en comparación con el sistema convencional, con datos actualizados por inflación al 2017:

La tabla 3.5, nos resume el resultado de la comparativa en el uso de materiales y excavación. Como se puede observar los beneficios se

TABLA 3.5 COMPARATIVA EN USO DE MATERIALES Y EXCAVACIONES PARA AMBAS ALTERNATIVAS

Comparativa en uso de materiales y excavaciones					
Material	Unidad	A= Alternativa convencional	B= Alternativa con SUDS	Diferencia = B - A	Proporcional = $1 - (B / A)$ %
Excavaciones	m ³	1452.95	1686.56	233.60	+16 %
Concreto	m ³	31.49	17.46	-14.03	-45 %
Block 10x20x40	pzas	11740.00	4940.00	-10208.00	-58 %
Acero	Ton	3.02	1.68	-1.35	-45 %
Grava 3 / 4"	m ³	71.20	117.84	46.64	+ 66 %
Arena	m ³	75.74	93	17.26	+ 23 %
Malla geotextil	M ²	209.96	125.93	-84.03	-41 %
Tubería PVC 6"	m	0.00	34.03	34.03	NA
Tubería PVC 10"	m	142.29	128.71	-13.58	-10 %
Tubería PVC 12"	m	20.81	0	-20.81	NA

reflejan en el ahorro económico, la regulación del agua en el origen para mitigar inundaciones aguas abajo y en que se mejorará la calidad del agua efluente. En el caso del uso de concreto, block, acero y tubería se redujo de manera importante, lo que clarifica aún más el carácter sustentable de este proyecto, ya la huella ecológica que estos tienen es significativa (Berge, 2009).

En el caso de las excavaciones, hubo un incremento, así como en el uso de grava y arena, debido a que en todos los casos estos materiales involucran mayor uso de espacio superficial y creación de trincheras en el caso de la cuneta verde 2 para mejorar la infiltración.

Beneficios en calidad del agua y a la comunidad

Entre los beneficios que ofrecen los SUDS en contraste con los sistemas convencionales, podemos encontrar que llevan a cabo procesos que le dan un tratamiento al agua pluvial al eliminar contaminantes

presentes en las superficies urbanas, por ejemplo, sólidos suspendidos, metales pesados, bacterias, nutrientes (fósforo, nitrógeno), entre otros. Como parte de los alcances de esta investigación, no se hizo un análisis cuantitativo de la remoción de contaminantes estimada con los sistemas aplicados, sin embargo, la literatura guía sobre qué procesos lleva a cabo cada sistema y cuál es el potencial, de dichos procesos, para remover cada contaminante presente.

El artículo “Development of a multi-criteria index ranking system for urban runoff best management practices (BMPs) selection” (Jia, Tang, Lu, Yao, Yu & Zhen, 2013) desarrolla un índice multicriterial para seleccionar, de manera cualitativa (nulo, bajo, medio, alto), el potencial de cada sistema y proceso involucrado.

El proyecto con SUDS utilizó 5 sistemas diferentes que cubren la mayoría de los procesos necesarios, de entre estos, los mejores para remoción de contaminantes son la sedimentación, adsorción, infiltración, biodegradación, filtración y retención vegetal. Para la eliminación de sólidos suspendidos, los mejores procesos son la sedimentación y la filtración, donde el estanque de detención y la zanja de infiltración tienen alto potencial. En el caso del nitrógeno, los procesos de adsorción, infiltración y retención vegetal son los mejores, y los sistemas que mejor cumplen dichos procesos son la zanja de infiltración y biorretención. Y como última mención para eliminar el fósforo, el mejor proceso es la retención vegetal, la cual se presenta en mayor medida en la biorretención y en las cunetas de verdes.

Aceptación de la comunidad

Es también fundamental, en el proceso de selección y diseño de un proyecto pluvial con SUDS, asesorar los posibles conflictos que pueden generar la implementación de los sistemas con la comunidad que habita los espacios. Para esto, el manual de SUDS de CIRIA (2007) presenta matrices que asisten la selección, en el caso de los sistemas aplicados en este capítulo; los sistemas con mayor aceptación comunitaria son las

biorretenciones y el estanque de detención, y los demás, normalmente, tienen una aceptación media. El manual especifica que las cunetas verdes y el estanque pueden generar algunas preocupaciones de seguridad por parte de los habitantes, asociado con el contacto directo con una superficie de agua, y sugiere que dichos detalles deben ser atendidos en la etapa de diseño.

Infiltración realizada e implicaciones

En el proyecto con SUDS, el *software* calculó que se puede infiltrar, aproximadamente, un volumen de 7.90 m³, esto, durante el transcurso de la lluvia de 20 minutos, con un coeficiente de permeabilidad K de 2.35×10^{-6} m / s. Este es un valor bueno teniendo en cuenta la corta duración del evento, pero a eso se le suma lo que continua infiltrándose durante las siguientes horas hasta que se vacíen los sistemas, lo que da un total de, aproximadamente, 70 m³. Los sistemas que aportaron a estos resultados fueron el pozo de infiltración, la biorretención y la zanja de infiltración.

La decisión de utilizar sistemas de infiltración implica tener conocimiento de la permeabilidad, tipo de suelo y usos de suelo de las áreas de aportación. Y para conservar la capacidad, hay que dar un buen mantenimiento preventivo y correctivo con tal de eliminar azolves, proceso que normalmente se hace en los fraccionamientos, por lo cual no se considera un gasto extra. En los casos en que el agua que reciben los sistemas tiene alto nivel de contaminantes, se deben utilizar geotextiles para cubrir la zona en contacto con el suelo y evitar el paso de estos al subsuelo.

APLICACIÓN DE SUDS A ESCALA URBANA

Enfocado, el planteamiento desarrollado al contexto urbano o de cuencas urbanizadas, también se pueden planear e implementar SUDS y tener mayores beneficios hidrológicos, sociales, económicos y ambientales.

Para realizar esto, según las investigaciones realizadas, una primera etapa debería ser llevar a cabo presentaciones y ponencias con el objetivo de sensibilizar y persuadir a actores responsables y comunidad académica principalmente sobre los motivos y beneficios que ofrecen los sistemas SUDS en comparación con las prácticas convencionales. En segunda instancia, llevar a cabo investigación, desarrollo, prueba y monitoreo de todos los tipos de SUDS en distintos contextos de un área urbana para medir y conocer su funcionamiento hidráulico, mejoras en calidad del agua y aceptación de la comunidad.

Posteriormente, es posible definir manuales locales para el diseño de los sistemas y crear las normas o legislación que obligue o incentive la integración de estos sistemas en proyectos de desarrollo urbano.

Además, puede haber otros enfoques para abordar la problemática. Por ejemplo, detectar necesidades y objetivos específicos por cuencas o subcuencas urbanas en función de las distintas condiciones topográficas, hidrográficas, edafológicas, geológicas, urbanas, etcétera. Esas necesidades y objetivos pueden modificar los criterios de diseño y, por ende, la manera en que se aborde un proyecto urbano.

Por ejemplo, un objetivo de una cuenca podría ser proteger la calidad del agua de un lago o río que es de alto valor ecológico o productivo, lo que significa que se daría mayor importancia a usar sistemas con mejor eficiencia para eliminar contaminantes y los que reduzcan los desbordes de colectores combinados hacia el medio ambiente.

Otro objetivo podría ser proteger y recargar los mantos freáticos que se encuentran sobreexplotados dándole mayor enfoque a tener sistemas que favorezcan la infiltración y captación del agua de lluvia. Otro ejemplo sería también proteger zonas con alto riesgo y vulnerabilidad ante la inundación dando prioridad a los sistemas de detención y regulación de gran volumen, entre otros objetivos estratégicos posibles.

Definir dichos objetivos y necesidades estratégicas son de gran importancia y utilidad para dirigir más eficientemente los recursos, no estandarizar soluciones y con esto, dar herramientas a los tomadores de decisiones para que se prioricen adecuadamente las acciones.

Para el caso concreto de la zona metropolitana de Guadalajara, los autores detectan y proponen algunas ubicaciones con alta viabilidad para etapas iniciales de implementación de SUDS. Los factores favorables son su ubicación alta en la cuenca que se insertan, una buena extensión de áreas verdes que facilitaría la construcción de mayor cantidad de SUDS y el alto nivel socioeconómico de la población que vive ahí, lo que sería de ayuda en cuanto a gastos de mantenimiento que requieren dichos sistemas.

Estas zonas forman parte de las Cuenca de Atemajac y del Ahogado, donde ambas sufren de constantes y cada vez más recurrentes inundaciones cada año en las partes medias y bajas de las cuencas; como ejemplo, una de las más afectadas son la zona del Canal Patria y el tramo del Río Atemajac desde Federalismo a Periférico Norte, en el caso de la Cuenca Atemajac. Y en la cuenca del Ahogado se presentan en varios puntos del valle, como en las colonias San Sebastián el Grande, Villas de la Hacienda, Fraccionamiento Real del Valle, entre otras.

Las zonas propuestas para la implementación de SUDS a mayor escala son, en la Cuenca de Atemajac, las que se encuentran a ambos costados de la Avenida Patria, en las cercanías de la Universidad Autónoma de Guadalajara (UAG), Andares y el Bosque Colomos, algunas de estas colonias son Royal Country, Colinas de San Javier, Lomas de Providencia; otro punto más aguas arriba es la colonia Valle Real, ubicada al oriente de la Avenida Aviación.

En la cuenca del Ahogado, se trata de la zona entre el Bosque de la Primavera y la Avenida López Mateos, en colonias como El Palomar, la Rioja, Bosques de Santa Anita, entre otras, lo que favorece la restauración hidrológica de las faldas del bosque.

El uso de SUDS es complementario a la infraestructura convencional y aplicándolos se obtienen beneficios añadidos. Algunos de los que no se han mencionado y son de importancia son la reducción de costos y energía consumida en tratar aguas residuales y en bombeos de aguas superficiales, este rubro es frecuentemente uno de los más intensivos en uso de energía por parte de los organismos de agua, representando

hasta 35% del uso de energía municipal (Natural Resources Defense Council, NRDC, 2009).

Como último punto, se debe mencionar la multifuncionalidad y variedad de combinaciones posibles para cumplir con distintos criterios, ya que la mayoría de los SUDS tiene la capacidad de tener varios procesos, entre ellos, el de control hidráulico, tratamiento de agua, amenidades y cuidado de la biodiversidad, los resultados estarán en función del diseño final y los objetivos buscados.

CONCLUSIONES

Al compararse dos sistemas de manejo de agua pluvial para desarrollos habitacionales en bioclima templado de México, uno con IHC y el otro con SUDS, se encontró que ambos cumplen con la regulación de los flujos superficiales de agua en eventos de lluvia al reducir el gasto máximo por debajo del que se presentaba en estado natural, con lo que se logra evitar altas escorrentías en tiempos cortos y por lo tanto, inundaciones en las partes media y baja de la cuenca, cuando la red de drenaje pluvial o los cauces naturales se ven superadas, evitando, finalmente, los daños económicos y la pérdida de actividades productivas.

Se analizaron criterios económicos y de utilización de materiales y se demostró que los SUDS son significativamente más económicos y utilizan una menor cantidad de materiales en su construcción.

Pero, además, los SUDS imitan en mejor manera al sistema natural de acuerdo a los siguiente criterios: contribuyen a mantener la biodiversidad y la humedad en el ambiente, contribuyen a evitar la contaminación difusa y a mantener el ciclo corto del agua y mitigar el cambio climático, favorecen la infiltración al permitir el abastecimiento de los flujos subsuperficiales y los flujos base, permiten el contacto del ser humano con la naturaleza y mediante el paisajismo se pueden convertir en elementos estéticos y en amenidades multifuncionales, según la época del año.

Se sugieren sitios de aplicación, algunos de ellos ya establecidos en los programas y planes para el manejo de aguas pluviales, se recomienda investigar estas alternativas para buscar los recursos económicos necesarios para su desarrollo e implementación, así como para investigar la remoción de contaminantes que realizan los SUDS, para ver la calidad del agua infiltrada.

Es fundamental, además, complementar estos sistemas con el desarrollo de estrategias no-estructurales, como la educación comunitaria, normativas, prevención, legislación, planeación, entre otras, con el fin de lograr su integración efectiva en la infraestructura de la ciudad.

REFERENCIAS

- Abellán, A. (s.f.). *Los impactos de la urbanización en el ciclo del agua*. iAgua. Recuperado el 1 de junio de 2016, de <https://www.iagua.es/blogs/ana-abellan/impactos-urbanizacion-ciclo-agua>
- Berge, B. (2009). *The Ecology of Building Materials*. Oxford, Inglaterra: Architectural Press.
- Comisión Nacional del Agua (2007). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Alcantarillado pluvial*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Tlalpan.
- Construction Industry Research and Information Association (2007). *The SUDS Manual*. Londres: CIRIA C697.
- Elliott, A.H., & Trowsdale, S.A., (2007). A review of models for low impact urban stormwater drainage. *Environmental Modelling & Software*, No.22, 394-405.
- Jia, H., Tang, Y., Lu, Y., Yao, H., Yu, S.L., & Zhen, J.X. (2013). Development of a multi-criteria index ranking system for urban runoff best management practices (BMPs) selection. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185(9), 7915-7933.

- Molina-Aguilar, J., & Aparicio, J., (s.f.). Flood routing in rivers by artificial neural networks. *Ingeniería Hidráulica*. Mexico, 21(4), 65-86.
- Moynihan, A. (2015). *First-fluh Retention*. Recuperado el 15 de junio de 2016, de https://webcms.pima.gov/UserFiles/Servers/Server_6/File/Government/Flood%20Control/Rules%20and%20Procedures/Stormwater%20Detention-Retention/BrownBag_May_6_2015.pdf
- Natural Resources Defense Council (2009). "Water efficiency saves energy: reducing warming pollution through water use strategies. *Water Facts*. Recuperado el 26 de febrero de 2018, de <https://www.nrdc.org/sites/default/files/energywater.pdf>
- Novotny, V. (1995). *Pollution and Urban Stormwater Management*. Lancaster: TECHNOMIC Publ. Co.
- Novotny, V., Ahern, J., & Brown, P. (2010). *Water centric sustainable communities: planning, retrofitting, and building the next urban environment*. Hoboken, N.J.: Wiley.
- Sistema Intermunicipal de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado (SIAPA) (2008). *Ficha Técnica Informativa sobre el programa de manejo integral de aguas pluviales en la Zona Metropolitana de Guadalajara, PROMIAP*. Guadalajara. Recuperado el 12 de junio de 2016, de http://www.siapa.gob.mx/sites/default/files/doctrans/ficha_tecnica_promyap.pdf
- Tucci, Carlos E.M, (2007). *Gestión de Inundaciones Urbanas*. Brasil: Organización Mundial de la Salud y Organización Meteorológica Mundial. Recuperado el 19 de agosto de 2014, de http://www.apfm.info/pdf/Urban_Flood_Management_Es_low.pdf
- Sotelo, G. (1995). *Hidráulica general: fundamentos*. México: Editorial Limusa.

II. Tecnología para la edificación sustentable

De redes inteligentes a comunidades inteligentes: la evolución de las redes para una nueva infraestructura social

PIERFRANCESCO CELANI
ERMINIA D'ALESSANDRO
ROBERTA FALCONE

Resumen: *en las ciudades que van perdiendo sus dimensiones de ecosistema y de identidad, las “infraestructuras” representan el medio para unir el territorio y devolver una identidad a la comunidad. Este artículo presenta una actualización del término “infraestructura”, elaborado en el proyecto de investigación “RES NOVAE (Reti, Edifici, Strade, Nuovi Obiettivi Virtuosi per L’Ambiente e l’Energia)” llevado a cabo por la Università della Calabria conjuntamente con empresas privadas (IBM, GE, ENEL) e investigaciones públicas. Se propone la realización de una Human Smart City en la ciudad de Cosenza, integrando las redes inteligentes energéticas, con una compleja infraestructura social.*

Palabras claves: *redes inteligentes human smart city, infraestructura social, espacios públicos innovadores.*

Abstract: *In cities that are losing their ecosystemic dimension and their social identity, “infrastructures” represent a means for uniting the territory and giving an identity back to the community. This article proposes an updated meaning of the term “infrastructure,” as formulated in the research project “RES NOVAE (Reti, Edifici, Strade, Nuovi Obiettivi Virtuosi per L’Ambiente e l’Energia)” conducted by the Università della Calabria in conjunction with private companies (IBM, GE, ENEL) and public researchers. The creation of a Human Smart City is proposed*

for the city of Cosenza, integrating smart energy grids with a complex social infrastructure.

Keywords: *smart networks, human smart city, social infrastructure, innovative public spaces.*

DE CONTEMPORÁNEO A INTELIGENTE (SMART)

El empeoramiento de la calidad de vida en muchas ciudades que han crecido a un ritmo veloz y que se han convertido en lugares inhabitables e ineficaces en el uso de los recursos primarios (energía y agua), plantea el problema de repensar la estrategia utilizada para la planificación del desarrollo de los territorios y de las ciudades.

El análisis de los problemas ambientales se encuentra estrechamente relacionado con el análisis del contexto humano, familiar, de trabajo, urbano y de la relación que cada persona tiene con el medio ambiente. Esta mirada amplia prevé que la tecnología se convierta en una “herramienta” fundamental para una mejor distribución de los recursos y no la última prioridad en el concepto de la *Ciudad Inteligente*.

El rol de la formación es imprescindible en el crecimiento cultural de las comunidades que hoy, más que nunca, son convocadas para compartir y expresar una opinión consciente sobre las orientaciones de la gobernanza inteligente (*Smart governance*). El grado de satisfacción que cada uno tiene al vivir en un ambiente urbano acogedor, y su libertad de expresión creativa (*Smart living*), tienen que ser las principales preocupaciones de los administradores de las Ciudad Inteligente.

De hecho, una comunidad inteligente es un lugar en donde se realiza un nuevo humanismo de la tecnología, un organismo vital en el cual todas sus partes están relacionadas entre sí. No gasta recursos que tendrían que ser reservados para las generaciones futuras, y no pretende dominar el ambiente sino que usa la tecnología para incrementar la eficiencia energética, subir el nivel cultural y permitir la distribución de los recursos (Riva, 2015).

La infraestructura urbana: entre redes materiales e inmateriales

En la nueva Ciudad Inteligente se articulan, superponen, entrecruzan y conectan redes materiales e inmateriales en una compleja estructura relacional que asegura la supervivencia del sistema urbano. Las redes materiales, las infraestructuras, son aquellas alrededor de las cuales se desarrolla la ciudad: Las redes de movilidad y de energía (Fistola, 2015).

Sin embargo, hay que tener en cuenta que el rol de las infraestructuras fue el medio por el cual se desarrollaron los procesos de urbanización entrópicos que modificaban totalmente contextos naturales de conocido valor ambiental (Arboleda, 2015).

A estas redes, que históricamente han articulado, estructurado y diseñado el tejido urbano, se les añade y superpone otras que, hoy en día, son indispensables para la ciudad. Tales como aquellas que abarcan el componente socio-antrópico, que no solo genera las redes físicas sino que también representan un elemento vital. Además, las nuevas tecnologías permiten la generación de redes, a través de las cuales, la sociedad es capaz de intercambiar información, direccionar temáticas específicas, participar de elecciones, aportar preferencias, etcétera.

Existe una evidente distinción entre los tipos de redes: las redes infraestructurales son parte de un sub-sistema físico de la ciudad, definen el aparato circulatorio que distribuye los flujos y garantizan la supervivencia del componente socio-antrópico y de la ciudad entera. Las redes inmateriales, por el contrario, son aquellas que unen a los ciudadanos, los grupos interesados (*stakeholders* urbanos), y los usuarios de la ciudad (*city users*), y permiten fomentar tanto las relaciones interpersonales entre varios grupos sociales, como aquellas relaciones innovadoras de los redes sociales (*social networks*) que desmaterializan progresivamente las relaciones físicas y virtualizan los comportamientos y las funciones en la ciudad (Fistola & La Rocca, 2001).

Las redes pueden ser consideradas como la estructura principal del sistema urbano. El nivel de las interconexiones está directamente

relacionado con la calidad, la eficiencia y la calidad de vida del asentamiento antrópico. Las redes se generan espontáneamente (las socioentrópicas) y son construidas (las infraestructurales) para asegurar la supervivencia de la ciudad. Lo que es más interesante es buscar la mejor forma de conectarlas e integrarlas entre ellas para que se obtenga un sistema urbano que se modifique y se renueve constantemente apuntando a la evolución de la sustentabilidad de la ciudad (Fistola, 2015).

En su forma física, la metrópolis del futuro no será diferente de la que todos conocemos hoy, pero logrará ser un escenario siempre más extraordinario en el cual experimentar nuevas dinámicas relacionales. No solo será un nuevo espacio físico de la ciudad (*urbs*) sino que estará acompañada por una nueva *civitas*, una comunidad solidaria y participe de un futuro en común. Una comunidad que, también, gracias a las redes y sus conexiones, será siempre más abierta e inclusiva (Ratti, 2016).

DE LA SMART CITY A LA HUMAN SMART CITY

La visión clásica de la Ciudad Inteligente se basa sobre un enfoque en el que la tecnología influye en la forma de gestionar la ciudad. Esto puede traer ventajas significativas en la gestión de los servicios de los ciudadanos, cuando las infraestructuras tecnológicas subyacentes están técnicamente maduras.

La capacidad de recaudar y elaborar muchos datos favorece una visión integrada de la Ciudad Inteligente subrayando la necesidad de interrelaciones entre los diferentes sectores que la componen. Un esquema de Ciudad Inteligente totalmente desarrollada comprende una lógica muy parecida a todos los elementos funcionales de una ciudad (red de transporte, de distribución de energía, gestión de la basura, monitoreo de la calidad del aire y del agua), para garantizar un control integrado del sistema urbano. Además, la información obtenida por las redes de sensores, pueden ser utilizadas por dispositivos móviles —especialmente cuando los datos son de acceso abierto (*open access*)— y

permiten la personalización de los servicios de la ciudad por parte del usuario (Oliveira & Campolargo, 2015).

En una situación de crisis económica y financiera, la administración pública se vio forzada a reducir las inversiones en infraestructuras y, en algunos casos, el suministro de servicios urbanos. Esto parece haber puesto hincapié al nacimiento de una nueva conciencia social. La explosión de la utilización en masa de instrumentos como las redes sociales, confirma la necesidad de una mayor apertura hacia los ciudadanos del gobierno de la ciudad.

El escenario descrito justifica la necesidad de evolucionar el significado de Ciudad Inteligente, enfocándose en los ciudadanos, sus exigencias, y una colaboración abierta con las municipalidades.

El término Ciudad Inteligente ha tomado una connotación más amplia y variada, con tendencia a incluir la correcta satisfacción de las necesidades verdaderas y emergentes del ciudadano, y a incluir la participación activa de los diversos actores urbanos, transformando el organismo público de proveedor de servicios (*provider*) a facilitador y promotor de desarrollo (*enabler*) (Pultrone, 2014).

Una *Smart City*, de hecho, no es solo un conjunto de tecnología sino una entidad que da respuesta a las necesidades emergentes sobre la escala urbana y constituye una manifestación concreta de una nueva generación de políticas innovadoras que interesan a todos los niveles de gestión del territorio. Es una ciudad que se encuentra más competitiva a nivel global porque deja más espacio a la cultura, la puesta en común de los conocimientos, la capacidad de aprendizaje y la innovación (Campbell, 2012).

Experiencias recientes, en este sector, han puesto en evidencia una nueva visión que enriquece el concepto original con perspectivas más humanísticas, obtenidas gracias a la adopción de enfoques participativos, basados en los ciudadanos mediante el co-proyecto y el desarrollo de servicios. Cada día se hace más claro que la *inteligencia* de infraestructuras, aparatos y sensores, corre el riesgo de dejar aislados a los

ciudadanos de todos los procesos, convirtiéndolos en usuarios que nunca incorporaran los servicios porque nunca los vieron en sus fases de desarrollo. Estos conceptos se integran en un nuevo paradigma para la ciudad: La Comunidad Inteligente (*Human Smart City*) (Oliveira, 2013).

Una *Human Smart City* es una ciudad donde los ciudadanos y la comunidad son actores principales de la inteligencia urbana. No están obligados a adoptar las tecnologías que han sido seleccionadas y adquiridas por la administración local sino que, por el contrario, son impulsados a componer, crear y co-diseñar sus propios servicios utilizando, de manera simple, las tecnologías disponibles. Una *Human Smart City* adopta los servicios que nacen de las verdaderas necesidades de las personas en la ciudad. En la *Human Smart City*, los actores públicos y las empresas tecnológicas no están vinculados bajo un modelo “comprador-vendedor”, ya que han sido creadas nuevas relaciones en forma de alianzas abiertas.

Estas sinergias abren nuevas oportunidades para aquellos que trabajan en el mundo de las tecnologías de la información y la comunicación (ICT por sus siglas en inglés) que son capaces de capturar nuevos modelos de negocio emergentes para hacer frente a los problemas reales de la gente, en su vida cotidiana, y en la ciudad.

Con la *Human Smart City* se pueden enfrentar desafíos claves como el planeamiento de estrategias de baja emisión de gases, el ambiente urbano, la movilidad sustentable y la inclusión social gracias al uso más equilibrado de la tecnología holística.

En la *Human Smart City*, el gobierno de la ciudad apoya la creación de un ecosistema de innovación urbana basado en co-producción y co-diseño de servicios y procesos de innovación social y tecnológica para resolver los problemas reales. El desafío más grande para las ciudades modernas no va a ser la construcción de infraestructuras nuevas y más tecnológicas sino la de involucrar la esfera pública en la vida civil.

Es importante subrayar que la creación de una *Human Smart City* se puede alcanzar con el uso de tecnologías sencillas y que no siempre

se necesitan infraestructuras sofisticadas y complejas. Este concepto es fundamental para entender los diferentes niveles en los que actúa el proyecto. Las soluciones más sencillas y creativas pueden surgir desde las comunidades locales, las grandes ciudades pueden extender sus estrategias y las ciudades pequeñas pueden integrar nuevas. Se trata de una importante ventaja para las administraciones de las ciudades que pueden aprovechar el potencial para permitir la creación de servicios inteligentes sin tener que realizar inversiones significativas.

La innovación en las comunidades inteligentes permite la creación de nuevas formas de asociación público / privado capaces de tener resultados desde tener mejores servicios a un precio más barato, hasta el nacimiento de empresas e instituciones más vitales. Más que nada es fundamental construir una nueva cultura de innovación que atraiga más talentos, inversiones, reconocimientos globales y contribuya activamente a mejorar la calidad de vida de los ciudadanos presentes y de las generaciones futuras (Pultrone, 2014).

El requisito fundamental para favorecer la innovación y la competitividad en una lógica de desarrollo sustentable. Esto significa conferir centralidad a la dimensión humana, dando por sentado el rol activo de redes como capital social, capaces de seleccionar y guiar el hardware tecnológico, de estructurar e interpretar el aprendizaje en favor de procesos de innovación realmente eficaces gracias al accionar del ciudadano como tal (*citizen-driven*), y no solo centrado en el ser humano (*human-centered*) (Campbell, 2012).

A nivel europeo, se puede observar una particular atención a la mejora de la calidad de vida en aquellos proyectos que comprenden un enfoque a la Ciudad Inteligente que privilegia el factor humano. Eso pasa en el proyecto *Periphèria*¹ en el cual la *Human Smart City* es una ciudad que aprende cómo organizar su propia inteligencia, consciente

1. Conducido bajo el programa ICT Policy Support y co-financiado por la comisión Europea (Marsh, 2014).

de su valioso capital humano capaz de utilizar los recursos del cyber espacio al espacio urbano y viceversa. Así, los ciudadanos no solo son inteligentes sino que son capaces de transformar su propia ciudad en un lugar de innovación social con una infinita variedad de opciones (Pultrone, 2014).

Compartir las experiencias y el co-diseño de los espacios urbanos y de los servicios, caracteriza a los proyectos piloto llevados a cabo en las ciudades europeas participantes (Malmö, Brema, Atene, Genova, Milano, la Contea di Palmela), que, para cada una de ellas, partiendo del concepto de “la gente en los lugares” (“*people in places*”) y de los lugares urbanos, se identificó una tipología de ambiente urbano de intervención (*Smart Neighbourhood* para Malmö, *Smart Square* para Atene, *Smart Street* para Brema, *Smart Museum & Park* para Génova, *Smart Campus* para Milano y *Smart City Hall* para Palmela),² y los factores comunes del enfoque metodológico: la idea modelo del lugar, el escenario piloto, recomendaciones de activación con respecto al tipo de personas que participen, los lugares que deben tenerse en cuenta, y los deseos que se quieren llevar a cabo.

El proyecto *MyNeighbourhood*,³ otra iniciativa co-financiada por la Unión Europea (UE), tiene como objetivo la idea de enfrentar los complejos desafíos urbanos utilizando el recurso innovador más grande de la ciudad: las personas. Con un enfoque basado sobre el ser humano, y no solamente a través de las tecnologías innovativas, se intenta efectuar un cambio en el comportamiento de la multitud. Para hacer eso, es necesario recrear los mecanismos sociales que pertenecen a la tradición urbana, con comunidades urbanas optimistas, con alta calidad de la vida, seguridad y participación.

Metodologías e instrumentos como *Urban Living Lab*, *Design Thinking* y *Social Gaming* utilizados en plataformas online favorecen las

2. Títulos de proyectos europeos relacionados con el tema de la Ciudad Inteligente.

3. Véase mayor información acerca del proyecto *MyNeighbourhood* en: <http://www.my-n.eu>

relaciones entre los ciudadanos, ayudándolos a trabajar en equipo para crear, innovar, e implementar servicios locales basados en sus necesidades reales (Pultrone, 2014).

En la ciudad de Fundao, situada el centro de Portugal, para resolver el problema de la falta de nuevas inversiones y crear un nuevo proceso de desarrollo económico y social, se decidió utilizar todos los espacios y las estructuras vacías para empezar proyectos de regeneración urbana fuertemente enfocado en la comunidad.

En particular, el proyecto *Cova da Beira Living Lab*,⁴ nacido del esfuerzo de un consorcio patrocinado por la municipalidad en conjunto con empresas privadas, universidades, bancos e instituciones públicas y privadas, se compone de una red de espacios para la comunidad que ofrecen servicios y oportunidades.

La perspectiva de crecimiento de este sistema está planteada en una mirada más abierta que incluye áreas y espacios para el desarrollo de empresas y proyectos empresariales, talleres para desarrollar prototipos, centros de investigación y servicios que favorezcan la internacionalización de los productos locales.

En todos los ejemplos mencionados, el elemento base es la creación de una comunidad capaz de posibilitar el cumplimiento de los objetivos establecidos con un atento análisis de las criticidades y las potencialidades de los diferentes contextos. Sin embargo, es esencial compartir las experiencias y los resultados entre las ciudades que participan al proyecto y su difusión en plataformas dedicadas, con el fin de difundir información metodológica capaz de ayudar a otras ciudades y territorios con problemáticas análogas que desean empezar el camino hacia una *Human Smart City*.

4. Véase mayor información acerca del proyecto *Cova da Beira Living Lab* en: <http://www.llcb.pt>

EL PROYECTO RETI, EDIFICI, STRADE, NUOVI OBIETTIVI VIRTUOSI PER L'AMBIENTE E L'ENERGIA (RES NOVAE): LA PLATAFORMA PARA COSENZA *HUMAN SMART CITY*.

En el 2012, el ministerio de Educación (MIUR) a través del “Programma operativo nazionale Ricerca e Compettività (PON R&C) 2007–2013” publica un anuncio sobre el tema de “*Smart cities and Communities and Social innovation*” que financia los proyectos que tratan las siguientes temáticas:

- Acciones integradas para la sociedad de la información.
- Acciones integradas para el desarrollo sustentable.

En el segundo ámbito, y en particular en la línea de energía renovable (*Renewable energy*) y redes inteligentes (*Smart grid*) se presentó y, posteriormente, se financió el proyecto RES NOVAE (Reti, Edifici, Strade – Nuovi Obiettivi Virtuosi per l'Ambiente e l'Energia).⁵

El proyecto aspira a investigar, modelar y experimentar en escala demostrativa un sistema complejo y dinámico de gestión avanzada de los flujos energéticos, basado en la integración de tecnologías energéticas e informáticas, optimizadas entre ellas, con el fin de reducir los gastos energéticos, potenciar la multi-generación difusa de energía entre fuentes renovables, contener el impacto ambiental e incrementar la conciencia de cada persona en la comunidad sobre el tema energético-ambiental.

El proyecto, en la parte energética (*Renewable energy* y *Smart grid*) promueve la innovación a través de soluciones tecnológicas y de gestión que fomentan el uso de las diferentes fuentes renovables y de sus relativas redes de distribución, valorizando las relaciones entre la

5. Los entes involucrados en el proyecto RES NOVAE son: ENEL Distribuzione, IBM Italia, General Electric Transportation System, Università della Calabria, Politecnico di Bari, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Enea e Datamanagement PA.

dimensión urbana y rural en las políticas energéticas, ambientales y climáticas de las comunidades inteligentes (*Smart communities*).

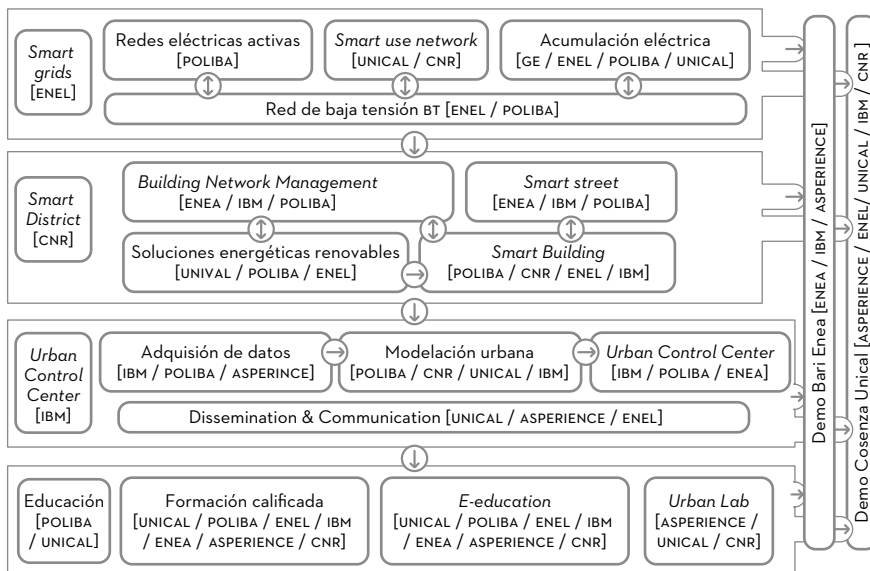
En cuanto a la eficiencia energética, las actividades previstas en el proyecto mejoran el rendimiento energético y ambiental de las conurbaciones a través del desarrollo de tecnologías y modelos de gestión integrados, con el fin de reducir el consumo energético y promover la utilización racional de los recursos naturales.

El proyecto RES NOVAE está compuesto por tres líneas de investigación (véase figura 4.1):

- *Redes inteligentes*: investigación y desarrollo de nuevas aplicaciones para la gestión de la red de distribución de electricidad, principalmente en baja tensión, destinadas a la integración de los sistemas basados en fuentes de energía renovables (FER) con la red y a la mejoría del servicio para el usuario final y el aporte energético.
- *Edificios inteligentes*: investigación y desarrollo de nuevas soluciones técnicas y servicios para el edificio.
- *Calles inteligentes*: investigación y desarrollo de nuevas técnicas para la gestión de los elementos urbanos que tienen una huella energético-ambiental (iluminación pública, desagüe de las precipitaciones, caracterización energética de los edificios públicos) y el uso, en los espacios al aire libre, de *smart object* (objetos inteligentes que tienen incorporados sensores, actuadores y unidades de cálculo, capaces de interactuar entre ellos y el entorno, capaces de registrar datos relativos a las fuentes energéticas, al estado de salud del ambiente, del aire, y al estado de la red de transporte urbano).

El proyecto también prevé que los elementos, los modelos, las herramientas y todos los componentes de hardware y software desarrollados en la actividad de investigación sean aplicados y experimentados concretamente en el campo. La parte del desarrollo experimental, previstas para las ciudades de Bari y Cosenza, son dos demostradores pilotos

FIGURA 4.1 MAPA CONCEPTUAL DEL PROYECTO RES NOVAE



Fuente: proyecto RES NOVAE.

capaces de crear contextos urbanos eficientes y sustentables, en los que los sistemas de distribución de la energía, los sistemas basados en fuentes de energías renovables, las redes de edificios e instalaciones y las infraestructuras ICT de comunicación pueden facilitar soluciones que garantizan la interconexión, la integración, la conciencia del estado del sistema y de sus componentes más críticos, así como la capacidad de evolucionar rápido ajustándose a las condiciones externas variables.

En particular, RES NOVAE propone:

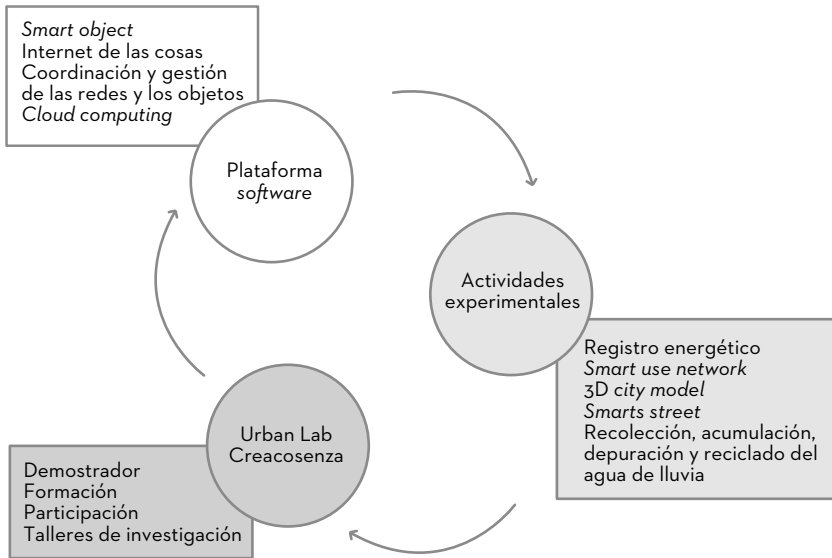
- Racionalizar el consumo de energía.
- Mejorar la multi-generación de energía de fuentes renovables.
- Compensar el impacto ambiental.
- Educar sobre el tema energético-ambiental.

RES NOVAE ha desarrollado diferentes actividades de investigación:

- La *Sun (Smart User Network)* es un esquema muy innovador de micro-red de distribución que permite a los ciudadanos integrar diferentes tipologías de usuario energético: corriente continua y alterna, energía eléctrica de fuentes renovables y sistemas de acumulación, todos funcionando de manera coordinada y simultánea.
- El *Registro Energético* de propiedad detecta cuales son los puntos que más necesitan una intervención para optimizar el uso de los recursos energéticos, empezando por un análisis del patrimonio inmobiliario y un monitoreo de las principales causas de gasto.
- La *Smart Street Cosenza*, que coincide con el eje comercial principal de la ciudad, es el lugar físico donde los sensores, gestionados por una plataforma software / hardware (llamada Rainbow) permiten, a los objetos físicos, convertirse en *Smart objects* capacitados para comunicar y cooperar monitoreando el espacio físico y tomando decisiones que mejoren los servicios presentes.
- El *3D City Model* (ciudad modelo) es un modelo digital de la ciudad, hecho para analizar y representar los diferentes capas (*layers*) de informaciones del sistema urbano. Al modelo, se pueden agregar informaciones resultantes de la actividad de sensores, database e input directos de los ciudadanos que viven el ambiente urbano.
- El *SWAM (Smart Water Management)* es un sistema de acumulación, depuración y reciclaje de las aguas de lluvia a través de una plataforma software y un sistema de sensores que permite una gestión dinámica, descentralizada e interactiva de la conducción del subministro de agua, y también el uso de micro-turbinas para la producción de energía eléctrica.

Otra meta del proyecto es el uso de enfoques y tácticas que operen en modo multi-escalar y multi-dimensional. El proyecto, de hecho, combina estrategias de tipo sistémico (como el registro energético de propiedad o el sistema de gestión del agua de lluvia) con acciones más

FIGURA 4.2 ELEMENTOS CLAVES DEL PROYECTO RES NOVAE



Fuente: proyecto RES NOVAE.

pequeñas (como la *Smart Street* que permite que un lugar conocido de la ciudad se convierta en un puesto sensible capaz de recolectar datos y analizarlos de forma compleja), y con acciones puntuales que tienen una influencia directa sobre el estilo de vida virtuoso de cada ciudadano (Zupi, 2016) (véase figura 4.2).

El valor añadido de RES NOVAE, con respecto a numerosos proyectos *smart*, fuertemente desequilibrados en los aspectos de las redes inteligentes y ICT, recae en la realización de una plataforma, una infraestructura social compuesta por nodos (espacios públicos innovadores) y conexiones (nuevas tecnologías), que crean el enlace necesario entre las investigaciones del proyecto y la ciudad. Algunos de los nodos son lugares físicos, otros son virtuales, en donde la comunidad aprende, se forma y crea. Los principales nodos de esta red son: el *Urban Lab Creacosenza*, la *Smart Street* y el *3d City Model*.

EL URBAN LAB “CREACOSENZA”: UN LIVING LAB PARA COSENZA

En el proyecto RES NOVAE, la Universidad della Calabria ha identificado como parte fundamental del demostrador de la Ciudad Inteligente el *UrbanLab “CreaCosenza”* (véase figura 4.3). El *UrbanLab* tiene la finalidad de involucrar a la ciudad y a la población a un uso cotidiano y sencillo de las tecnologías energéticas para que todos puedan entender que dichas tecnologías y los sistemas de comunicación y control, desarrolladas durante el tiempo de investigación, son capaces de interactuar con otros proyectos (en curso o programados) basados en el uso inteligente y sustentable de la ciudad.

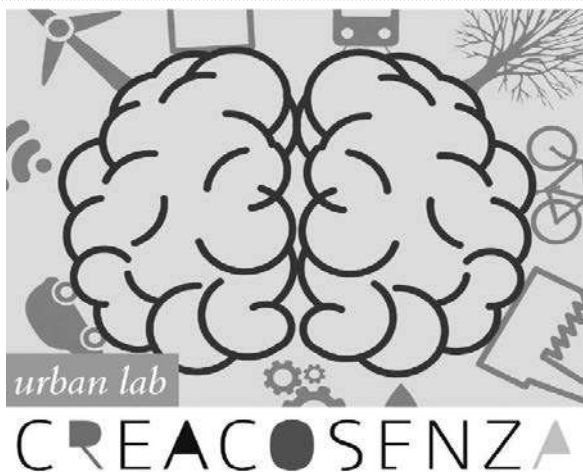
En este lugar, se pueden observar claramente las relaciones entre el usuario y la Ciudad Inteligente; es un centro de intercambio de conocimiento del proyecto y un lugar privilegiado para la participación del ciudadano en la creación de su Ciudad Inteligente, con el soporte de nuevas tecnologías, de un centro de investigaciones sobre temáticas relacionadas —ejemplo: economía verde (*green economy*), el desarrollo sustentable, etcétera— (D’Alessandro & Celani, 2015).

A través del *Urban Lab*, la municipalidad desempeña una campaña de sensibilización informando a los ciudadanos acerca de las actividades, los proyectos y las oportunidades.

El ciudadano no cumple un rol exclusivamente pasivo sino que es alentado a presentarse como creador y desarrollador en una prospectiva de planificación colaboradora. En esta visión de cooperación virtuosa entre los administradores y los ciudadanos, la municipalidad pone a disposición su propia estructura técnica, su conocimiento, y su capacidad de planificar, a cambio recibe noticias directas sobre la calidad de los servicios y las exigencias de la comunidad adquiriendo todos los input de la ciudad.

El *Urban Lab*, de manera dinámica, representa un verdadero taller de ideas, en donde las políticas y los proyectos actúan junto a otras ciudades que tienen los mismos valores del paradigma Ciudad Inteli-

FIGURA 4.3 EL URBANLAB CREACOSENZA, EL CEREBRO PENSANTE DE LA CIUDAD



Fuente: proyecto RES NOVAE.

gente. Es un *living lab* localizado en el centro de la ciudad de Cosenza, en un contexto urbano (el edificio es la ex-estación de ferrocarril), que gracias a la tecnología avanzada e innovadora, propaga sus efectos mucho más allá de sus bordes físicos interactuando con la ciudad y recibiendo de ella todas las potencialidades materiales e inmateriales.

Es un ecosistema centrado en torno al usuario (*user centered*), donde todos los aspectos de una investigación se mudan en un contexto de vida real para estimular la innovación y llegar a ser una nueva forma de espacio público capaz de relacionarse y enfrentarse, convirtiéndose en co-desarrolladores de proyectos y prototipos para una mejor calidad de vida.

El *living lab* de Cosenza quiere ser un instrumento dinámico de la participación activa de la comunidad y de todos los actores que quieren una ciudad más inteligente. Se plantea como evolución del derecho a la información de matriz kantiana en sus tres acepciones del derecho de informar, de informarse y de ser informado. Eso se pone como pre-

condición a los nuevos derechos de ciudadanía, entendidos como participación consciente e informada sobre los procesos decisionales públicos (D'Alessandro & Celani, 2015).

Con la elección de este tipo de modelo se quiso superar un enfoque estrictamente referido a las redes inteligentes para favorecer la construcción de una red de actores públicos y privados que trabajen conjuntamente con el sector terciario inteligente regenerando el tejido económico y social de la ciudad. La participación directa de la comunidad hace que cada uno se sienta parte de la vida urbana como protagonista y no solo como espectador (Zupi, 2016). El objetivo principal del proyecto es la determinación de condiciones de cohesión social y la creación de procesos de conciencia social y auto-organización.

El *Urban Lab* “CreaCosenza” nació con el objetivo de difundir estas conciencias sobre las cuestiones estratégicas de la vida urbana, pero al mismo tiempo, intenta facilitar la participación activa de todos los posibles *stakeholders* a los procesos de *user-driven innovation*. Este aspecto del proyecto, inicialmente marginal —solamente obligado al sector de diseminación y comunicación (*dissemination and communication*)—, con el tiempo asumió un rol importante al determinar las repercusiones concretas en la regeneración de la ciudad existente, mejorando la calidad arquitectónica y espacial.

Este segundo objetivo se explica bien en la intervención hecha en el edificio que aloja al *Urban Lab*. Su nueva ubicación introdujo al edificio nuevamente en la vida de la ciudad. También se realizó en conjunto, un nuevo proyecto para mejorar el espacio alrededor del taller devolviéndolo a la ciudad como un espacio público para la comunidad y no solo como un estacionamiento (véase figura 4.4).

El *Urban Lab* es el dispositivo tecnológico a través del cual, la Ciudad Inteligente, con las oportunidades ofrecidas de las redes en el ámbito de las relaciones sociales, aspira alcanzar la unión, la combinación creativa y la interacción de diversos elementos como las personas, el ambiente, los estilos de vida, y las formas de sociedad, economía, energía y movilidad (D'Alessandro & Celani, 2015).

FIGURA 4.4 LA REMODELACIÓN DE LA PLAZA POSTERIOR AL URBAN LAB



Fuente: proyecto RES NOVAE.

LA SMART STREET CORSO MAZZINI

Otro nodo físico de la *Human Smart City* (HSC) es la *Smart Street*, un lugar urbano inteligente equipado con sensores capaces de interactuar no solo entre ellos sino también con las personas y su entorno, gracias a una plataforma de computación en la nube (*cloud computing*).

En la *Smart Street* están ubicados algunos sensores (*smart object*) que están habilitados para comunicar y colaborar entre ellos, elaborando inputs obtenidos por el ambiente. Estos objetos inteligentes interactúan con el ambiente recogiendo informaciones, trabajando juntos y actuando de manera espontánea cuando encuentran otros dispositivos. El correcto funcionamiento de la *Smart Street* está garantizado por la plataforma *Rainbow*, la cual está constituida por un registro de datos en la nube (*cloud*), algunos servidores (*server*) y la red de sensores.

Los datos recogidos por los sensores en tiempo real llegan al *server*, que los analiza y los transmite directo a la *cloud* generando una base de macrodatos (*big data*) accesible a través de plataformas públicas. La información obtenida (y regresada) por los *smart objects* es demasiada y puede referirse a: calidad del aire, temperatura, humedad, ruido, tráfico, solo por mencionar algunas. Además, pueden ofrecer información

FIGURA 4.5 EL MAPA DE LA SMART STREET



Fuente: proyecto RES NOVAE.

sobre los diferentes puntos de atracción, como por ejemplo, las estatuas del *Museo al aire libre Bilotti (MAB)*.

La *Smart Street* es el espacio de la ciudad de Cosenza donde los ciudadanos pueden relacionarse con la Ciudad Inteligente. Este lugar, físicamente, es Corso Mazzini (figura 4.5) y empieza con el *Urban Lab*. El sistema está equipado con tres sistemas:

- *Smart object* conectado a la plataforma *Rainbow* (véase figura 4.6).
- Los *beacon*, es decir dispositivos *Bluetooth Low Energy (BLE)* (dispositivos de baja energía) que envían mensajes a quien está en la *Smart Street* (véase figura 4.7).
- La aplicación *CreaCosenza (App CreaCosenza)* por Android and IOS que dialoga con los *beacons*, guía el visitante en el la *Smart Street* y recibe datos ambientales por los *Smart objects*.

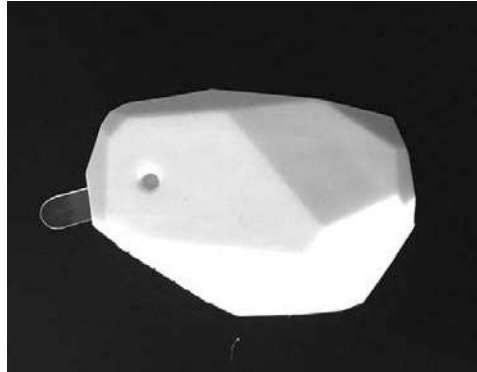
Estos sistemas representan un tipo de infraestructura inteligente que puede ser utilizada para mejorar los espacios públicos de la ciudad, evaluar los elementos del patrimonio histórico y cultural de la ciudad y garantizar una interacción continua y dinámica con la comunidad.

FIGURA 4.6 SMART OBJET EN LA SMART STREET



Fuente: proyecto RES NOVAE.

FIGURA 4.7 BEACON EN LA SMART STREET



Fuente: proyecto RES NOVAE.

EL 3D CITY MODEL DE COSENZA

El tercer nodo, el *3D City Model*, es un lugar virtual, un modelo tridimensional y geo referenciado de la ciudad de Cosenza (véase figura 4.8), la cual, a través de tecnologías de realidad virtual aumentada, permite a todos relacionarse con la ciudad, consultar bases de datos

FIGURA 4.8 EL 3D CITY MODEL DE COSENZA



Fuente: proyecto RES NOVAE

generadas a partir de los sensores inteligentes e internet e interactuar con el sistema para aportar nueva información. Una verdadera ciudad código abierto (*open source*).

Todos los productos digitales, los modelos 3D territoriales y urbanos siempre fueron de gran interés por los técnicos que trabajan con ellos y por la capacidad de ser utilizados en muchos y diferentes sectores, pero, al mismo tiempo, son particularmente apreciados por el ciudadano no profesional que puede comprender, fácilmente, la complejidad dinámica de la realidad que representan.

El urbanismo, en los últimos años, enfocó su atención sobre la representación del objeto ciudad, sobre la comunicación innovadora de las transformaciones del objeto, y sobre las formas de interacción entre el objeto y el ser humano. En esta nueva frontera de la disciplina, el modelo tridimensional de la ciudad se convierte en una herramienta avanzada de planificación y participación (D'Alessandro & Celani, 2016).

En el proyecto RES NOVAE la creación de un modelo 3D sirve para inaugurar metodologías de planificación urbana participativas, nuevas e innovadoras. Las perspectivas de uso del *3D City Model* pueden

ser diferentes: evaluación del riesgo a través de simulación de sismos, inundaciones y derrumbes; proyectos de transformación urbana para tener un mejor control sobre el contexto; proyectos de eficiencia energética urbana y recalificación ambiental; procesos decisionales; estrategias de valorización del patrimonio cultural; en programa de comunicación de las decisiones urbana al ciudadano; proyectos de regeneración urbana compartida de tipo *bottom-up* (D'Alessandro & Celani, 2016).

El *3D City Model* es el instrumento ideal para observar los diferentes niveles de información disponible para un objeto tan complejo como el ambiente urbano. Empezando por esto, es posible agregar siempre más datos obtenidos por los *smart objects* y las bases de datos disponibles y también el tipo de lectura que los ciudadanos dan al lugar donde viven, observándola directamente o interactuando con el mismo modelo (Borga, 2013).

La gestión integrada de la información heterogénea de nivel urbano permitirá la creación y la difusión de aplicaciones basadas en las grandes cantidades de datos disponibles, desde la información sobre los edificios hasta las entidades relevantes por la planificación urbana (Agugiaro, 2014).

En particular, en la Ciudad Inteligente de Cosenza, el modelo será usado para favorecer la integración del registro energético y como herramienta con el fin de la planificación urbana compartida.

La aplicación del modelo en el registro energético permitirá la simulación del organismo urbano consumidor de energía, el intercambio del conocimiento y la creación de una inteligencia colectiva al fin de contener los gastos de energía. Un ejemplo de este tipo de aplicación puede ser la estimación de la demanda energética del edificado, un aspecto muy importante en la definición de la gestión de los recursos energéticos de una Ciudad Inteligente.

En el binomio “Ciudad-Energía” hay dos diferentes niveles de conocimiento: uno se refiere a la totalidad de los datos de consumo, los flujos de energía, los usos, las diferentes tipologías de fuente de

FIGURA 4.9 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DEL MODELO ENERGÉTICO URBANO



Fuente: proyecto RES NOVAE.

FIGURA 4.10 APLICACIÓN DE REALIDAD AUMENTADA CON EL 3D CITY MODEL



Fuente: Proyecto RES NOVAE.

energía, etcétera. El otro se refiere al contexto físico del ambiente urbano. Asociando a este nivel los datos sobre el gasto energético será posible generar un marco de conocimiento sobre el hábito energético urbano (véase figura 4.9).

Como instrumento participativo será utilizado en aplicaciones de realidad virtual y aumentada, para que los ciudadanos participen en todos los procesos de decisiones. En esta forma, el *3D City Model* se convierte en un instrumento dinámico de la participación activa de la comunidad y de todos los otros actores de la Ciudad Inteligente. Se hace herramienta de participación consciente e informada sobre el proceso decisional público.

El modelo tridimensional urbano, además, ofrece valor añadido al *Urban Lab*, asegurando formas de representación fácilmente entendibles y muy eficaces sobre la ciudad y sus puntos de intereses (véase figura 4.10), información de tipo energético, pero también de interés turístico y de servicios (Celani, Bozzo & Mazzei, 2016).

CONCLUSIÓN: UNA CIUDAD *OPEN SOURCE*

Con base en lo descrito previamente, se puede observar cómo esta infraestructura social, constituida por nodos (*Urban Lab*, *Smart Street* y *3D City Model*) y conexiones (nuevas tecnologías), conlleva a la construcción de una ciudad *open source*.

A través del *Urban Lab*, los ciudadanos están involucrados en la creación de la ciudad inteligente; la *Smart Street* es el lugar en donde ellos interactúan con la Ciudad Inteligente, y el *3D City Model* es el instrumento con el cual se relacionan con el sustrato tecnológico y virtual de la ciudad.

Una ciudad donde la inteligencia colectiva, mediante una plataforma tecnológica, pueda reinterpretar el concepto *open source* y aplicar prácticas innovadoras de planificación.

La ciudad *open source* se construye a través de una experimentación constante de los procesos de decodificación y cooperación interpretativa; es la ciudad de los narradores que cada día experimentan nuevas geografías atrás de historias escondidas, olvidadas y abandonadas, la ciudad que se descubre gracias a prácticas salvajes que empiezan desde bajo (Vitellio, 2014).

La cultura *open source* tiene sentido solo si se entiende en este modo. El *open source* puede cambiar todo el modo en lo que se hace urbanismo, convirtiéndola en un método informal, progresivamente mejorable, en donde los ciudadanos pueden interactuar y proponer nuevas soluciones y cambios en la estructura de la ciudad gracias a acciones de *hacking*, óseas modificaciones del código de identidad del sistema urbano. Sin embargo, parece necesaria la predisposición de una plataforma cívica que facilite los procesos de participación y cooperación activando un sistema de pensamiento en redes (*network thinking*) basado en la creatividad social compartida. La ciudad se descubre abierta y transparente al liberar los recursos informáticos como un bien común (Infante & Massaro, 2014).

El conocimiento abierto es la base dónde plantear la inteligencia colectiva, realizando así su principal ventaja: incrementar, controlar, explorar y combinar diferentes bases de datos con el fin de desarrollar nuevos productos y servicios (Serafini, 2015).

La base de esta evolución del gobierno de la administración pública es el *open data* que permite a la información ser compartida y usada según los principios del intercambio y de la cooperación, que aumenta el valor del bien común. Esta acción reduce la distancia entre los ciudadanos y la municipalidad, poniendo como estrategia principal la transparencia, seguida por un ahorro de recursos y, más que nada, un nuevo empuje a la economía debido al uso de los datos por las empresas que utilizan el *open source*, los *social media* y el *cloud computing* (Infante & Massaro, 2014).

En conclusión, una ciudad *open source* no será la que va agregando tecnología e innovación a un organismo ya existente sino un lugar donde se incrementa el porcentaje de inteligencia colectiva apoyando las acciones virtuosas y subrayando las ventajas individuales y colectivas de este nuevo modo de pensar al urbanismo (Carta, 2013). La ciudad *open source* es una ciudad que se compone de muchas intervenciones pequeñas y de micro-cambios. Cada uno puede no parecer importante por sí solo, pero en conjunto, le otorgan un significado a una ciudad

que aún no está terminada. Este hecho contribuye a que la ciudad esté en constante cambio y permite su supervivencia en comparación con otros contextos más poderosos (Sassen, 2011).

REFERENCIAS

- Agugiario, G. (2014, octubre). I modelli digitali 3D di città come hub informativo per simulazioni, energetiche a scala urbana. *ASITA 2014*, 14-16. Firenze: AIT, Austrian Institute of Technology, Energy Department sustainable Buildings and Cities Unit. Recuperado el 27 de febrero de 2018, de <http://atti.asita.it/ASITA2014/Pdf/019.pdf>
- Arboleda, M. (2016). In the Nature of the Non-City: Expanded Infrastructural Networks and the Political Ecology of Planetary Urbanisation. *Antipode*, 48(2), 233-251. Recuperado el 27 de febrero de 2018, de doi: 10.1111/anti.12175
- Borga, G. (2013). *City Sensing. Approcci, metodi e tecnologie innovative per la Città Intelligente*. Milano: Franco Angeli.
- Campbell, T. (2012). *Beyond Smart Cities. How Cities Network, Learn and Innovate*. New York: Earthscan.
- Carta, M. (2013). *Reimagining Urbanism. Creative, Smart and Green Cities for the Changing Times*. Trento: LIST Lab.
- Celani, P., Bozzo, V. & Mazzei G. (2016, abril). 3D City Model Cosenza: un modello urbano avanzato per la gestione della città. *Conferenza Esri Italia 2016*, Roma, 20-21. Recuperado el 27 de febrero de 2018, de <http://www.esriitalia.it/images/pdf/conferenza2016/ValerioBozzo.pdf>
- D'Alessandro, E. & Celani, P. (2015). UrbanLab CreaCosenza. Un living lab per Smart City di Cosenza. *Urbanistica Informazioni*, 263 s.i. (7), 14-18.
- D'Alessandro, E. & Celani, P. (2016, 29 de junio). *IL 3D City Model come strumento avanzato di pianificazione e partecipazione*. Trento: REDS 2 ALPS 2 / Resilient Ecological Design Strategies.

- Fistola, R. (2015). La “non-City” e il disegno delle reti urbane. *Urbanistica Informazioni*, 263 s.i. (9), 14-18.
- Fistola, R. & La Rocca, R.A. (2001). The virtualization of urban functions. *NETCOM Networks and Communication Studies*, 15(1-2), 39-48.
- Infante, C. & Massaro, S. (2014). Performing Media per l’Urban Experience. La via lúdico-partecipativa alla cittadinanza educativa. *Urbanistica Dossier Online*, No.6, 20-24. Recuperado el 27 de febrero de 2018, de <http://www.urbanisticainformazioni.it/IMG/pdf/udoo6.pdf>
- Marsh, J. (Ed.) (2014). The human smart cities cookbook. *Planum. The Journal of Urbanism. Special Issue*, 1(28). PERIPHERIA. Recuperado el 27 de febrero de 2018, de <http://www.scribd.com/doc/143484573/PERIPHERIA-Human-Smart-Cities-Cookbook>.
- Oliveira, A. (2013, 18 de noviembre). Human smart cities: an ecosystem of neighbourhood platforms and urban living labs. *Citisense – Innovation from within, Smart City Expo World Congress*. Barcelona.
- Oliveira, A. & Campolargo, M. (2015). From smart cities to human smart cities. *Proceedings of the 48th Annual Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS) 2015*, 2336-2344. Kauai: IEE. Recuperado el 27 de febrero de 2018, de doi: 10.1109/HICSS.2015.281
- Pultrone, G. (2014). Partecipazione e governance per Smart cities più umane. *Tema. Journal of Land Use, Mobility and Environment*, 7(2), 159-172. Recuperado el 27 de febrero de 2018, de doi: 10.6092/1970-9870/2558
- Ratti, C. (2016, 10 de julio). Un po’ meno urbs un po’ più civitas: una dimensione sociale e socievole. *La Lettura. Supplemento culturale del Corriere della Sera*. No.241, 27. Recuperado el 27 de febrero de 2018, de http://www.carloratti.com/wp-content/uploads/2016/07/2016_07_10_laLettura_pag.27-.pdf
- Riva, E. (2015). L’umanesimo della tecnologia nelle comunità intelligenti. En M. Mertinelli (Dir.), *Città intelligenti per comunità intelligenti. Smart City tra tecnologia, cultura, cittadinanza e parteci-*

- pazione* (pp. X–XI). Milano: Energia Media – EM. Recuperado el 27 de febrero, de 2018, de https://issuu.com/energiamedia/docs/citt__intelligenti_per_comunit__i?e=14848929/15268709
- Sassen, S. (2011, 29 de junio). Open Source Urbanism. *Domus*. Nueva York. Recuperado el 27 de febrero de 2018, de <http://www.domusweb.it/en/op-ed/2011/06/29/open-source-urbanism.html>
- Serafini, S.M. (2015). Open Data e paesaggio calabrese: nuove prospettive per la gestione sostenibile delle risorse. *Urbanistica Informazioni*, 263 s.i. (6), 86–91.
- Vitellio, I. (2014). La Città Open Source. *Urbanistica Dossier Online*, No.6, 11–15. Recuperado el 27 de febrero de 2018, de <http://www.urbanisticainformazioni.it/IMG/pdf/udoo6.pdf>
- Zupi, M. (2016). L'Urban Lab Creacosenza: dalla Smart city alla città resiliente. *Sentieri Urbani*, 20, 68–69.

Aprender haciendo: la experiencia de aprendizaje en construcción sostenible del Solar Decathlon

IVÁN OSUNA MOTTA*

Resumen: *Solar Decathlon es una competencia internacional abierta a universidades especializadas en arquitectura, diseño urbano e ingeniería, interesadas en el estudio y desarrollo de soluciones habitacionales operables a partir del uso de energías no convencionales. Para participar en la primera versión latinoamericana del evento, se estableció una alianza entre la Pontificia Universidad Javeriana de Cali y la Universidad Icesi, conformando el equipo Calicivita con estudiantes y profesores de siete carreras universitarias, con quienes se desarrolló un proceso de aprendizaje significativo, en el cual los participantes trabajaron en equipos interdisciplinarios diseñando, calculando, construyendo y operando la vivienda Casa Alero.*

Palabras clave: *Solar Decathlon, diseño bioclimático, construcción sostenible, educación multidisciplinar.*

Abstract: *Solar Decathlon is an international competition open to universities that specialize in architecture, urban design and engineering and are interested in studying and developing residential solutions powered by the use of non-conventional energies. The Pontificia Universidad Javeriana de Cali and Icesi University formed an alliance to participate in the first Latin American version of the event, forming the Calicivita team with students and professors from seven*

• Universidad Javeriana Cali.

university programs who experienced a significant learning process by working in interdisciplinary teams to design, calculate, build and operate the Casa Alero housing model.

Keywords: *Solar Decathlon, bioclimatic design, sustainable construction, multi-disciplinary education.*

El trabajo en equipos multidisciplinares es cada vez más necesario en todas las áreas de conocimiento y la construcción sostenible no es la excepción (Navarro, Gutiérrez, Montero, Rodríguez-Ubinas, Matallanas, Castillo-Cagigal *et al.*, 2014). Sin embargo, en nuestro medio la formación universitaria aún se encuentra demasiado centrada en el aprendizaje disciplinar de cada profesión específica y se generan muy pocos espacios de trabajo colaborativo entre estudiantes de diferentes carreras.

Para realizar una formación integral de nuestros profesionales, se necesitan generar escenarios de aprendizaje en los cuales los alumnos puedan desarrollar sus habilidades sociales para trabajar en grupo ejercitando sus capacidades de innovación y sus conocimientos específicos. Por otra parte, quienes se forman en las carreras profesionales relacionadas con la construcción tienen muy pocas oportunidades de realizar obras civiles en escala real, con lo que pierden la posibilidad de tener contacto con los materiales y conocer de primera mano los procesos constructivos que estudian y aprenden en las aulas.

El Solar Decathlon es un evento internacional, dirigido a universitarios de todo el mundo, que promueve la investigación y el desarrollo en el área de la construcción sostenible. Convoca a las universidades para que organicen equipos con estudiantes de diversas disciplinas, guiados por un grupo de profesores, para que durante más de 18 meses realicen un trabajo interdisciplinario que les permita poner en práctica los conocimientos adquiridos en las asignaturas (SDLAC, 2015a).

Los equipos seleccionados deben diseñar, construir y poner un funcionamiento una vivienda que utilice el sol como única fuente de energía, desarrollando estrategias de ahorro energético, utilización de energías limpias y manejo adecuado de los recursos naturales. El

desarrollo de estas actividades permite la interacción de diferentes ramas del conocimiento alrededor de un proyecto común, fomentando el trabajo en equipo, el debate de las ideas y la puesta en práctica de los conocimientos teóricos, complementando la educación tradicional recibida por los estudiantes en los escenarios tradicionales de enseñanza. Durante la etapa final del evento, los universitarios participantes deben mostrar al público en general las casas que construyeron, desarrollando sus habilidades comunicativas, mostrando que ya es posible realizar construcción sostenible, utilizando estrategias de climatización pasiva para reducir el consumo energético.

ANTECEDENTES

Desde su concepción en 1999, el evento ha sido organizado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE) con el apoyo técnico del Laboratorio Nacional de Energías Renovables (NREL). La primera versión se llevó a cabo en 2002, en la ciudad de Washington, con la participación de 14 equipos, todos ellos estadounidenses. A partir de la siguiente versión, se abrió la convocatoria a universidades de diferentes lugares del mundo y se firmaron alianzas con gobiernos de otros países, permitiendo la descentralización del evento y su realización en Estados Unidos, España, Francia y China.

Así, el Solar Decathlon se convierte en un grupo de concursos que:

[...] se apoyan en bases y objetivos comunes, pero se organizan independientemente y presentan características singulares en reglamentación y pruebas, adaptándose de esta forma a sus propias circunstancias y contexto (Solar Decathlon Europe, 2012).

SOLAR DECATHLON LATIN AMERICA & CARIBBEAN (SDLAC)

En el año 2015, por primera vez se realiza el Solar Decathlon en un país de América Latina. Entendiendo las condiciones económicas y cultu-

rales de la región, se plantea que los proyectos de vivienda realizados por los equipos deben ser concebidos y diseñados para las condiciones específicas del trópico, con consideración a las condiciones sociales y pensando en la naturaleza de las familias latinoamericanas.

Organización

En marzo de 2014, la alcaldía de Cali, en alianza con el Ministerio de Minas y Energía y el Departamento Nacional de Planeación, gestionó la firma de un convenio con el Departamento de Energía de Estados Unidos, determinando que Cali sería la ciudad anfitriona del primer Solar Declathon para la región. El comité ejecutivo del evento, liderado por la alcaldía de Cali y la Universidad el Valle, contó con el apoyo de las empresas generadoras y prestadoras del servicio público de energía y las autoridades ambientales municipales y regionales.

Enfoque

Teniendo en cuenta que sería la primera versión para la región, los proyectos en competencia debían adaptarse a las necesidades climáticas del trópico y responder a la necesidad de vivienda social, con soluciones con impacto positivo en la comunidad.

Recientemente, se implementó en Colombia una ley cuyo objeto es promover el desarrollo y la utilización de las fuentes no convencionales de energía, “principalmente aquellas de carácter renovable, en el sistema nacional [...] como medio necesario para el desarrollo económico sostenible, la reducción de gases de efecto invernadero y la seguridad del abastecimiento energético” (Congreso de Colombia, 2014). “De lo anterior, se desprende la importancia que tiene este concurso dentro del contexto de política nacional y el Plan Nacional de Desarrollo” (Consejo Colombiano de Eficiencia Energética, CCEE,

2014),¹ mediante la promoción de la gestión eficiente de la energía, el aprovechamiento de fuentes no convencionales de energía y la investigación y desarrollo de viviendas sostenibles de carácter social.

Para el cumplimiento de sus objetivos, el concurso Solar Decathlon Latin America & Caribbean 2015 gira en torno a cuatro ejes temáticos (SDLAC, 2014):

- *Vivienda Social*: El concurso se presenta como un espacio dinámico de elaboración de propuestas y construcción de soluciones reales que impacten de manera positiva a la comunidad, teniendo en cuenta las circunstancias de desigualdad social y económica que enfrenta la región de América Latina y del Caribe. Los proyectos deben albergar a una familia de mínimo 5 integrantes y demostrar que se pueden implementar tecnologías con energía solar en viviendas asequibles para el común de la población (CCEE, 2014).
- *Densidad*: Considerando que en la actualidad la mayoría de la población mundial vive en las ciudades y que los suelos urbanos son cada vez más escasos, se considera que las soluciones de vivienda, con alta densidad, son más sostenibles y ayudan a minimizar el impacto ambiental. Para favorecer la huella ecológica urbana, los proyectos deberán garantizar una densidad mínima de 120 viviendas por hectárea, en un esquema de agrupación con una altura máxima de 8 pisos y cumpliendo las más elevadas normas de accesibilidad universal.
- *Uso Racional de Recursos del Medio Ambiente*: La mayoría de la población de América Latina y del Caribe vive en la zona tropical, enfrentando emisiones de radiación solar a lo largo del año y una disponibilidad excepcional de las fuentes de agua (tasas relativamente altas de precipitación, con frecuentes apariciones durante todo el año). Los equipos participantes para esta versión, deben

1. La fuente de este sitio remite a <http://www.solardecathlon2015.com.co/index.php/en/>

aprovechar las riquezas naturales de la región asegurando un equilibrio ambiental que garantice la disponibilidad permanente en el tiempo de estos recursos (CCEE, 2014).

- *Relevancia Regional:* El Solar Decathlon LAC2015 tiene como meta desarrollar ideas y tecnologías que beneficien a los habitantes de la región. Es por esto, que aunque los proyectos diseñados con base en las condiciones de los países de origen son bienvenidos, el eje central de la competencia es presentar propuestas que se adapten a las condiciones culturales, económicas y climáticas de la zona tropical. Lo anterior no solo para asegurar la funcionalidad del prototipo en el sitio de competencia [Villa Solar] sino para que el proyecto de agrupación a escala real responda a las necesidades locales (CCEE, 2014).

DESARROLLO DEL CONCURSO

El SDLAC 2015 comienza en junio de 2014, mediante una convocatoria masiva a las universidades interesadas, a través de los medios de comunicación o invitación directa. El concurso se desarrolló durante 18 meses y se dividió en cuatro fases.

Selección de los equipos

Entre junio 20 y octubre 30 de 2014 se realizó la primera parte del concurso, consistente en la selección de los equipos que participarían desarrollando sus proyectos hasta la etapa de construcción. Las propuestas seleccionadas fueron las que demostraron la mayor sensibilidad y proyección en una solución de vivienda social sostenible para comunidades de bajos ingresos en los trópicos, mediante los siguientes criterios: Innovación Técnica (25%), Viabilidad económica y patrocinio (25%), Organización y Planeación (20%), Concepto de Diseño Urbano y Arquitectónico (15%) e Integración Curricular (15%).

Desarrollo de las propuestas

En diciembre de 2014, la organización del evento anunció oficialmente que entre las propuestas presentadas a consideración, se habían seleccionado 16 equipos y se dio inicio a la segunda fase en la cual se desarrollaron los diseños, planos y especificaciones de los proyectos. Para el logro de los objetivos del concurso, se programaron una serie de entregas que permitieron a la organización Solar Decathlon (SD) verificar el avance de los equipos y así, garantizar una participación exitosa durante el periodo de construcción y exhibición, exigiendo el cumplimiento estricto de las reglas de participación (SDLAC, 2015a) y los códigos de construcción del concurso (SDLAC, 2015b).

- *Entregable 1 (febrero de 2015):* Se hizo entrega del Plan Maestro Urbano incluyendo la distribución de los bloques de vivienda, los diseños de espacios públicos y los servicios complementarios garantizando la densidad mínima requerida. Complementaban esta entrega los esquemas básicos del Proyecto Arquitectónico, los costos estimados del proyecto y el primer material de divulgación de cada equipo.
- *Entregable 2 (junio 2015):* Se verificó que los proyectos arquitectónicos hubieran llegado a un 60% del nivel de desarrollo, identificando aspectos que pudieran estar incumpliendo alguna de las reglas del concurso. También se solicitaba un avance significativo en la estrategia de comunicación de los equipos.
- *Entregable 3 (septiembre 2015):* En esta etapa de documentación constructiva, se incluyó la información gráfica y escrita detallada de las especificaciones de los materiales, los sistemas y procesos constructivos, los equipos, la cimentación y la estructura del prototipo de vivienda. Esta información debía estar acompañada por un presupuesto final detallado y los cálculos necesarios que demostraran el cumplimiento de las normas de construcción de Colombia y las normas del concurso.

- *Entregable 4 (octubre 2015)*: Principalmente compuesta por el Manual de Operaciones en Sitio, que explicaba la estrategia y cronograma de ensamblaje de la vivienda en la Villa Solar. También incluían los planos “*as built*” del prototipo, acogiendo las correcciones y observaciones realizadas por la organización a los planos entregados en etapas previas.

La competencia

El concurso está organizado por alrededor de 10 competencias que se puntúan de manera independiente, cada una con un máximo de 100 puntos. Algunos de los concursos son evaluados por un jurado externo, mientras que otros dependen de la realización de alguna tarea específica o del monitoreo de datos realizado por la organización SD-LAC. Al final del evento, se suman los puntos obtenidos por los equipos en cada competencia para conocer el ganador del SDLAC 2015.

- *Arquitectura*: Evalúa la coherencia del diseño, la eficiencia espacial, la utilización de materiales apropiados y la incorporación de estrategias bioclimáticas apropiadas pertinentes para la construcción de viviendas sociales en el contexto de América Latina y el Caribe. Se realizó una evaluación perceptiva verificando el uso eficiente y racional del espacio con áreas de transición y espacios de uso múltiple, favoreciendo las propuestas con soluciones sintéticas, simples y radicales.
- *Ingeniería y construcción*: Evaluación del diseño y la construcción de los sistemas de ingeniería y la puesta en práctica en el lugar de la competición. Los equipos tendrán que demostrar la viabilidad, la integración adecuada y más alto nivel de funcionalidad de la estructura, la envolvente, electricidad, fontanería y sistema fotovoltaico, diseño y construcción del prototipo, la seguridad, la viabilidad y su adecuada integración en el prototipo.

- *Eficiencia energética*: Evalúa las estrategias implementadas en el prototipo encaminadas a reducir el consumo energético, haciendo especial énfasis en los equipos que se proponen para cubrir las necesidades de los habitantes de las casas utilizando un mínimo de recursos posibles y midiendo los picos de consumo de energía.
- *Balance energético*: Mide la autosuficiencia de energía eléctrica de la vivienda a través de un equilibrio entre la generación y el consumo eléctrico. Se utilizan los datos recogidos de los diferentes flujos de energía eléctrica por sistema de supervisión de la organización durante el periodo de competición.
- *Condiciones de confort*: Monitorea las condiciones interiores de temperatura del aire, humedad relativa, aislamiento acústico e iluminación natural para evaluar sensación de confort interior en cada solución de vivienda. Se basa en las mediciones realizadas en la casa durante la semana de competencia.
- *Funcionamiento de la vivienda*: Mide la funcionalidad de un conjunto de instalaciones que garantizan el desarrollo de las actividades normales de una vivienda. Este concurso trata de reproducir el uso promedio de energía en un hogar moderno (uso de refrigerador, congelador, lavadora de ropa, estufa, microondas, licuadora, computadora, televisión, sonido y el consumo de agua).
- *Mercadeo y comunicaciones*: Evalúa las estrategias más eficaces para generar conciencia social de los proyectos y los beneficios del uso de la vivienda sostenible que funciona mediante sistemas de energía solar.
- *Diseño urbano y factibilidad*: Evalúa la pertinencia de la propuesta de diseño urbano para viviendas de bajo costo en alta densidad, aplicable al contexto de América Latina y el Caribe.
- *Innovación*: Estima la incorporación de soluciones creativas para mejorar el estado convencional de habitabilidad en torno a la arquitectura, la ingeniería, la construcción, la eficiencia energética, el diseño urbano y la asequibilidad, mejorando su rendimiento y eficiencia.

- *Sostenibilidad:* Evalúa la contribución del proyecto en la reducción del impacto ambiental a largo plazo, verificando las estrategias planteadas para gestionar, adecuadamente, los temas de arquitectura, ingeniería y construcción, eficiencia energética, diseño urbano y la asequibilidad.

EQUIPO CALICIVITA

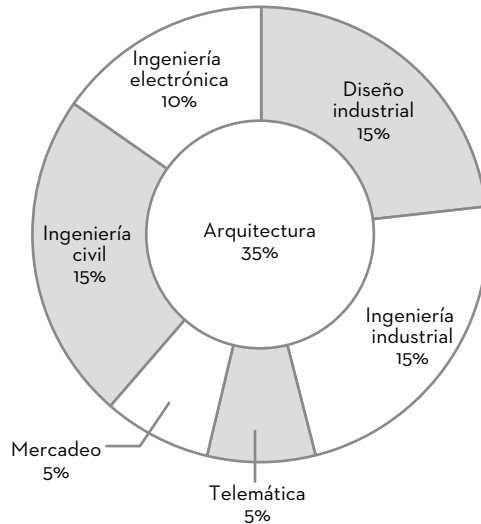
Equipo Calicivita es el resultado de la colaboración entre dos de las instituciones más importantes y reconocidas de la educación superior en Colombia, la Universidad Javeriana Cali y la Universidad Icesi. Con la fortaleza de las dos universidades, se logró el adecuado equilibrio multidisciplinar que exigía el proyecto Solar Decathlon, con la participación de estudiantes y profesores de cuatro facultades y siete programas académicos.

Composición del Equipo

El equipo se organizó a partir de un grupo base de 20 estudiantes de Arquitectura, Diseño Industrial y Mercadeo que hizo presencia activa durante todas las etapas del evento, iniciando con la realización de los productos de la fase 1 del concurso. Para el desarrollo de la segunda fase, se realizó una convocatoria en las dos universidades, buscando incorporar al grupo de estudiantes de Ingeniería Industrial, Ingeniería Civil, Ingeniería Electrónica e Ingeniería Telemática quienes terminaron de conformar el equipo interdisciplinar necesario para el desarrollo del proyecto.

Al final de la segunda fase, se consolidó el grupo que participó en el ensamblaje, exhibición pública y el desarme de la Casa Alero en la Villa Solar, conformado por 34 estudiantes de pregrado, dos de maestría, dos docentes de apoyo y un profesor líder del equipo, organizados alrededor del grupo de arquitectura, como disciplina encargada de

FIGURA 5.1 COMPOSICIÓN DEL EQUIPO CALICIVITA



aglutinar y coordinar los diversos componentes del proyecto, tal y como se aprecia en la figura 5.1.

Desarrollo del proyecto

Para el equipo Calicivita, el concurso siempre se entendió como una oportunidad para poner en funcionamiento procesos de enseñanza aprendizaje que no son utilizados de manera habitual en nuestras universidades. El proyecto Casa Alero (nombre dado al prototipo) se convirtió en una excelente oportunidad para implementar una metodología de Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) en equipos interdisciplinarios que lograra desarrollar, en los estudiantes, competencias transversales a diferentes disciplinas que complementan las competencias generales y específicas de cada profesión.

Con este propósito, se implementó un Taller de Proyectos en el cual participaron, de diversas maneras, estudiantes de siete titulaciones diferentes y de las dos universidades en un espacio de trabajo único y permanente tipo *Design Studio*. En este espacio de trabajo, se desarrolló un proceso de diseño colaborativo en el cual tuvieron cabida el “autoaprendizaje, la experimentación, la incertidumbre, la responsabilidad del proceso, el trabajo en equipo, el intercambio y la integración de la información, los enfoques interdisciplinarios, los debates, la capacidad crítica, la flexibilidad y el consenso” (Palomares, Portalés, Esteve, Vargas, Pascual, Babiloni, Asensio, 2013), permitiendo que los estudiantes tomaran decisiones con el acompañamiento del docente tutor líder del equipo.

Como era previsible, esta metodología de enseñanza–aprendizaje tuvo tropiezos durante su implementación, pero el resultado final permitió que los estudiantes aprendieran a trabajar en equipos interdisciplinarios y adquirieran competencias de otras disciplinas que no podrían ser desarrolladas dentro de los planes de estudios tradicionales.

Construcción y ensamblaje

Durante la fase final del concurso, el grupo de 40 decatletas, apoyados y asesorados por ocho técnicos especialistas, materializaron el prototipo que habían concebido en planos. Para esta etapa, se gestionó el préstamo de un lote de terreno al interior de la Pontificia Universidad Javeriana en el cual, durante un periodo de tres semanas, se realizó el armado y ajuste de la estructura metálica de soporte del prototipo. Esto, con el objetivo de verificar medidas de fabricación y corte de elementos como la cubierta, los muebles fijos y el sistema de fachada. Este periodo de pre–construcción también fue muy productivo para la capacitación de los estudiantes en el manejo de herramientas, el uso de equipos de seguridad y la manipulación de materiales de construcción.

Oficialmente, la etapa de ensamblaje en la Villa Solar se inició el 23 de noviembre. Cumpliendo con el calendario del concurso, durante

FIGURA 5.2 ENSAMBLAJE DEL PROTOTIPO CASA ALERO EN LA VILLA SOLAR



Fuente: Iván Osuna Motta (Calcivita, 2015).

230 horas consecutivas el equipo de decatletas se organizó en tres grupos de trabajo, cumpliendo turnos de ocho horas diarias para lograr el objetivo de armar el prototipo en la Villa Solar, superando las dificultades y los imprevistos que surgieron en este proceso, e iniciando la exhibición del prototipo al público general el día 03 de diciembre (véase figura 5.2).

En estos 10 días, el grupo de decatletas pudo realizar un trabajo en equipos interdisciplinarios alrededor de un objetivo común generando un proceso de apropiación del conocimiento que es imposible de conseguir en las aulas de clase. Se logró que entendieran el comportamiento real de los materiales que habían especificado en los planos y estudios, y verificaron como se realizan los procesos constructivos necesarios para la materialización de una vivienda. El entendimiento de estos procesos, producirá mejores profesionales, quienes podrán, desde la mesa de dibujo, plantear diseños más sustentables y fácilmente realizables.

La etapa de competencia y exhibición, realizada entre el 4 y el 14 de diciembre, permitió que los estudiantes verificaran el desempeño real del prototipo, comparando los resultados reales con lo planeado y presumido con las simulaciones y los cálculos realizados durante las etapas de diseño. Este proceso de puesta en operación de la vivienda acerca a los estudiantes a la realidad y les permite entender que los diseños y cálculos no logran predecir con absoluta certeza el comportamiento de los edificios, por lo cual es necesario considerar ciertos factores de seguridad o incertidumbre.

VIVIENDA SOCIAL PARA EL TRÓPICO LATINOAMERICANO

En la actualidad, ceca del 80% de los habitantes de América Latina viven en ciudades, llegando la región a un nivel de urbanización propio de los países más desarrollados del planeta. Sin embargo, presenta indicadores muy distintos en los otros aspectos sociales y económicos, con un aumento permanente de la pobreza urbana (Franco, 2000).

El bajo poder adquisitivo de la población urbana, sumando a la poca pertinencia de las políticas habitacionales de organismos gubernamentales ha generado que un alto porcentaje de la población con bajos ingresos, no cuenta con una vivienda adecuada (Bouillon, Muñoz Miranda, Fretes Cibils, Blanco Blanco, Buruchowicz, Medellín *et al.*, 2012). Pero la problemática de vivienda en la región no debe centrarse únicamente en atender los déficits cuantitativos. Se deben garantizar unos estándares de calidad habitacional superiores a los mínimos requeridos, que disminuyan las condiciones de inequidad, teniendo en cuenta otro nivel de necesidades de la población, dentro de los cuales se encuentra una adecuada inserción en el entorno urbano, la capacidad de adaptación al medio físico (acondicionamiento climático, eficiencia energética y resiliencia a los riesgos naturales) y las respuestas a las maneras de habitar propias de cada región (ONU-Hábitat, 2015).

Entendiendo la problemática social que se deriva del déficit de la vivienda en la región, la organización del Solar Decathlon consideró

imperativo que el evento no se convirtiera en un concurso de diseño de casas de alto costo, disponibles para una minoría privilegiada. Por el contrario, pretendía demostrar que la vivienda sostenible basada en el uso racional de energías no convencionales ya es accesible a la población general de los países en desarrollo. Por esta razón, el objetivo primordial es el desarrollo y la promoción de ideas, tecnologías y sistemas constructivos que puedan ser implementados en América Latina en beneficio de sus habitantes.

La vivienda social en Colombia

La política de vivienda de interés social en Colombia está basada en un esquema de financiación para adquisición de vivienda nueva, con bajas tasas de interés y subsidios estatales, incorporando un derecho fundamental (la vivienda digna) al mercado inmobiliario y desaprovechando la oportunidad de reducir la escasez con programas de vivienda en alquiler.

Este esquema, basado en el sueño de la “casa propia”, obliga a la bancarización de la población de más bajos recursos, en una política de endeudamiento a largo plazo, y genera soluciones habitacionales de muy bajo costo en detrimento de la calidad de vida de sus beneficiarios.

Dentro de este escenario, se consideró que el proyecto desarrollado por el equipo Calicivita para el Solar Decathlon LAC2015 debería ser entendido como un prototipo demostrativo que permitiera a los estudiantes realizar investigación y desarrollo de configuraciones arquitectónicas, sistemas constructivos, materiales y configuraciones técnicas sostenibles aplicables a la condición climática y cultural de los países de la región, desestimando la posibilidad de replicar la vivienda completa en proyectos de agrupación a gran escala. Plantear un prototipo demostrativo, en lugar de un modelo replicable, se apoya en el concepto mismo de la arquitectura solar, bioclimática y sustentable en el cual la edificación debe responder cuidadosamente a las condiciones específicas de un lugar (González Couret, 2012).

Relevancia regional

La Casa Alero fue concebida como una herramienta que facilitara la interrelación entre el usuario y el medio exterior natural, social, económico y cultural. Habitar el trópico significa interactuar con el medio exterior; la benevolencia del clima, su poca variación durante el año y la idiosincrasia de sus habitantes permiten que la vivienda no necesite aislarse de las condiciones exteriores.

El principal objetivo de la envolvente de las edificaciones es interactuar con el exterior, no protegerse de este; debe generar espacios de transición entre el interior y el exterior convirtiendo a la fachada en un espacio habitable y no solo en una delgada lámina de aislamiento.

Como una manera de responder a las condiciones sociales, culturales y climáticas de la región del Valle del río Cauca, el proyecto utiliza como referencia las Casas de Hacienda de la región, las cuales se organizan a partir de un espacio central cerrado, rodeado por un corredor que provee sombra a la edificación y que permite a los habitantes el goce del paisaje y la brisa durante las tardes.

CASA ALERO

Según la clasificación climática de Köppen, la ciudad de Santiago de Cali ($3^{\circ}23'N - 76^{\circ}32'W - 979$ msnm), posee un clima tropical de sabana semi-húmedo (aw), con una temperatura media de $24^{\circ}C$, humedad relativa del 75% y una pluviosidad inferior a la que caracteriza a la zona húmeda tropical. La temperatura del aire presenta una oscilación diaria de casi $10^{\circ}C$ durante todos los días del año, la cual es la variable climática más representativa de la región. La humedad relativa de aire es bastante alta, pero presenta su valor más bajo hacia las 3:00 de la tarde, esta coincide con el pico de temperatura máxima. La radiación solar se concentra, principalmente, en el plano horizontal de la cubierta, seguido por las fachadas oeste y este, finalmente, las fachadas norte y sur, las cuales solo reciben sol directo durante seis meses de año.

El análisis combinado de estas variables, evidencia que durante lo corrido de cualquier día se presentan cambios representativos en las condiciones climáticas. Sin embargo, al no presentarse condiciones extremas, siempre es posible alcanzar el confort térmico humano utilizando diferentes estrategias, buscando reducir la producción y la absorción de calor y humedad, promoviendo la pérdida de radiación e incrementando el movimiento del aire.

La Casa Alero se concibió como un “prototipo demostrativo a escala real” que sirviera como instrumento de aprendizaje y experimentación en el campo de la construcción sostenible, sin pretender convertirse en una vivienda modelo replicable en cualquier lugar del trópico.

En el desarrollo de este manuscrito, se explicarán las estrategias utilizadas por el equipo Calicivita en aras de cumplir con las reglas del concurso, sin desatender los principios académicos que motivaron la participación de las universidades aliadas.

Entendiendo que el clima no es un enemigo del cual hay que protegerse, la Casa Alero (véase figura 5.3) se plantea como un dispositivo habitable de interacción con el exterior, que puede modificarse a voluntad del usuario a medida que cambian las condiciones climáticas a lo largo del día. Así, las estrategias bioclimáticas para atender las condiciones del concurso en el clima particular de Cali se centraron en dos aspectos: la cubierta debía proteger al máximo el interior de la vivienda de la fuerte radiación solar, proporcionando sombra a las fachadas y evitando la transmisión de calor; y la fachada debía convertirse en un espacio habitable que permita la ventilación natural cruzada, el sombreado de los espacios interiores, la iluminación natural y diversas maneras de relacionarse con el exterior, creando una fachada que puede cambiar durante el día (Calicivita, 2015).

Tanto la cubierta como la fachada, se desarrollaron como prototipos demostrativos a escala real, que permitieron al equipo evaluar su desempeño con miras a una futura implementación en proyectos de vivienda social en la región. Para la cubierta se desarrolló e implementó un sistema de enfriamiento pasivo compuesto por un prototipo de te-

FIGURA 5.3 VISTA DEL PROTOTIPO CASA ALERO EN LA VILLA SOLAR



Fuente: Juan Fernando Casas (Calicivita, 2015).

cho vegetal sobrepuesto sobre tejas multicapa metálicas (véase figura 5.4). Con la utilización de este sistema se logró reducir la transmisión de calor al interior de la vivienda, mejorando las condiciones de temperatura del aire (Osuna, 2013).

La fachada del prototipo se encarga de administrar la relación entre el interior y el exterior, permitiendo diferentes configuraciones según la voluntad del usuario. Se desarrolló un sistema de envolvente arquitectónico que permite al usuario cerrar completamente su vivienda, manteniendo unos niveles mínimos de iluminación natural y ventilación cruzada; o abrirla completamente generando un espacio adicional de balcón sin permitir la entrada de radiación solar directa en los espacios interiores. El sistema de apertura de la fachada, que aún sigue estando en fase experimental, permite diversos grados de apertura, siempre teniendo en cuenta las dimensiones humanas (véase figura 5.4).

FIGURA 5.4 VISTA AÉREA DEL PROTOTIPO CASA ALERO



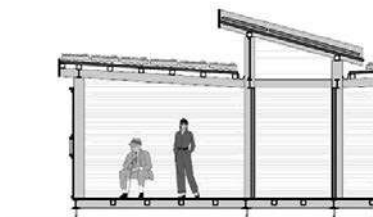
Fuente: Iván Osuna Motta (Calcivita, 2015).

Entendiendo la idiosincrasia y las maneras de habitar de nuestros pobladores, se plantea una vivienda que no obligue a unas configuraciones rígidas y que le permitan al usuario modificar su espacio en la medida de sus necesidades. Para favorecer esta necesaria flexibilidad, se diseña un prototipo con un núcleo central de servicios (baños, cocina y ropas) y dos zonas de planta libre, que pueden ser integradas o subdivididas por el usuario para conformar las alcobas y las áreas de estar.

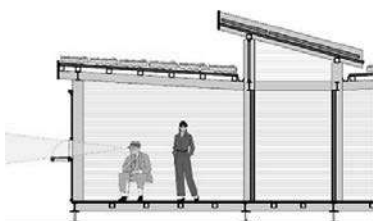
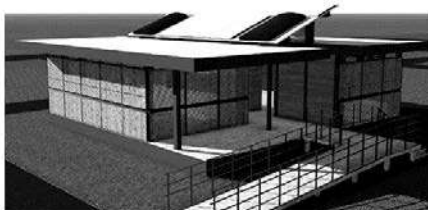
Adicionalmente, se propone, a la entrada de la vivienda, un espacio de transición entre el interior y el exterior, (terraza-antejardín) que desdibuja los límites entre lo público y lo privado y fomenta la interacción social y el desarrollo del sentido de comunidad (véase figura 5.5).

El prototipo demostró durante la semana de competición y exhibición que es posible construir una vivienda para el trópico, que mantenga unos adecuados niveles de confort térmico en su interior mediante la utilización de sistemas de climatización pasivos, reduciendo así el consumo energético y la huella ecológica.

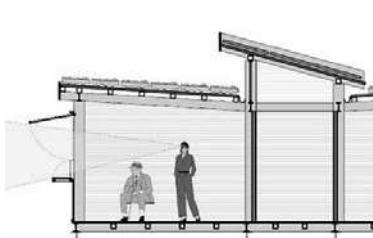
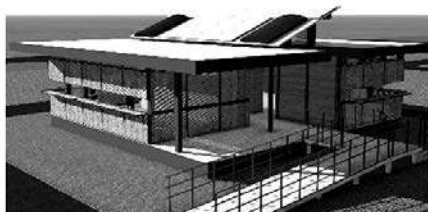
FIGURA 5.5 CONFIGURACIONES DEL CERRAMIENTO DE LA CASA ALERO



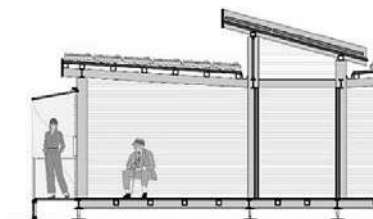
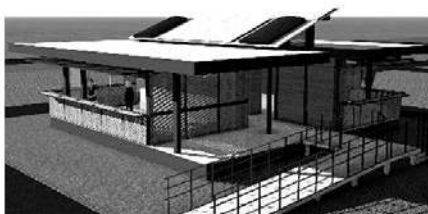
Fachada completamente cerrada



Fachada mínimamente abierta



Fachada medianamente abierta



Fachada completamente abierta

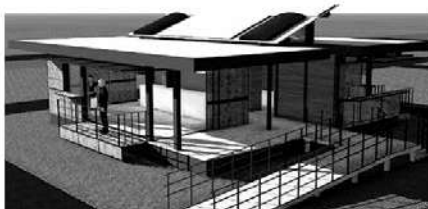
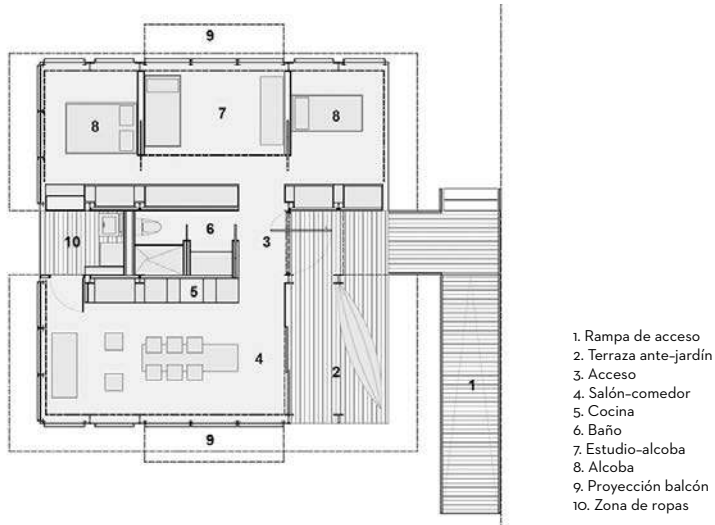


FIGURA 5.6 VISTA EN PLANTA DE LA CASA ALERO



CONCLUSIONES

El esquema actual de vivienda social en Colombia, basado en la capacidad de endeudamiento de los beneficiarios, hace muy difícil la implementación de viviendas solares sostenibles, debido a los altos costos de algunos materiales y equipos. Sin embargo, el concurso SD se constituye en un escenario ideal para generar investigación y desarrollo de sistemas constructivos, materiales y procesos de ejecución y gestión de obra aplicables en diversos proyectos de vivienda en la región.

El evento es un escenario único para que las Universidades, con programas de arquitectura e ingeniería, realicen investigación y desarrollo en temas de construcción sostenible en donde logren equilibrar el enfoque competitivo del concurso con los objetivos académicos propios de cada universidad. Ofrece una oportunidad única para rea-

lizar procesos de enseñanza y aprendizaje en entornos interdisciplinarios de trabajo colaborativo al involucrar estudiantes de diferentes carreras (titulaciones) y al salirse de los esquemas tradicionales de los programas de estudio que privilegian el aprendizaje disciplinar o profesionalizante.

Durante el proceso de diseño, construcción, ensamblaje y puesta en funcionamiento de la Casa Alero fue posible acercar a los estudiantes a los procesos constructivos, permitiéndoles verificar *in situ* el comportamiento de la vivienda durante su materialización y puesta en funcionamiento.

El proyecto hizo partícipe a las universidades de una estrategia educativa integral, ya que las viviendas desarrolladas y construidas por los estudiantes fueron exhibidas al público durante dos semanas, (véase figura 5.7) y permitió que los estudiantes fueran protagonistas de una estrategia de educación ciudadana en temas de sostenibilidad y responsabilidad social ambiental, mostrándole a la ciudadanía que es viable la utilización de energías no convencionales y fortaleciendo la conciencia del cuidado medioambiental.

Hoy más que nunca, se precisa una educación que favorezca la transición hacia la sustentabilidad, lo cual implica la implementación de métodos participativos de enseñanza y aprendizaje que motiven a los estudiantes y les doten de autonomía, a fin de cambiar su conducta y facilitar la adopción de medidas en pro del desarrollo sostenible, el cambio climático, la reducción de la pobreza y el consumo sostenible.

El Solar Decathlon es una experiencia de aprendizaje significativo que permite a cada participante adquirir valores, actitudes, conocimientos y competencias útiles para contribuir al desarrollo sostenible, dando las bases para tomar decisiones fundamentadas y adoptar medidas responsables en favor del medio ambiente. Es un ejercicio formativo que ayuda a cerrar la brecha filosófica entre diseñadores y constructores al permitir que los estudiantes integren, en su formación, la abstracción de los procesos de diseño con las habilidades prácticas de los procesos constructivos. El aprendizaje práctico per-

FIGURA 5.7 CASA ALERO DURANTE LA SEMANA DE COMPETENCIA



Fuente: Iván Osuna Motta (Calicivita, 2015).

mite aprender–haciendo y facilita la adquisición de conocimientos y habilidades fuera del aula, aprendizaje que puede ocurrir a través del trabajo, el juego y otras experiencias de vida.

REFERENCIAS

Bouillon, C.P., Muñoz Miranda, A., Fretes Cibils, V., Blanco Blanco, A., Buruchowicz, C., Medellín, N. *et al.* (2012). *Un espacio para el desarrollo: Los mercados de vivienda en América Latina y el Caribe*. Washington: Banco Interamericano de Desarrollo.

Calicivita (2015). *Calicivita Team, Project Manual*. Recuperado de https://issuu.com/pititino/docs/calicivita_project_manual

Congreso de Colombia (2014, 13 de mayo). Ley No. 1715 de 2014. Por medio de la cual se regula la integración de las energías renovables

- no convencionales al sistema Energético Nacional. *Diario Oficial*, No.49, 150. República de Colombia. Recuperado el 1 de marzo de 2018, de http://servicios.minminas.gov.co/compilacionnormativa/docs/ley_1715_2014.htm
- Consejo Colombiano de Eficiencia Energética (2014, 16 de noviembre). *En Cali, en Diciembre de 2015 Solar Decathlon para América Latina y el Caribe LAC2015*. Colombia: CCEE. Recuperado el 1 de marzo de 2018, de <https://sites.google.com/a/ccee-colombia.org/www/anuncios/encaliendiciembrede2015solardecathlonparaamericalatinayelcaribelac2015>
- Franco, R., Ocampo, J.A. & CEPAL (2000). *La brecha de la equidad: una segunda evaluación*. Santiago de Chile: Naciones Unidas, CEPAL.
- González Couret, D. (2012). Vivienda, teoría y práctica. Treinta años de experiencia académica en La Habana. *Arquitectura y Urbanismo*, 33(1), 91–104.
- Navarro, I., Gutiérrez, Á., Montero, C., Rodríguez-Ubinas, E., Matallanas, E., Castillo-Cagigal, M., *et al.* (2014). Experiences and methodology in a multidisciplinary energy and architecture competition: Solar Decathlon Europe 2012. *Energy and Buildings*, No.83, 3–9.
- ONU-Hábitat (2015). *Déficit Habitacional en América Latina y el Caribe: Una herramienta para el diagnóstico y el desarrollo de políticas efectivas en vivienda y hábitat*. Buenos Aires: ONU-Habitat
- Osuna, I. (2013). *Prototipo de techo plantado como dispositivo de climatización pasiva en Cali*. Tesis para obtener el grado de Maestría en Arquitectura y Urbanismo, Universidad del Valle, Cali, Colombia.
- Palomares, M., Portalés, A., Esteve, M.C., Vargas, M.D., Pascual, N., Babiloni, M.E., Asensio, S. (2013). El proyecto interdisciplinar como herramienta para una metodología de aprendizaje activo en las enseñanzas técnicas (pp. 187–193). En *Arquitectura v2020. La enseñanza y la profesión de arquitecto en un mundo en cambio / Congreso Docente. Valencia, 20–22 febrero de 2013*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

- SDLAC (2014). *Solar Decathlon Latin America and Caribbean 2015. Request for proposals v3.2*. Recuperado en marzo de 2018, de <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbXJYWxpY2l2aXRhY2FzYWFsZXJvfGd4Ojc2YmUoNDIzODUoMTkzZDQ>
- SDLAC (2015a). *Solar Decathlon Latin America and Caribbean 2015. Rules Final Version*. Recuperado en marzo de 2018, de <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbXJYWxpY2l2aXRhY2FzYWFsZXJvfGd4Ojc5OTQoMWWhNjY2NmQxZjA>
- SDLAC (2015b). *Solar Decathlon Latin America and Caribbean 2015. Building Code v.1*. Recuperado en marzo de 2018, de <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbXJYWxpY2l2aXRhY2FzYWFsZXJvfGd4OjNlZjFlY2FhZDBhMDVhMjU>
- Solar Decathlon Europe (2012, 24 de septiembre). Eficiencia y Eficacia Energética. Economía. *Medio ambiente, Proyectos*. Solar Decathlon Europe. Recuperado el 20 de marzo de 2018, de <http://logicapr.com.mx/solar-decathlon-europe/>

Innovaciones en eficiencia energética para la rehabilitación de edificios administrativos*

LUIS ALFONSO DEL PORTILLO
JON TERÉS-ZUBIAGA
AITOR ERKOREKA
KOLDOBIKA MARTÍN
JON TORRES LOZANO
IVÁN FLORES ABASCAL
XABIER APARICIO

Resumen: *la Unión Europea plasma su compromiso con el desarrollo sostenible en el 20-20-20 (reducir 20% los gases de efecto invernadero, gei, otro 20% el consumo energético y aumentar un 20% las energías renovables, para el año 2020). En este marco, se presenta el proyecto A2PBEER (Affordable and Adaptable Public Buildings through Energy Efficient Retrofitting) que impulsa un modelo de rehabilitación energética de edificios públicos actuando sobre tres diferentes construcciones, un museo en Malmö (Suecia), una residencia estudiantil en Ankara (Turquía) y el Rectorado de la upv/ehu en Leioa (Bizkaia). Este último se ha rehabilitado energéticamente, se ha dotado de tecnologías sostenibles y se ha monitorizado y caracterizado.*

Palabras clave: *rehabilitación energética, confort térmico, monitorización, simulación energética de edificios.*

- Agradecimientos: Los autores agradecen al proyecto A2PBEER “Affordable and Adaptable Public Buildings through Energy Efficient Retrofitting”, con número de acuerdo de subvención 609060, financiado por la Comisión Europea y a la Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV / EHU) por permitir utilizar sus edificios e instalaciones.

Abstract: *The European Union has made public its commitment to 20–20–20 sustainable development (reducing the greenhouse gas emissions, ghg, by 20%, reducing energy consumption by 20%, and increasing renewable energy production by 20%, all by the year 2020). Within this framework, the A2PBEER (Affordable and Adaptable Public Buildings through Energy Efficient Retrofitting) project is presented, an energy rehabilitation model for public buildings applied to three different constructions: a museum in Malmö (Sweden), a student dormitory in Ankara (Turkey), and the Rectorate building of the upv / ehu in Leioa (Biscay). This last building has been rehabilitated in terms of energy use: it has been equipped with sustainable technologies, monitored and characterized.*

Keywords: *energy rehabilitation, thermal comfort, monitoring, building energy simulation.*

Actualmente, el sector de la edificación es el responsable del 40% de todo el consumo energético en Europa (Eurostat, 2010). Para conseguir reducir drásticamente el consumo energético en el sector de la edificación son necesarias múltiples actuaciones que deben ser consideradas prioritarias por los diferentes gobiernos y / o administraciones públicas europeas, como se indica en el trabajo de revisión realizado por Cheong-Hoon Baek y Sang-Hoon Park (Baek & Park, 2012), sobre políticas energéticas.

Como resultado de las medidas adoptadas, se ha constatado que si se compara a nivel europeo el parque de edificios construidos después de 1980 con los consumos energéticos globales en la edificación, calefacción, refrigeración, ventilación e iluminación, se observa que estos edificios constituyen el 20% del parque de edificios, pero que su consumo energético solo representa el 5% del consumo total.

Otra comparación interesante, con respecto al parque edificado, es la realizada entre la utilización de los edificios y el consumo energético. En Europa, el parque de edificios que no tiene uso residencial representa el 25% del parque edificado total, pero si se analiza el gasto energético por m², se observa que para el caso de edificios no residenciales es un 50% mayor que en edificios residenciales. Cabe se-

ñalar que, dentro del parque de edificios no residenciales, los edificios públicos representan valores que oscilan, según los países de los que se hable, entre el 30% y el 50%. Por lo tanto, otro de los puntos de interés, en la mejora de la eficiencia energética de edificios, se presenta en el sector de los edificios públicos.

Cabe resaltar que este tipo de edificios se caracteriza por su heterogeneidad y complejidad, ambas cuestiones no tienen únicamente que ver con la tipología del edificio (escuelas, oficinas, hospitales, etcétera) si no que afecta a otros muchos aspectos edificatorios como el tamaño, los modelos de uso, el estilo de construcción, etcétera, por lo que no constituye una tarea sencilla fijar un modelo que defina a todos ellos.

Cuando se afronta el reto de la rehabilitación energética de los edificios se suele actuar por grupos de medidas. Uno de ellos lo constituyen las medidas de reducción de la demanda de energía (RED), que normalmente incluye medidas que afectan a la envolvente del edificio y constituyen lo que se denominan medidas pasivas. Otro grupo de medidas están encaminadas a la reducción del consumo energético (REC), normalmente son medidas que actúan sobre la eficiencia energética de los equipos e instalaciones. Finalmente, otro grupo de medidas lo constituyen aquellas encaminadas a aumentar la utilización de fuentes de energías renovables (RES) aplicadas en el propio edificio.

Una actuación integral en la rehabilitación energética de edificios requerirá un compendio de los tres grupos de actuación antes citados RED + REC + RES. Si estas acciones se complementan, convenientemente, el edificio será más eficiente, pero pondrá en evidencia la necesidad de tomar en consideración un nuevo grupo de medidas encaminadas a realizar un correcto y eficiente uso del edificio, lo que requerirá sistemas avanzados de medición y diagnóstico. Este nuevo grupo de medidas está encaminado a optimizar el sistema de control del edificio con los hábitos de sus ocupantes (COB).

La rehabilitación energética de edificios que se presenta en este artículo es la que se está llevando a cabo dentro del proyecto europeo A2PBEER (Affordable and Adaptable Public Buildings through Energy Efficiency Retrofitting), que a su vez se enmarca dentro del 7º Programa Marco Europeo de Investigación e Innovación (7th Frame Program for Research and Innovation). Este proyecto tiene como objetivo desarrollar una metodología sistemática para la rehabilitación energética de edificios públicos y el desarrollo de tecnologías asequibles y adaptables dirigidas a una reducción superior del 50% en el consumo energético de edificios públicos.

Este artículo se centrará en las actuaciones efectuadas en el edificio demostrador de la Universidad del País Vasco / Euskal Herriko Unibersitatea (UPV / EHU) en Leioa, Euskadi.

SITUACIÓN ACTUAL DEL EDIFICIO

El complejo de edificios del Rectorado de UPV / EHU fue construido en 1970, está situado entre los municipios de Leioa y Erandio, en el alto de una colina y está constituido por más de 15 edificios de características similares, varios de los cuales han sufrido a lo largo del tiempo diferentes actuaciones de rehabilitación sin seguir ningún criterio específico.

Como se puede observar en la figura 6.1, el edificio sobre el que se realizará la actuación presenta una geométrica compleja con una fachada irregular. Esta característica, junto con las protecciones solares fijas ubicadas en las ventanas, complica en cierta manera la realización de acciones sobre la fachada.

Los trabajos de rehabilitación que se presentan en este artículo se proyectaron en el 2015 y los trabajos empezarán en el último trimestre del 2016. Antes de acometer las obras se habrá completado un año entero en el que se ha monitorizado convenientemente todo el edificio para poder realizar un diagnóstico previo y para,

FIGURA 6.1 DOS VISTAS GENERALES DE LA FACHADA SUR DEL EDIFICIO



Fuente: ENEDI (Energética en la Edificación) Research Group, Universidad del País Vasco (UPV / EHU).

teniendo en cuenta los datos de la monitorización, optimizar las acciones de rehabilitación.

Del presupuesto total del proyecto se destina una cantidad de 1,16 M€ (millones de euros) para la rehabilitación energética de este edificio. La duración total del proyecto es de cuatro años, y un consorcio formado por 20 organizaciones y administraciones públicas europeas participan en el mismo.

La renovación del edificio fue proyectada bajo un enfoque holístico. La mejora de la eficiencia energética de edificio es uno de los principales objetivos del proyecto, el cual planea una intervención global en la que no solo se tendrán en cuenta los aspectos energéticos (envolvente del edificio, sistemas de energía, control, etcétera)

sino que también afectará a otras cuestiones como la una mejora de las condiciones de confort interior y las necesidades de renovación y / o modernización del edificio por parte de la propiedad. Por lo tanto, el proyecto de ejecución tendrán en cuenta: la mejora del rendimiento energético global del edificio, la mejora de las condiciones de confort en los puestos de trabajo, la realización de algunas reparaciones estructurales y la actualización del aspecto externo de la construcción.

Tipología constructiva

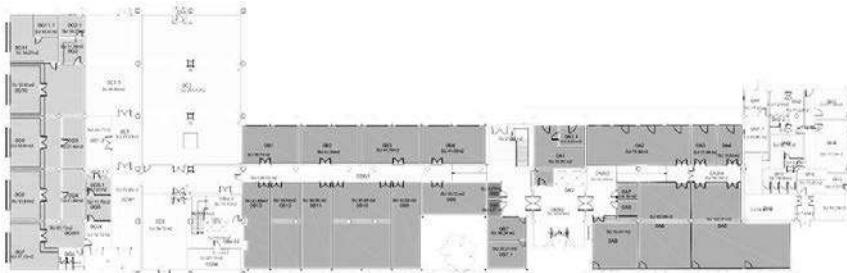
Se trata, por lo tanto, de un edificio complejo constituido por tres bloques (este, central y oeste) con cuatro plantas en cada uno de ellos. El conjunto de los tres bloques presenta una planta estrecha con unas dimensiones totales de 110m x 22m y está construido en estructura de hormigón armado.

Como se muestra en la figura 6.2, donde se representan los planos de construcción, el bloque central y el bloque oeste están conectados por una escalera de acceso común, mientras que el bloque este y el bloque central están conectados por un pasillo.

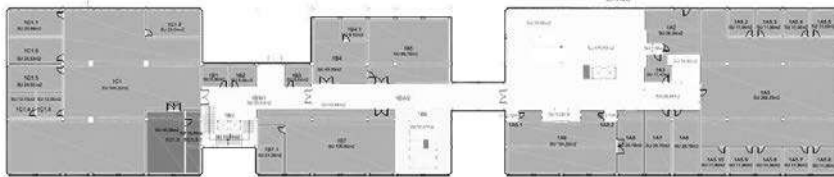
En cuanto a los cerramientos opacos, la mayor parte de la fachada fue construida con paneles de hormigón prefabricado sin cámara de aire. La planta baja era originalmente un aparcamiento sin cerramientos laterales y fue adaptado, posteriormente, para aumentar el área de oficinas. Por esa razón, se puede observar que la fachada cuenta con diferentes acabados. Las diferentes tipologías de fachada que se han descrito pueden identificarse en la figura 6.3.

En cuanto a los cerramientos semitransparentes (ventanas), debido a las numerosas actuaciones que, a lo largo de los años, se han efectuado sobre la fachada, actualmente se pueden encontrar los siguientes tipos:

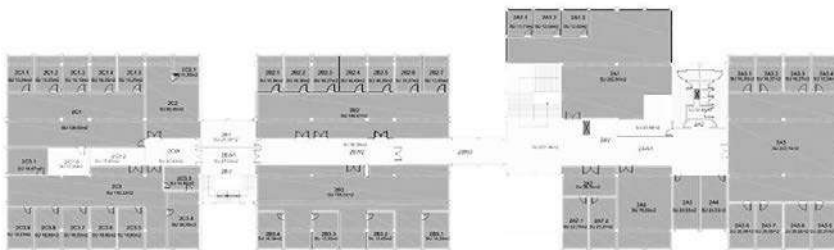
FIGURA 6.2 PLANOS DE PLANTA DE LOS EDIFICIOS



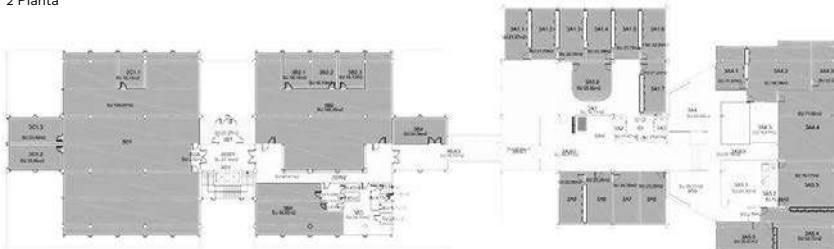
Planta baja



1 Planta



2 Planta



3 Planta

Fuente: ENEDI (Energética en la Edificación) Research Group, Universidad del País Vasco (UPV / EHU).

FIGURA 6.3 VISTA EN DETALLE DE LA FACHADA SUR



Fuente: ENEDI (Energética en la Edificación) Research Group. Universidad del País Vasco (UPV / EHU).

FIGURA 6.4 ALGUNAS IMÁGENES DE LAS DIFERENTES VENTANAS DEL EDIFICIO



Fuente: ENEDI (Energética en la Edificación) Research Group. Universidad del País Vasco (UPV / EHU).

FIGURA 6.5 CUBIERTA DEL EDIFICIO



Fuente: ENEDI (Energética en la Edificación) Research Group. Universidad del País Vasco (UPV / EHU).

TABLA 6.1 CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DE LA ENVOLVENTE OPACA DEL EDIFICIO

Elemento	Descripción	U-Valor [W/m²K]	Elemento	Descripción	U-Value [W/m²K]
Tejado	Slab sin XPS	2.22	Fachada	Panel hormigón	3.14
	Slab sin XPS	0.45		Bloque hormigón	1.78
	Paneles Sandwich	0.88		Caravista	2.98
Planta baja	Sand + Hormigón	2.08		Madera + Lana Mineral	0.55

Fuente: ENEDI (Energética en la Edificación) Research Group, Universidad del País Vasco (UPV / EHU).

TABLA 6.2 CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS DE LA ENVOLVENTE SEMITRANSARENTE DEL EDIFICIO

Tipo Ventana	Vidrio	Uvidrio [W/m²K]	g	Marco	Umarco [W/m²K]	UVent [W/m²K]
w1	6-13-6	2.7	0.7	Aluminio sin rotura de puente térmico	5.7	3.85
w2	6-13-6	2.7	0.7	Aluminio con rotura de puente térmico	4.7	3.2
w3	6	5.7	0.82	Madera	3.63	4.25

Fuente: ENEDI (Energética en la Edificación) Research Group, Universidad del País Vasco (UPV / EHU).

1. Marco de madera y vidrio simple.
2. Marco de aluminio (sin rotura de puente térmico) con doble vidrio.
3. Marco de aluminio (con rotura de puente térmico), doble vidrio.

Muchas ventanas orientadas al sur tienen ensombreadores de hormigón, imagen de la derecha de la figura 6.4, para reducir la ganancia solar en verano.

En lo que se refiere a la cubierta, como se ha mencionado ya anteriormente, durante los años de vida del edificio se han realizado diversas actuaciones que la han afectado; dos zonas que, en principio

eran abiertas, ahora están cubiertas ya que se han generando nuevos espacios de oficina (ver figura 6.5, izquierda). Estas zonas están cubiertas con tela asfáltica, sin embargo, en algunas partes de la misma, se ha cubierto por un panel XPS de 4cm, mientras que otras partes están sin recubrir, (figura 6.5, derecha).

Las características térmicas de la envolvente del edificio se resumen en las tablas 6.1 y 6.2.

Instalaciones

Al igual que ha ocurrido con la envolvente del edificio, las instalaciones de calefacción y refrigeración actuales del edificio son el resultado de diversas actuaciones tanto a nivel de la instalación general como a nivel de usuarios particulares para cubrir necesidades específicas.

La instalación cuenta con un sistema de calefacción de distrito (*district heating*) que satisface las cargas de calefacción del edificio. El sistema lo componen cinco calderas de condensación de gas natural, que se conectan con los grupos de bombeo de cada edificio, el sistema está situado en un lugar central en el campus. La producción y distribución de la temperatura caliente oscila entre 100°C y 80°C. El sistema de distribución de la calefacción para cada edificio está formado por dos circuitos independientes y enfrentados que proporcionan agua caliente a los radiadores de la fachada norte y sur respectivamente.

El horario de apertura del edificio es el normal para un edificio administrativo, se empieza a trabajar a las 08:00 ininterrumpidamente hasta las 17:00, de lunes a viernes, sábados domingos y festivos permaneces cerrado, pero en los periodos vacacionales sigue funcionando.

MEDIDAS ADOPTADAS

Tal como se ha indicado anteriormente, el primer paso será la reducción de la demanda energética vía la mejora de la envolvente del

edificio, que abarcará tanto los cerramientos opacos como los semitransparentes, prestando especial cuidado en la solución para los encuentros entre los distintos paramentos o cerramientos, evitando siempre los puentes térmicos y siguiendo, siempre que sea posible, el concepto de la casa pasiva (*Passive House Concept*).

El segundo paso será proyectar algunas mejoras en los sistemas de abastecimiento de energía con el fin de reducir el consumo de la misma.

Por lo tanto, las acciones adoptadas en el proyecto para reducir el consumo energético y las emisiones de CO₂ son las siguientes:

1. Rehabilitación energética de la fachada por medio de un sistema de aislamiento externo basado en un sistema de fachada ventilada y Paneles aislantes al vacío o Vacuum Insulation Pannels (VIPs), (RED).
2. Substitución de algunas de las ventanas por ventanas reversibles innovadoras que modifican la ganancia solar dependiendo de la estación del año y la substitución del resto de ventanas por otras de baja emisividad (RED).
3. Instalación de un novedoso sistema de iluminación que combina eficientemente la captación y distribución de luz solar y la utilización de tecnologías LED para la iluminación del edificio (REC).
4. Sistema de control de la iluminación (COC).
5. Instalación de un sistema de ventilación híbrida centralizado con recuperación de calor (REC).
6. Instalación de válvulas de control termostático en los radiadores de agua caliente para mejorar las capacidades de control (COC).
7. Implementación de sistemas de control para el sistema de ventilación, incluyendo estrategias de refrigeración nocturna y control de niveles de CO₂ (COC).

En los siguientes apartados se describen detalladamente las distintas intervenciones.

Fachada

La solución propuesta, en este proyecto, para la fachada es realizar una rehabilitación externa de la misma mediante una fachada ventilada cuyo aislamiento estará compuesto de VIPs, muy utilizados en diferentes aplicaciones industriales, sin embargo, su uso en el sector de la construcción es muy limitado, principalmente por las siguientes razones:

- Alto coste en comparación con los aislamientos convencionales.
- Dependencia de su correcto funcionamiento a la no aparición de daños mecánicos en todo el panel (Jelle, 2011).
- Carencia de historial sobre su durabilidad y su rendimiento a lo largo de su vida útil (Jelle, 2011).

Sin embargo, a pesar de los expresados inconvenientes, es evidente que los VIPs representan un salto cualitativo en el aislamiento térmico de edificios y que son clave en aquellos proyectos donde se requiera una alta capacidad de aislamiento junto con un espesor muy pequeño, donde los VIPs presentan un comportamiento 10 veces mejor que los aislamientos térmicos convencionales y serán especialmente importantes cuando se traten de alcanzar los requisitos de un Edificio de Cero Energía de Red o Net Zero Energy Building (NZEB; Jelle, 2011).

En resumen, se puede confirmar el hecho de que los VIPs están ganando lentamente pero con paso firme el reconocimiento de su potencial a la hora de diseñar la envolvente del edificio (Cho, Hong & Seo, 2014; Johansson, Geving, Hagentoo, Jelle, Rognvik, Kalagasidis, & Time, 2014; Brunner, Stahl & Ghazi Wakili, 2012; Mukhopadhyaya, MacLean, Korn, van Reenen & Molleti, 2014). Las diversas ponencias presentadas en IPBC 2015, en este sentido, tales como (Lorenzati, Fantucci, Capozzoli & Perino, 2015a; Lorenzati, Fantucci, Capozzoli & Perino, 2015b; Johansson, Adl-Zarrabi & Berge, 2015), muestran el creciente interés por los VIPs.

De esta manera, el sistema de fachada ventilada con aislamiento VIPs, consta de los siguientes elementos que se fijan a la fachada preexistente:

- Montaje en la pared de un sistema clip de PVC para soportar los VIPs.
- VIPs con una capa protectora de acabado.
- Perfiles de aislamiento semi-rígidos verticales adicionales.
- Perfil en L (parte del marco de estructura para soportar el revestimiento exterior).
- Perfil en T (parte del marco de estructura para soportar el revestimiento exterior).
- Perfiles horizontales adicionales de apoyo revestimiento exterior (parte del marco de estructura para soportar el revestimiento exterior).
- Elemento de revestimiento externo.

Por lo tanto, la esencia del sistema es una fachada ventilada (con un espacio de aire ventilado de 100 mm) con los VIPs como aislamiento. Con el objetivo de favorecer la alineación de los VIPs y el sellado entre ellos, se utilizan clips de PVC.

Cubierta

A pesar de que en el proyecto inicial A2PBEER no se definió ninguna intervención específica en la cubierta, en el proyecto de rehabilitación, se ha considerado conveniente intervenir térmicamente en la cubierta y de paso homogeneizarla, así, como la cubierta del ala este estaba aislada, se ha considerado el aislamiento del resto de la cubierta con 4cm de XPS, de esta forma se aísla y se homogeneiza la cubierta.

Ventanas

En lo que se refiere a la solución adoptada para las ventanas del edificio, se ha optado por incorporar las novedosas ventanas reversibles (según la estación del año) únicamente en la zona del Equipo Rectoral y cambiar el resto de ventanas por otras bajo emisivas. El motivo de esta decisión es fundamentalmente económico, ya que, en principio, su elevado coste no parece justificar su utilización masiva, por lo que se colocarán únicamente en el área del Equipo Rectoral y se evaluará su comportamiento en los próximos años.

Sistemas de ACS y HVAC

La instalación de calefacción urbana (*district heating*) (DH) actual se considera que cumple las funciones para las que fue diseñada y que no resultaría viable instalar ningún otro sistema de calefacción que implique la salida del circuito actual.

Por lo tanto, el proyecto de actuación utilizará la instalación actual de DH, únicamente se colocarán válvulas termostáticas en los radiadores para ajustar el consumo de agua caliente de calefacción al as nuevas necesidades del edificio rehabilitado.

Sin embargo, sí se ha decidido actuar sobre el sistema de ventilación y preparar estrategias de funcionamiento del mismo que hagan innecesaria la adopción de medias de acondicionamiento de aire en los meses de verano.

El objetivo de este sistema de ventilación para el bloque oeste, donde se realizará la intervención, es mantener la calidad del aire interior en los valores definidos por la normativa. De esta manera, se instalará un sistema independiente de ventilación (con recuperación de calor) en cada piso. Irán instalados en los pasillos que conectan los bloques oeste y central (su ubicación en cada planta se muestra en la figura 6.2 por medio de un punto rojo). La toma

de aire estará en la fachada norte, mientras que la descarga del aire de escape será a través de la fachada sur.

Según la Normativa Básica de la Edificación el sistema de ventilación debe asegurar una IDA 1 (*indoor air*, aire interior) (lo que implica una tasa de renovación de aire de 20 dm³/s. persona) en la planta baja, donde hay una guardería infantil, y una IDA 2 (12.5 dm³/s. persona) en los otros pisos. Teniendo en cuenta estos valores, cada sistema de ventilación tendría que ser diseñado de acuerdo con los flujos de aire definidos en la tabla 6.3.

Sin embargo, si se realiza la instalación del sistema de ventilación con un sistema de control adecuado, es decir, que no esté funcionando en continuo sino de acuerdo con la concentración de CO₂ en el interior, se pueden optimizar los caudales de ventilación. La solución que se ha proyectado es un control de la ventilación por sensores de CO₂ instalados en el interior del edificio que permitirán mantener los niveles de CO₂ en sus valores saludables a la vez que se ahorra energía en los equipos y se evita la sobreventilación de las oficinas con su correspondiente pérdida energética.

En la tabla 6.4 se recogen los principales valores del sistema de control.

Por esa razón, a fin de lograr el ahorro de energía propuesto en el proyecto, el sistema de ventilación instalado estará controlado a demanda en cada piso mediante sensores de CO₂.

Además, estos sistemas se han diseñado de manera que permitan el enfriamiento en función de la temperatura interior durante el periodo estival, en el cual la temperatura interior alcanzar altos valores y con el fin de mejorar las condiciones de confort interior del edificio. El incorporar este sistema de control implica dos aspectos importantes:

- Por un lado, los caudales de aire necesarios para la refrigeración en verano son mayores que los requeridos para un sistema de ventilación controlada por la concentración de CO₂ e incluso mayores que los indicados en la tabla 6.4, por lo que, también con

TABLA 6.3 CAUDALES DE LOS SISTEMAS DE VENTILACIÓN FUNCIONANDO EN CONTINUO

	Calidad aire	Ocupación máxima	l / s · pers	Caudal [m ³ / s]	Caudal [m ³ / h]
Planta Baja	IDA 1	40 personas	20	0.8	2,880
1 Planta	IDA 2	40 personas	12.5	0.5	1,800
2 Planta	IDA 2	25 personas	12.5	0.31	1,125
3 Planta	IDA 2	38 personas	12.5	0.48	1,710

IDA: Indoor air, (aire interior).

Fuente: ENEDI (Energética en la Edificación) Research Group. Universidad del País Vasco (UPV / EHU).

TABLA 6.4. CAUDALES DE LOS SISTEMAS DE VENTILACIÓN (EN LEIOA EN 2016 400 PPM)

	Calidad aire	Concentración máxima (permitida por la normativa española)	Caudal [m ³ / s]	Caudal [m ³ / h]
Planta baja	IDA 1	Ambiente ppm + 350 ppm	0.42	1,520
1 planta	IDA 2	Ambiente ppm +500 ppm	0.42	1,520
2 planta	IDA 2	Ambiente ppm +500 ppm	0.26	936
3 planta	IDA 2	Ambiente ppm +500 ppm	0.40	1,440

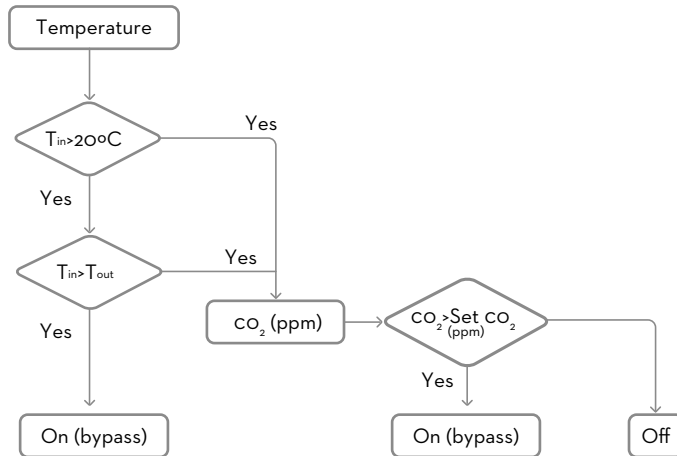
IDA: Indoor air, (aire interior).

Fuente: ENEDI (Energética en la Edificación) Research Group. Universidad del País Vasco (UPV / EHU).

el fin de facilitar los trabajos de mantenimiento posteriores, se instalarán cuatro dispositivos de ventilación idénticos (4000 m³ / h-4.500 m³ / h cada uno).

- Por otro lado, el proceso de ventilación para el verano que se ha expuesto obliga a realizar algunos cambios en el sistema de control. Mientras que los sensores de CO₂ gobiernan el sistema durante el invierno, el control en verano será gobernado tanto por los sensores de temperatura como por los de CO₂. El árbol de decisión de este control se presenta en la figura 6.6.

FIGURA 6.6 ÁRBOL DE DECISIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL DE LA VENTILACIÓN



Fuente: ENEDI (Energética en la Edificación) Research Group. Universidad del País Vasco (UPV / EHU).

Sistemas de ACS y HVAC

Como ya se ha mencionado anteriormente, el sistema de iluminación se cambiará por otro más eficiente y que utiliza, parcialmente, la iluminación solar. Este nuevo kit de iluminación se instalará en algunas salas del edificio, consiste en un conjunto de luminarias que integran la iluminación por fibra óptica que capta la luz solar, la iluminación LED y el sistema de control inteligente.

ANÁLISIS DE CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS

El proyecto incluye un estudio completo de monitorización, pre y post, con el objetivo de evaluar los efectos reales de las soluciones adoptadas. La monitorización del edificio ha sido la primera tarea que se ha llevado a cabo, incluso antes de la redacción del proyecto de rehabilitación. Los datos medidos se evaluarán para dos periodos diferentes: antes de la rehabilitación energética del edificio y poste-

rior a las mismas. Mediante la comparación de los datos obtenidos, se analizará el cumplimiento real de los objetivos del proyecto. También se utilizarán los datos reales obtenidos de la monitorización pre rehabilitación para alimentar los modelos de simulación del edificio que se están realizando con el fin de proyectar y dimensionar convenientemente la rehabilitación.

En el momento de escribir este capítulo, no se han iniciado las obras de rehabilitación del edificio, se espera que empiecen en el mes de septiembre de 2017 por lo que no se dispone todavía de los datos de monitorización post rehabilitación. Sin embargo, estos datos han resultado muy útiles a la hora de ajustar la modelización energética del edificio y de realizar el análisis de ciclo de vida (LCA).

En este apartado, se justificará la consecución de los objetivos fijados mediante la simulación energética del edificio y el análisis de ciclo de vida del mismo, haciendo especial énfasis en la estimación de los parámetros medioambientales del edificio. Como se ha comentado anteriormente, para obtener una simulación y un LCA fiable es necesario partir de datos contrastados, por lo que, en primer lugar, se describirá someramente el monitorizado del edificio, posteriormente, el proceso de simulación energética del edificio y, finalmente, el LCA realizado.

Monitorizado

A la hora de definir la monitorización del ala oeste del complejo edificatorio se tomó en consideración el concepto de base de datos del monitoreo (*Technical Monitoring Data Base*) y se midieron las siguientes variables:

1. La temperatura, la humedad relativa y la concentración de CO₂.
2. Potencia de calefacción.
3. Intensidad de iluminación y consumo.

El consumo de energía se mide por separado en cada piso y las condiciones de confort interior se miden en varios puntos de cada piso. Además, se ha instalado una estación meteorológica en el tejado para medir temperatura exterior, humedad relativa exterior, radiación solar global horizontal y luminosidad al aire libre.

Simulación energética

Se ha realizado un modelo que reproduce el comportamiento térmico y energético del edificio, su objetivo es representar el comportamiento energético del edificio en el estado actual una vez ajustado el modelo con la ayuda de los datos recogidos en el monitorizado, después de la rehabilitación. Este análisis energético del edificio también será la base para analizar el comportamiento medioambiental del edificio a través del LCA.

El modelo se ha generado con el software de Simulación Energética de los Edificios (BES) *Desing Builder V4.2* y se han definido 39 zonas térmicas en el modelo de simulación (11 zonas en la planta 0; 9 zonas en Planta 1; 7 zonas en Planta 2; 12 zonas en la planta 3).

Las propiedades térmicas de la envolvente del edificio son las que se resumen en las tablas 6.1 y 6.2, los dispositivos de sombreado de las ventanas orientadas al sur también se han tenido en cuenta en el modelo de simulación. Utilizando los datos obtenidos de la monitorización y el coeficiente de pérdidas de calor (HLC, que incluye las pérdidas de transmisión a través del sobre y las pérdidas debidas a infiltraciones de aire) del edificio se ha utilizado una modificación del método co-heating (Erkoreka, García, Martín, Teres-Zubiaga, & Del Portillo, 2016), de esta manera los valores introducidos en el modelo de simulación se han validado con los datos medidos en el edificio.

Uno de los principales resultados obtenidos de la simulación se refleja en la tabla 6.5. Puede observarse que el modelo predice un ahorro energético total de alrededor del 46%. También se observa

TABLA 6.5. CONSUMOS ENERGÉTICOS ANTES Y DESPUÉS DE LA REHABILITACIÓN

	No rehabilitada	Rehabilitada
Calefacción [kWh / m ² -año]	58.7	13.1
Refrigeración [kWh / m ² -año]	1.3	3.1
Iluminación [kWh / m ² -año]	29.3	25.4*
Equipamiento[kWh / m ² -año]	14.2	14.2
Total [kWh / m²-año]	103.5	55.8

* Se espera un ahorro energético del 60% en el bloque oeste.

Fuente: ENEDI (Energética en la Edificación) Research Group. Universidad del País Vasco (UPV / EHU).

que, siendo un edificio de oficinas situado en una zona fría, en el caso actual, sin rehabilitación, los sistemas de calefacción (56.7%) e iluminación (28.3%) suponen los gastos energéticos más importantes al observar un descenso del 77.7% en el sistema de calefacción con la rehabilitación energética del edificio.

También se ha observado, en el modelo, que los puentes térmicos juegan un papel importante en el consumo energético del edificio, por lo que uno de los principales retos del proyecto debe ser reducir estos puentes térmicos.

Es importante señalar que el aumento del consumo energético en refrigeración aumenta después de la rehabilitación del edificio, esto es debido a que en el estado actual, previo a la rehabilitación, no existe ningún sistema de enfriamiento instalado y en la rehabilitación, como se ha indicado anteriormente, sí se ha incorporado.

Análisis de ciclo de vida (LCA)

La estructura del análisis de ciclo de vida se ha desarrollado conforme a los principios básicos de aplicación del ACV, descritos en la norma ISO 14040:2006, integrando las pautas meteorológicas establecidas en la norma europea de evaluación de sostenibilidad en construcción:

- a. Definición de objetivos y alcance.
- b. Inventario de ciclo de vida (ICV).
- c. Análisis / Evaluación del inventario de ciclo de vida (AICV / EICV).
- d. Interpretación.

De acuerdo con diferentes autores, (Ortíz, 2009; Khasreen, Banfill & Menzies, 2009; Zabalza, Aranda & Scarpellini, 2009; Zabalza, Valero & Aranda, 2011; Zabalza, 2011; y Verbeek, 2010) las categorías de impacto que mejor definen el comportamiento medioambiental de los edificios son: Global Warming Potential (GWP), Acidification Potential (AP), Ozone Depletion Potential (ODP), Eutrofization Potential (EP).

Además, se ha tenido también en cuenta el análisis de la energía embebida (EE) como otro indicador dada su relevancia en este estudio.

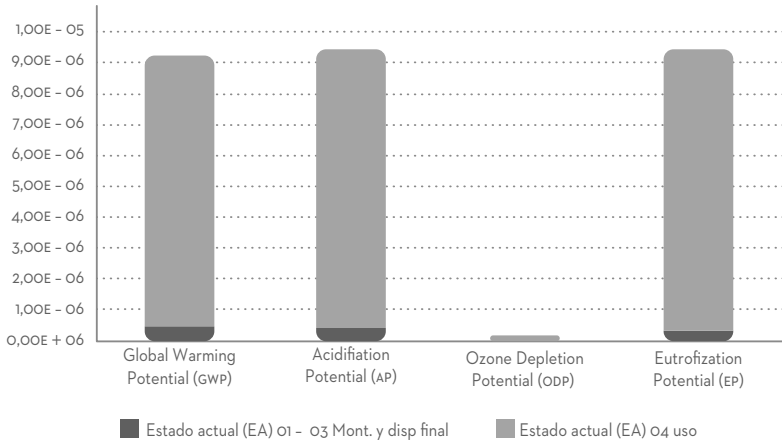
Se ha considerado como unidad funcional a: El impacto medioambiental asociado al edificio del Rectorado de la UPV / EHU, destinado a uso administrativo, durante 100 años de vida útil.

Para todas aquellas cuestiones que no se alcancen a conocer en detalle como para implementarlas en el LCA, y para los diferentes escenarios de residuos se ha utilizado la base de datos ECOINVENT 3.0 y la simulación medioambiental se ha llevado a cabo con SIMAPRO 8.0. Como metodología de impacto, se ha trabajado con CML 2002 BASELINE y EDIP 2003 para los cuatro primeras categorías de impacto, GWP, AP, ODP y EP y para EE se ha optado por la metodología “Cumulative Energy Demand”.

En la figura 6.7 se muestran, para el estado actual (EA), sin rehabilitación, los resultados normalizados por categorías de impacto. Puede observarse, como suele ser normal en este tipo de estudio, que la fase de uso es la que más influye en las categorías de impacto más significativas, GWP, AP y EP. La categoría EE no se ha representado porque no puede normalizarse, pero en ella, la fase de uso también supone alrededor del 95%.

Cabe destacar el escaso impacto que la categoría de impacto ODP tiene en todas las fases del edificio, por lo que a partir de este

FIGURA 6.7 RESULTADOS NORMALIZADOS POR CATEGORÍAS DE IMPACTO Y FASES, ESTADO ACTUAL



Fuente: ENEDI (Energética en la Edificación) Research Group. Universidad del País Vasco (UPV / EHU).

momento no se tendrá en cuenta esta categoría de impacto para los análisis de impacto medioambiental.

En las siguientes tablas se presenta un análisis comparativo por las categorías de impacto definidas, entre el estado actual (EA) y el estado rehabilitado (ER). En este análisis, se ha incluido el concepto de periodo de amortización, que se calcula para cada caso y para cada categoría de impacto (CI) teniendo en cuenta la “inversión”, es decir, la cantidad de cada CI que debe utilizarse en las labores de montaje de la rehabilitación y de fin de vida del edificio y la “reducción” de esa misma CI que se espera durante la fase de uso. El resultado indica, en años, el periodo de amortización de cada CI.

Del análisis de los resultados mostrados, se observa que la reducción de la EE no es proporcional a la reducción de impactos, ello es debido a que la reducción del consumo eléctrico es mucho menor que la reducción del consumos de gas natural, al ser los impactos medioambientales de la electricidad, tomando la matriz eléctrica

TABLA 6.6 COMPARATIVA DE VALORES DE EE, POR FASES Y PERIODOS DE AMORTIZACIÓN

	ea [ee(tj)]	ea [ee(tj)]	EE(TJ)	
Montaje y disp. Final	18,00	30,02	Inversión	12,01
Uso	399,05	305,89	Amortización	93,15
Ciclo de vida	417,05	335,91	Retorno (años)	6,96

Energía embebida (EE) / Estado actual (EA).

Fuente: ENEDI (Energética en la Edificación) Research Group. Universidad del País Vasco (UPV / EHU).

TABLA 6.7 COMPARATIVA DE VALORES DE GWP, POR FASES Y PERIODOS DE AMORTIZACIÓN

	EA [GWP (kT CO ₂ eq)]	ER [GWP (kTn CO ₂ eq)]	GWP (kTn CO ₂ eq)	
Montaje y disp. final	2,07	2,82	Inversión	0,75
Uso	43,97	37,86	Amortización	6,10
Ciclo de vida	46,04	40,68	Retorno (años)	6,68

Global Warming Potential (GWP) / Estado actual (EA) / Estado rehabilitado (ER).

Fuente: ENEDI (Energética en la Edificación) Research Group. Universidad del País Vasco (UPV / EHU).

TABLA 6.8 COMPARATIVA DE VALORES DE EP, POR FASES Y PERIODOS DE AMORTIZACIÓN

	EA [EP (Tn PO ₄ eq)]	ER [EP (Tn PO ₄ eq)]	EP (Tn PO ₄ eq)	
Montaje y disp. final	3,75	4,98	Inversión	1,23
Uso	49,09	45,90	Amortización	3,19
Ciclo de vida	52,84	50,88	Retorno (años)	20,85

Eutropization Potential (EP) Estado actual (EA) / Estado rehabilitado (ER).

Fuente: ENEDI (Energética en la Edificación) Research Group. Universidad del País Vasco (UPV / EHU).

TABLA 6.9 COMPARATIVA DE VALORES DE AP, POR FASES Y PERIODOS DE AMORTIZACIÓN

	AP (kTn SO ₂ eq)			
	ea[AP (kTn SO ₂ eq)]	ER [AP (kTn SO ₂ eq)]	AP (kTn SO ₂ eq)	
Montaje y disp. final	0,01	0,01	Inversión	0,003
Uso	0,25	0,23	Amortización	0,15
Ciclo de vida	0,26	0,24	Retorno (años)	11,4

Acidification Potential (AP) / Estado actual (EA) / Estado rehabilitado (ER).

Fuente: ENEDI (Energética en la Edificación) Research Group. Universidad del País Vasco (UPV / EHU).

correspondiente, mayores que los del gas natural, lo que deriva en el efecto señalado.

Con respecto a los tiempos de amortización, se observa que se presenta un buen comportamiento, con periodos de retorno admisibles, para las categorías de impacto EE y GWP, lo que parece lógico ya que se trata de un proyecto de rehabilitación energética de un edificio y que, por lo tanto, se ha fijado como prioritario la reducción del consumo energético y de las emisiones de CO₂.

Para las categorías de impacto AP y EP, sin embargo, los periodos de retorno no son buenos, esto es debido a dos causas, por un lado la gran cantidad de aluminio, PVC y EPS que se utiliza en el proyecto y por otro, a la baja reducción del consumo eléctrico, hay que tener en cuenta que únicamente se ha actuado sobre el sistema de iluminación del bloque oeste mientras estas dos categorías de impacto están fuertemente influenciadas por las dos causas descritas sin embargo, el consumo de gas natural presenta poca influencia en ambas categorías de impacto.

COMENTARIOS FINALES

En este artículo, se ha presentado el proyecto europeo A2PBEER y se han descrito las actuaciones que se implementarán con el objetivo de conseguir una reducción del consumo energético de 50%, acercándose a los estándares de Passive House.

Al estar el proyecto de rehabilitación del edificio en fase de elaboración no ha sido posible la monitorización del edificio post rehabilitación, pero se ha realizado un modelo del edificio en Desing Builder con la ayuda de los datos obtenidos de la monitorización del edificio en el estado actual durante un año y, una vez ajustado, se han implementado las medidas de rehabilitación previstas.

Los datos obtenidos de la simulación se han utilizado para realizar un análisis completo del ciclo de vida del edificio considerando tanto el estado actual como el de la rehabilitación.

De los resultados obtenidos de los mencionados trabajos, se deduce que se cumplirá bastante bien el objetivo principal del proyecto, es decir, la reducción de un 50% del consumo energético, sin embargo, la reducción esperada en emisiones de CO₂ eq no serán proporcionales a la reducción del consumo energético, debido, sobre todo, a la desigual actuación sobre el consumo eléctrico y el térmico.

Considerando que el proyecto A2PBEER, enmarcado en el VII Programa Marco de Investigación y Desarrollo (FP7), es un proyecto de investigación enfocado holísticamente y que, como tal, presenta elementos de construcción y metodologías innovadoras; es lógico pensar que otras cuestiones, además de la mencionada reducción del consumo energético, se han mejorado con esta actuación. De acuerdo con los datos obtenidos de este estudio, estas cuestiones son las siguientes:

- Mejora de la calidad térmica interior, mediante la mejora de la envolvente del edificio y la reducción de puentes térmicos.
- Aumento del confort térmico en los espacios de trabajo en todas las estaciones del año, pero reduciendo el consumo energético.
- Aumento del confort visual en los espacios de trabajo gracias a la canalización de la luz solar por fibra óptica, pero reduciendo el consumo eléctrico.
- Reparación de partes dañadas del edificio. Este problema empezaba a ser grave y se resolverán estas deficiencias en este proyecto.
- Adecuación del edificio a la nueva normativa de seguridad contra incendios.
- Reducción del ruido en los espacios de trabajo.
- Mayor independencia de la fluctuación de los precios de la energía.

REFERENCIAS

- Affordable and Adaptable Public Buildings through Energy Efficient Retrofitting. Project under the European 7th Framework Program for Research (A2PBEER) (2013). *Demonstrating existing and innovative retrofitting solutions in public buildings and districts*. A2PBEER. Recuperado el 1 de marzo de 2018, de www.a2pbeer.eu.
- Baek, C. & Park, S. (2012). Changes in renovation policies in the era of sustainability. *Energy and Buildings*, 47(s.n.), 485-496.
- Brunner, S., Stahl, T. & Ghazi Wakili, K. (2012). An example of deteriorated vacuum insulation panels in a building façade. *Energy and Buildings*, 54(s.n.), 278-282.
- Cho, K., Hong, Y. & Seo, J. (2014). Assessment of the economic performance of vacuum insulation panels for housing projects. *Energy and Buildings*, 70(s.n.), 45-51.
- Erkoreka, A., García, E., Martín, K., Teres-Zubiaga, J. & Del Portillo, L. (2016). In-use on-site building energy characterization through basic monitoring and modelling. *Energy and Buildings*, 119(s.n.), 256-266.
- Eurostat (2010). *Statistics Database – Energy statistics – Supply, transformation, consumption*. Eurostat. Recuperado el 1 de marzo de 2018, de http://ec.europa.eu/eurostat/cache/metadata/en/nrg_10_esms.htm
- Jelle, B.P. (2011) Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions – Properties, requirements and possibilities. *Energy and Buildings*, 43(10), 2549-2563.
- Johansson, P., Adl-Zarrabi, B. & Berge, A. (2015). Evaluation of Long-term Performance of VIPs. *Energy Procedia*, 78(s.n.), 388-393.
- Johansson, P., Geving, S., Hagentoo, C., Jelle, B.P., Rognvik, E., Kalagaidis, A.S. & Time, B. (2014). Interior insulation retrofit of a historical brick wall using vacuum insulation panels: Hygrothermal numerical simulations and laboratory investigations. *Building and Environment*, 79(s.n.), 31-45.

- Khasreen, M., Banfill, P., & Menzies, G. (2009.) Life-Cycle Assessment and de environmental impact of buildings: a review. *Sustainability*, 1(3), 674–701.
- Lorenzati, A., Fantucci, S., Capozzoli, A. & Perino, M. (2015a). Coupling VIPs and ABPs: Assessment of Overall Thermal Performance in Building Wall Insulation. *Energy Procedia*, 78(s.n.), 2760–2765.
- Lorenzati, A., Fantucci, S., Capozzoli, A. & Perino, M. (2015b). VIPs Thermal Conductivity Measurement: Test Methods, Limits and Uncertainty. *Energy Procedia*, 78(s.n.), 418–423.
- Mukhopadhyaya, P., MacLean, D., Korn, J., van Reenen, D. & Molleti, S. (2014). Building application and thermal performance of vacuum insulation panels (VIPs) in Canadian subarctic climate. *Energy and Buildings*, 85(s.n.), 672–680.
- Verbeek, G. & Hens, H. (2010). Life cycle inventory of buildings: a calculation method. *Building and Environment*, 45(4), 1037–1041.
- Zabalza, I. (2011). *Adaptación de la metodología del análisis de ciclo de vida para la evaluación y la mejora del impacto energético y ambiental de la edificación en España*. Tesis para obtener el grado de doctor en el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Zaragoza, España.
- Zabalza, I., Aranda, A. & Scarpellini, S. (2009). Life cycle assessment in buildings: state of the art and simplified LCA methodology as a complement for building certification. *Building and Environment*, 44(12), 2510–2520.
- Zabalza, I., Valero, A., & Aranda, A. (2011). Life cycle assessment of building materials: comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-e-ciency improvement potential. *Building and Environment*, 46(5), 1133–1140.

Ingeniería estructural sensibilizada ante riesgos naturales aplicada a la protección del patrimonio histórico

ADOLFO PRECIADO QUIROZ
ÓSMAR RODRÍGUEZ HURTADO
NAYAR GUTIÉRREZ ASTUDILLO
OSCAR LEAL RUBIO

Resumen: *las técnicas constructivas empleadas en los edificios históricos magistrales se basaban en reglas geométricas de estabilidad y observación de daños por sismo. Esto llevó a la construcción de elementos estructurales masivos de gran espesor, pero aún con grandes limitantes en cuanto a comportamiento ante sismos, ya que los daños se seguían presentando. Estas limitantes han convertido al patrimonio cultural en estructuras extremadamente vulnerables ante riesgos naturales. Este artículo estudia el comportamiento y falla por sismo de los edificios de mampostería no reforzada, así como diferentes técnicas de rehabilitación y refuerzo, tomando en cuenta el valor arquitectónico y cultural del edificio.*

Palabras clave: *patrimonio histórico, mampostería, sismos, vulnerabilidad, protección.*

Abstract: *The construction techniques used in historical heritage buildings were based on geometrical rules of stability and the observation of earthquake damage. This led to massive, thick structural elements that nonetheless had limited earthquake-resistance characteristics inasmuch as they continued to suffer damages. These limitations have left heritage monuments extremely vulnerable to natural risks. This article looks at the behavior and failures in earthquakes of non-rein-*

forced masonry buildings, as well as different rehabilitation and reinforcement techniques, considering the buildings' architectural and cultural value.

Keywords: *historical heritage, masonry, earthquakes, vulnerability, protection.*

Una de las necesidades más básicas del ser humano es el contar con un hogar o refugio, lo que ha llevado a las diferentes sociedades, desde la antigüedad, a hacer uso de los materiales que se encontraban a su alcance tal y como piedras, lodo y madera para protegerse del clima y ataque de animales salvajes. Estas técnicas constructivas rústicas empleadas en las primeras estructuras primitivas se fueron refinando por medio de conocimientos transmitidos de generación en generación, hasta lograr la construcción de grandes obras magistrales como castillos y catedrales. Las técnicas constructivas empleadas en estos edificios se basaban en reglas geométricas y de estabilidad básica de elementos estructurales que tomaban en cuenta la prueba y el error, así como la observación de daños ante amenazas naturales como los sismos. Esto llevó a la construcción de elementos estructurales masivos de gran espesor y con materiales que presentaban un comportamiento y capacidad de carga limitada, por lo que no contaban con un diseño sísmico, ya que estas estructuras se diseñaban solo por carga vertical, es decir, para soportar su propio peso. Estas limitantes han convertido a los edificios históricos, desde su concepción hasta hoy en día, en estructuras extremadamente vulnerables ante riesgos naturales, principalmente sismos.

La gran masa de estos edificios, la pérdida de resistencia por degradación de los materiales y la cercanía a fuentes sísmicas potenciales convierten al patrimonio histórico en estructuras extremadamente vulnerables a sufrir colapsos parciales o totales, inclusive, en condiciones estáticas. Tomando en cuenta el gran daño observado al pasar de los años en nuestra herencia cultural como consecuencia de los sismos, se vuelve evidente la necesidad de buscar alternativas viables para su protección. Este artículo se divide en dos etapas fundamentales, en la primera se estudia el comportamiento típico y falla por sismo del

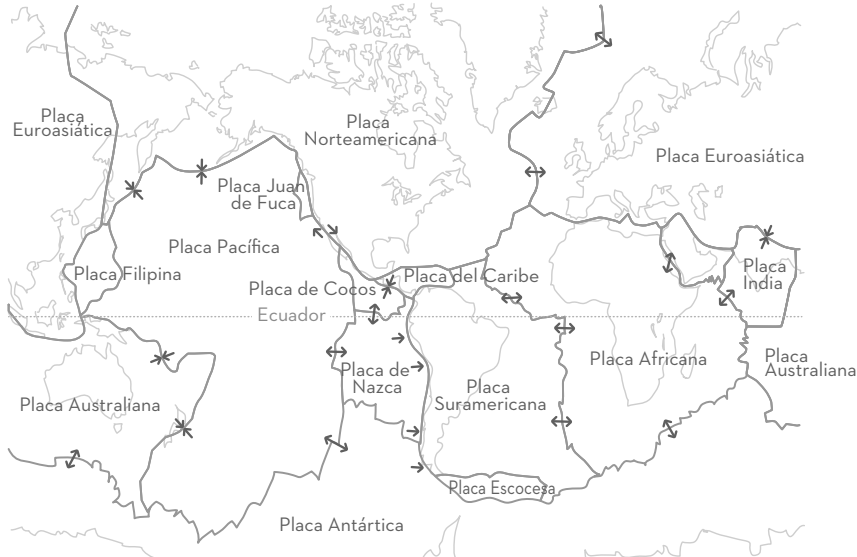
patrimonio cultural construido a base de mampostería no reforzada. En la segunda parte se describen las principales técnicas empleadas de rehabilitación y refuerzo sísmico, tomando en cuenta la compatibilidad de deformaciones entre materiales y la reversibilidad. La compatibilidad y la reversibilidad son fundamentales en la protección sísmica de la herencia cultural, tienen el objetivo de respetar, en todos los sentidos, el valor arquitectónico y cultural del edificio. Además, se analizan las ventajas y desventajas de las diferentes propuestas de protección sísmica desde una perspectiva de ingeniería estructural sensibilizada, la cual requiere un gran entendimiento de este tipo de edificios que son muy diferentes a los actuales.

VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL PATRIMONIO HISTÓRICO

La corteza de nuestro planeta se encuentra dividida en gigantescas placas tectónicas que flotan en magma, son conocidas también con el nombre de macro-placas y se caracterizan por la presencia de volcanes muy activos en sus perímetros. En la figura 7.1, se puede apreciar la gran placa tectónica del Pacífico que se extiende por México, Estados Unidos, Nueva Zelanda, Japón, etcétera. Al perímetro de la macro-placa del Pacífico se le conoce con el nombre de ring de fuego. En la zona de contacto del ring de fuego con otras placas tectónicas es dónde, se han presentado sismos destructivos de gran magnitud y duración mayor a un minuto. En cuanto a sismos ocurridos en México, la interacción de la macro-placa del Pacífico con otras placas como la de cocos y rivera ha generado gran daño estructural y pérdidas humanas (por ejemplo el sismo de Ciudad de México en 1985, el sismo de Colima en 2003, etcétera).

Con los avances en sismología y sistemas de posicionamiento global, es posible medir los desplazamientos generados entre macro-placas y tener una estimación muy general sobre los esfuerzos generados y la probabilidad de ocurrencia de un evento catastrófico. Dentro de las macro-placas (véase figura 7.1), se encuentran también diferentes

FIGURA 7.1 PLACAS TECTÓNICAS DEL MUNDO



Fuente: United States Geological Survey (USGS, 2013)

micro-placas (fallas geológicas) que se caracterizan por sismos de mediana magnitud y duración, pero que, a diferencia de los sismos entre macro-placas, pueden ser más destructivos por el contenido de frecuencias que afecta a edificios de baja altura. Por otro lado, estos sismos son prácticamente impredecibles a diferencia de los ocurridos en el perímetro de macro-placas, ya que la mayoría de las veces ocurren en fallas geológicas completamente desconocidas. Como ejemplo de sismos destructivos ocurridos entre micro-placas podemos mencionar el sismo de Sichuan, China en 2008 y el de L'Aquila, Italia en 2009.

El riesgo de las construcciones ante amenazas naturales como los sismos se encuentra definido por la proximidad a la que se encuentran sometidos los edificios y la vulnerabilidad propia de sus componentes estructurales. La vulnerabilidad estructural es una propiedad característica de la estructura que depende esencialmente de la calidad de

los materiales de construcción y el nivel de diseño sísmico (Preciado, Ramirez-Gaytan, Salido-Ruiz, Caro-Becerra & Lujan-Godinez, 2015). Al combinar la vulnerabilidad estructural con la amenaza sísmica, se genera el riesgo sísmico, el cual es incrementado dependiendo de la proximidad de la estructura a la fuente sísmica, efecto conocido como exposición. Entre investigadores, el riesgo ante terremotos de un edificio o estructura en particular es también conocido con el nombre de vulnerabilidad sísmica.

La mampostería no reforzada en edificios históricos

La mayor parte de los edificios que forman parte del patrimonio cultural de la humanidad han sido construidos de mampostería (véase figura 7.2) sin ningún tipo de refuerzo ni diseño sísmico, solamente concebidos para soportar su propio peso. Los conocimientos sobre la construcción de edificios monumentales eran transmitidos de generación en generación y basados en la prueba y error. Se sabía entre constructores que si al retirar la cimbra de un nuevo elemento estructural en cualquiera de sus formas (muro, arco, cúpula, bóveda, etcétera) y este no colapsaba en ese momento, duraría por muchos años o inclusive por siglos. La mampostería es la combinación de una unidad en estado natural o labrada con formas cuadradas o rectangulares de piedra, barro natural u horneado, en combinación con un cementante o aglutinante de diferentes materiales. Las unidades más comunes en la mampostería han sido de piedra de diferentes calidades que van desde piedra de río hasta piedra caliza labrada (véase figura 7.2b) en forma de almohadones en los grandes castillos y en forma de mármol en las catedrales y otros edificios históricos. También es muy común el tabique de barro rojo recocido horneado (véase figura 7.2a). El aglutinante era inicialmente de piedra caliza o de yeso sometido a grandes temperaturas y triturado, al combinarse con agua, se formaba un mortero aglutinante que al mezclarse con las unidades permitía dar forma a los diferentes elementos estructurales (véase figura 7.2).

FIGURA 7.2 ALGUNAS ESTRUCTURAS DEL PATRIMONIO CULTURAL DE LA HUMANIDAD CONSTRUIDO DE MAMPOSTERÍA NO REFORZADA



a) Coliseo Romano.



b) Pirámides de Teotihuacán.

Fotografías: Adolfo Preciado.

Por otro lado, la mampostería de adobe combina unidades de dimensiones mayores a las del tabique de barro rojo recocido, pero con las piezas secadas al sol en vez de ser horneadas. Para formar muros de adobe (véase figura 7.3a) se usaba como aglutinante el mismo barro de la fabricación de las unidades, combinado, en algunos casos, con estiércol de ganado, sangre y fibras vegetales para incrementar su plasticidad y resistencia al intemperismo (sol y lluvia). Los grandes bloques para muros de tierra compactada, como se muestra en la figura 7.3b, son también conocidos como mampostería de tierra.

Otro tipo de mampostería es la llamada de juntas secas, en la cual se forma el elemento estructural posicionando las unidades en bloques unidos por gravedad sin la presencia de ningún tipo de aglutinante. No fue sino hasta finales del siglo XIX, con la revolución industrial, que apareció el cemento portland, permitiendo la fabricación de morteros con mayores resistencias que los de cal y lodo. Previa a la revolución industrial, los romanos descubrieron que al usar cenizas volcánicas en combinación con el mortero de cal este aumentaba su resistencia substancialmente, lo cual les permitió, en combinación del arco, la construcción de edificios monumentales (véase figura 7.2), acueductos y puentes de gran longitud.

FIGURA 7.3 DIFERENTES TIPOS DE MAMPOSTERÍA DE TIERRA NO REFORZADA



a) Adobe.



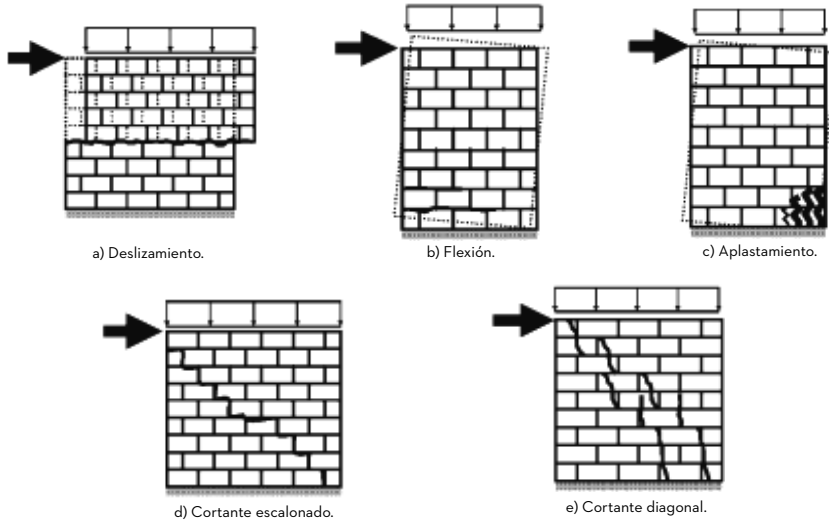
b) Bloques de tierra compactada.

Fotografías: Adolfo Preciado.

Comportamiento y fallas típicas por sismos de edificios históricos

La mampostería en todas sus formas (véanse figuras 7.2 y 7.3) se vuelve un material compuesto con características heterogéneas y comportamiento anisotrópico, esto se debe a que está conformada por dos materiales con propiedades mecánicas muy diferentes. Las unidades son más rígidas que el mortero, pero menos dúctiles, es decir, fallan de forma frágil para niveles muy bajos de esfuerzos de tensión. Contrario al comportamiento de las unidades, el mortero presenta una resistencia menor, pero una mayor ductilidad con falla cuasi-frágil pero relativamente más dúctil que la falla presentada por las unidades. Analizando el desempeño de los tres materiales de forma independiente, la mampostería como un compuesto presenta un comportamiento intermedio al presentado por las unidades y al mortero. La resistencia de la mampostería es mayor a la del mortero y menor a la de la unidad, es más dúctil que la unidad, pero nunca mayor que la ductilidad presentada por el mortero.

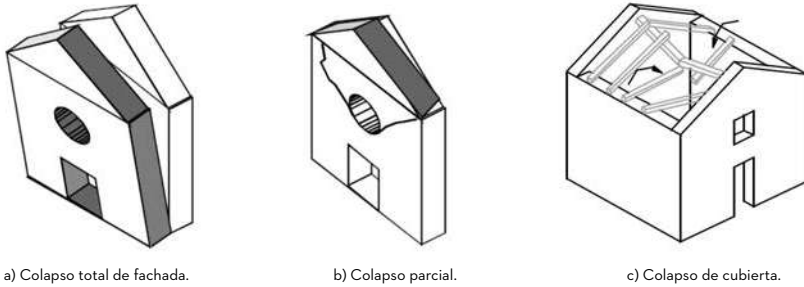
FIGURA 7.4 FALLAS TÍPICAS EN MAMPOSTERÍA POR SISMO EN EL PLANO



Fuente: Mistler (2006).

Adolfo Preciado (2011) afirma que el comportamiento y mecanismos de colapso de la mampostería por sismo en el plano y fuera de este se encuentran determinados por la calidad de los materiales, relación de esbeltez, masa, vibración inducida y tamaño de la carga vertical sobre el elemento estructural (véanse figuras 7.4 y 7.5). El comportamiento anisotrópico de la mampostería se encuentra gobernado por su baja o casi nula resistencia a la tensión en comparación con su aceptable resistencia a la compresión. Los principales mecanismos de colapso que pueden presentarse por el efecto de sismo en el plano son debidos principalmente a esfuerzos de flexión y cortante (tensión diagonal) como se aprecia en la figura 7.4. Las fuerzas laterales de inercia, generadas por sismo fuera del plano, generan que la mampostería falle de forma diferente a la presentada en el plano, el elemento estructural colapsa de forma total (véase figura 7.5a) o parcial (véase figura 7.5b), por el efecto del momento de volteo. Los sistemas de cubierta como los

FIGURA 7.5 FALLAS TÍPICAS EN EDIFICIOS DE MAMPOSTERÍA FUERA DEL PLANO



Fuente: D'Ayala (2000).

de bóvedas y grandes domos, y otros diafragmas no rígidos, tienden a abrirse en sus apoyos por el gran peso de estas estructuras, induciendo empujes fuera del plano a los elementos de apoyo que pueden generar su colapso o el de la propia cubierta como se muestra en la figura 7.5c.

Fallas bajo condiciones estáticas de edificios históricos

Otra de las fallas más comunes en edificios de mampostería no reforzada monumentales es el colapso súbito sin ninguna vibración inducida por sismo, tráfico o sonar de las campanas de gran peso. Esto se debe a que la mampostería, al ir envejeciendo, pierde su resistencia a la compresión debido a la humedad, intemperismo y pequeñas vibraciones inducidas. Los edificios masivos o torres campanario o cívicas de gran altura presentan una concentración mayor de esfuerzos de compresión en la base, que en un momento dado pueden rebasar la resistencia propia del material y cede mientras se produce un colapso explosivo frágil. Esta falla explosiva puede presentarse sin previo aviso, pudiendo generar fuerte daño a los peatones o personas que se

encuentren en el interior de la estructura histórica. Estos colapsos han estado ocurriendo por siglos, tal es el caso del colapso de la torre campanario de la Piazza San Marco en Venecia, Italia en 1902 debido a asentamientos diferenciales, degradación de resistencia y la gran masa de la torre (una réplica fue construida en su lugar). Otros de los casos más famosos reportados en la literatura corresponde al colapso súbito de la torre cívica de Pavía, Italia en 1989 y el presentado por la torre campanario de la iglesia de Santa María Magdalena en Goch, Alemania en 1992.

Las fallas frágiles en edificios monumentales como la torre cívica de Pavía y la de la iglesia de Santa María Magdalena resultaron alarmantes para los investigadores en todo el mundo, así como para las autoridades de los diferentes países que cuentan con numerosos edificios antiguos. Para más información con respecto al colapso súbito de estructuras monumentales masivas de mampostería no reforzada se recomiendan los trabajos de investigación desarrollados por Binda *et al.* (1992), Macchi (1993), Gantert Engineering Studio (GES, 1993) y Binda (2008).

PROTECCIÓN SÍSMICA DEL PATRIMONIO HISTÓRICO

La protección sísmica del patrimonio histórico existente es un tema de gran interés entre investigadores de todo el mundo. Hasta el momento, no existe una técnica específica de intervención que asegure el no colapso parcial ni total de este tipo de edificios ante el efecto de sismos de mediana a gran intensidad. Cada edificio histórico es diferente y ofrece un reto a todos aquellos que pretenden protegerlo. Esto se complica aún más por la complejidad que genera cada sismo ya que son impredecibles y cada uno presenta variaciones en magnitud (energía liberada en la fuente sísmica), intensidad (vibración en el sitio), contenido de frecuencias, duración y efectos de sitio por la calidad de las capas del subsuelo.

Muchos ingenieros estructurales que acostumbran rehabilitar y reforzar sísmicamente estructuras modernas pretenden aplicar las

mismas técnicas y materiales a los edificios históricos. Estas soluciones estructurales involucran materiales de gran resistencia que no son compatibles con los originales y lejos de ayudar, generan mayor problema al patrimonio histórico. Pueden generarse concentraciones de esfuerzos debido a que no existe una compatibilidad de deformaciones entre materiales, además de producirse fallas inducidas en caso de sismos en zonas más frágiles del edificio que generarían colapsos parciales o globales. Además, no hay un respeto por el valor arquitectónico, cultural y religioso que cada edificio representa, ya que deben de seleccionarse materiales compatibles y removibles, evitando el uso de aplanados, insertos (dalas y castillos) y muros adosados que quitan la belleza de la piedra aparente del edificio. Por ello es necesario proteger al patrimonio cultural ante riesgos naturales y generados por el hombre desde una *perspectiva de ingeniería estructural sensibilizada*. Para la protección del patrimonio cultural es necesario, como primera etapa, el desarrollo de un análisis histórico que busque entender el proceso de construcción del edificio y los materiales usados en su concepción y los implementados en restauraciones por daños y remodelaciones. Enseguida, se recomienda la realización de pruebas experimentales no destructivas para conocer las propiedades mecánicas de los materiales componentes y la frecuencia natural de vibración del edificio por medio de acelerómetros. Esta información mecánica y dinámica experimental en conjunto con el diagnóstico de la estructura, análisis histórico del edificio y la amenaza sísmica resultan de gran utilidad para determinar si el edificio será *rehabilitado* o *reforzado*.

Rehabilitación de edificios históricos

Los trabajos de rehabilitación o restauración se fundamentan en el uso de materiales con características y apariencia similar a los originales y aplicar técnicas constructivas similares que corrijan el daño local y apariencia de los elementos estructurales. Algunos trabajos comunes

de rehabilitación estructural consisten con la renovación de unidades y morteros dañados, así como con el sellado de grietas (por ejemplo: Sanders *et al.*, 2007). El sellado de grietas, con el uso de polímeros y materiales convencionales, previene la infiltración de humedad al elemento estructural. La recuperación de las unidades dañadas y mortero mejora la apariencia y aumenta relativamente la resistencia del elemento estructural. La reposición de unidades dañadas no es un trabajo sencillo ya que muchas de las veces no se tiene una idea clara sobre el origen de las piezas originales. Otro gran problema es el contraste en color y resistencia entre las piezas nuevas y las originales. Una solución a este problema es el someter las piezas nuevas a procesos de humedad inducida o por medio de un tratamiento químico que busca reducir la resistencia de las piezas nuevas y darle una apariencia de envejecimiento que se acople con la de las piezas originales.

La obtención de similitud en el color puede ser un trabajo no tan complejo como el de igualar resistencias, ya que la mayoría de las veces las propiedades mecánicas de las piezas originales son desconocidas. De cualquier forma, los nuevos morteros y unidades deben ser compatibles en cuanto a resistencias y deformaciones con los originales para evitar concentraciones de esfuerzos como se mencionó con anterioridad. Lukasz Bednarz y Dariusz Bajno (2014) proponen el uso de morteros de polímeros adicionados con fibras naturales que son ecológicos y de resistencias reducidas, lo que permite una buena compatibilidad de deformaciones. La técnica de rehabilitación con mortero ha sido utilizada en diferentes edificios históricos alrededor del mundo, prueba de ello es el Monasterio de Kaisariani cerca de Atenas Grecia. Los autores de “The Role of Restoration Mortars in the Earthquake Protection of the Kaisariani Monastery” (Moropoulou, Apostolopoulou, Moundoulas, Aggelakopoulou, Siouta, Bakolas, Douvika *et al.*, 2016) desarrollaron investigaciones detalladas por medio de diferentes herramientas de análisis numérico para optimizar el uso de morteros con buena compatibilidad y resistencia en la rehabilitación del monasterio. En el caso de edificios históricos que se encuentran

inmersos en las grandes metrópolis con problemas de contaminación, esta genera que la piedra aparente se manche y pierda su belleza, tomando una tonalidad oscura o totalmente negra conforme transcurre el tiempo. La humedad, el intemperismo y el ataque biológico inducido por vegetación invasiva y excremento de animales como palomas y murciélagos también son factores determinantes en el envejecimiento de la mampostería. La degradación de materiales por condiciones atmosféricas y la rehabilitación del patrimonio cultural ha sido un tema de intensa investigación (por ejemplo: Lourenco, Van Hees, Fernandes & Lubelli, 2014; Ravelo, 2011; Ordaz, 2004; Pérez, 2000). Anteriormente, se usaban productos químicos abrasivos para desmanchar y eliminar la humedad de la piedra aparente de los edificios de mampostería. Actualmente, están tomando gran utilidad los productos biodegradables aplicables en sitio (por ejemplo: LIW, 2016), logrando resultados muy satisfactorios que regresan el color original.

En términos generales, el objetivo principal de los trabajos de rehabilitación consiste en la preservación del edificio por medio de la eliminación de vegetación invasiva, el envejecimiento por humedad y otros factores, así como el sellado de grietas y renovación de morteros y unidades. En sí, la rehabilitación no incrementa sustancialmente la capacidad del edificio para soportar el efecto de sismos, ya que como se comentó con anterioridad, estos edificios fueron concebidos para soportar su propio peso transmitido de forma vertical, y no para soportar el efecto de fuerzas horizontales de inercia inducidas por sismo. Por otro lado, busca la protección del edificio histórico en buenas condiciones y conservar su apariencia original.

Refuerzo sísmico de edificios históricos

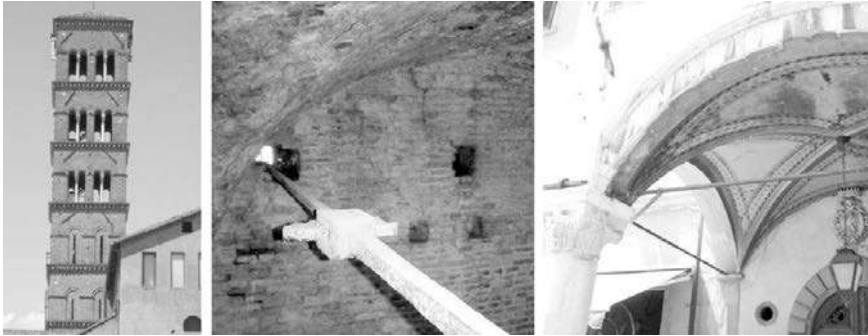
Comparado con la rehabilitación o restauración, el refuerzo estructural tiene el objetivo principal de usar técnicas avanzadas de ingeniería estructural en combinación con materiales distintos a los convencionales que aumenten el desempeño sísmico del edificio. Se busca incrementar

la capacidad del edificio para resistir fuerzas laterales de inercia y su ductilidad. Esta última propiedad estructural es de gran importancia, ya que en combinación con la capacidad de soportar fuerzas laterales forman una envolvente que se conoce como disipación de energía sísmica (véase figura 7.7b). Como se mencionó anteriormente, los edificios históricos son estructuras vulnerables a sufrir fuerte daño o un colapso total debido al efecto de sismos ya que no fueron diseñados para soportar ninguna carga inducida lateralmente, solo su propio peso a través de una transmisión de cargas vertical. La implementación de refuerzo estructural debe estar basada en estudios detallados como los desarrollados en el proceso de rehabilitación y posteriormente investigar e implementar la mejor medida de refuerzo estructural. El refuerzo debe de ser compatible en deformaciones con la estructura antigua, durable y reversible, es decir, que puede ser removible en caso de que la solución estructural propuesta no funcione o exista una nueva solución.

Una vez implementada la rehabilitación en el edificio histórico bajo estudio, es conveniente comenzar con las propuestas de refuerzo estructural ante sismos. Como paso inicial es conveniente identificar zonas de concentración de masas que puedan incrementar las fuerzas de inercia en caso de vibración inducida por sismo y que puedan generar daño a la estructura. La reducción de masas se puede implementar en sistemas de piso de terrado, una buena técnica es su sustitución por entrapado de entarimado de madera y loseta ligera de barro. Cambiar de lugar elementos no estructurales y muebles de gran peso que se encuentre en los coros de iglesias o niveles superiores a la planta baja.

Los campanarios de iglesias cuentan con enormes campanas (dimensiones mayores a un metro) de gran peso que al sonar inducen empujes verticales y laterales, siendo estos últimos los que agrietan la mampostería de forma considerable y pueden generar un punto de falla que se inicie en los agrietamientos en caso de sismo. En Europa se está implementando la inserción de sistemas de campanario aislados de la estructura principal por medio de una estructura de acero

FIGURA 7.6 ALGUNAS APLICACIONES EXISTENTES DE PRESFUERZO ANTIGUO



a) Vista exterior de torre campanario.

b) Interior de campanario.

c) Aplicación en cubiertas abovedadas.

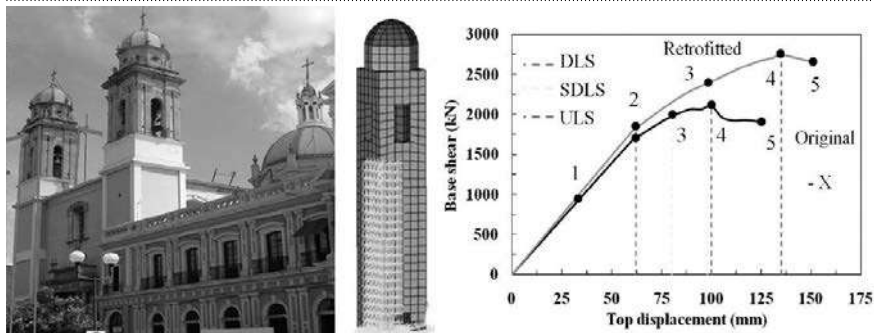
Fotografías: Adolfo Preciado.

a base de marcos que transmita los empujes por campaneo hasta la cimentación. Este sistema además de evitar el daño en la mampostería permite la automatización y sincronización del sonar de las campanas.

En el refuerzo sísmico debe de existir una buena compatibilidad de deformaciones entre materiales, ya que esto es importante para evitar una concentración de esfuerzos que pueda dañar a la estructura de mampostería. La durabilidad de algunos materiales de refuerzo estructural no es tan fácil de determinar, esto se debe a la falta de pruebas existentes de estructuras con estos tipos de materiales. Es conocido que estos materiales jamás lograrán una durabilidad mayor a las estructuras de mampostería y madera de los edificios antiguos ya que sufren de corrosión en el caso del acero y degradación de resistencia en estructuras de concreto por envejecimiento.

La figura 7.6 muestra algunas aplicaciones antiguas de la técnica de postensado por medio de barras de hierro y pasadores. Adolfo Preciado, Gianni Bartolli y Harald Budelmann (2015) mencionan que la técnica del postensado tuvo sus primeras aplicaciones a principios del siglo XIX como se muestra en la figura 7.6, mucho antes de implemen-

FIGURA 7.7 POSTENSADO REMOVIBLE CON TENDONES DE FRP



a) Catedral de Colima, México.

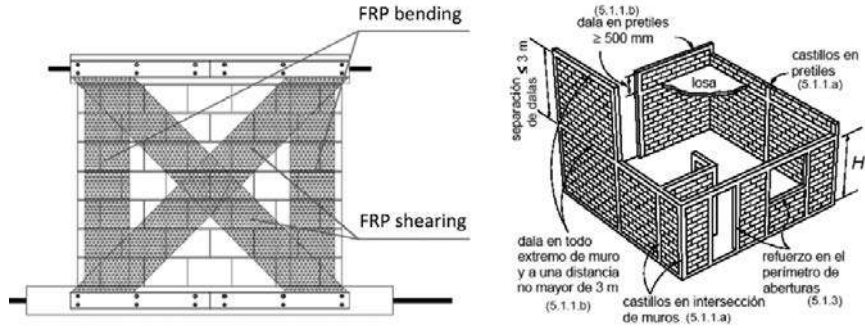
b) Comparativa de capacidad sísmica de una torre.

Fuente: Preciado, Budelmann & Bartoli (2016).

tarse en el concreto postensado a finales del siglo XX. El postensado antiguo es muy común en Europa en torres campanario (véase figura 7.6a y 7.6b) y bóvedas (véase figura 7.6c) de mampostería. Este refuerzo sísmico rudimentario tenía el propósito de evitar los colapsos frágiles fuera del plano, pero el daño en el plano se seguía presentando por no existir un aumento efectivo en la capacidad del edificio.

La técnica del postensado puede ser una medida que aumente satisfactoriamente la disipación de energía sísmica (véase figura 7.7b) y modifique el mecanismo de colapso, solo si se aplica de forma vertical (véase figura 7.7a) y asegurando una transmisión uniforme de esfuerzos de pre-compresión en puntos frágiles identificados en el análisis sísmico no-lineal (Preciado, Budelmann & Bartoli, 2016; Preciado, Sperbeck & Ramirez-Gaytan, 2016). Los materiales conformados por polímeros con fibras reforzadas de carbono, aramide y fibra de vidrio (llamados también FRP) han encontrado usos muy importantes en el refuerzo de estructuras de concreto reforzado y mampostería por sus altas resistencias y variables módulos de elasticidad. Esto se debe a que los elementos de FRPs no sufren de corrosión y son más livianos que los materiales convencionales y se puede insertar microchips para el monitoreo. Sin embargo, los elementos de FRPs son muy vulne-

FIGURA 7.8 REFUERZO SÍSMICO DE ESTRUCTURAS DE MAMPOSTERÍA



a) Láminas de FRP de carbono.
Fuente: Bischof & Suter (2014).

b) Confinamiento.
Fuente: Gobierno de la Ciudad de México (2014).

rables al fuego y fallan frágil ante altas temperaturas, al igual que cuando alcanzan su esfuerzo último de tensión.

También existen materiales de aleaciones metálicas como las de níquel con titanio que presentan aplicaciones interesantes como disipadores de energía en estructuras de mampostería histórica ya que no se corroen y presentan un comportamiento inverso al de los materiales convencionales. Con el aumento de temperatura se contraen y lo inverso sucede con las temperaturas bajas, lo mismo sucede con la transmisión de esfuerzos, lo que genera un efecto de amortiguamiento que disipa gran cantidad de la energía sísmica. A los FRPs y aleaciones con comportamiento diferente a los convencionales se les conoce con el nombre de materiales inteligentes o del futuro debido a sus propiedades excepcionales y gran aplicabilidad aún por explorar.

La figura 7.8a muestra otra aplicación de los FRPs, solo que en forma de láminas unidas al elemento estructural (*wrapping*). Esta es una técnica diferente a la empleada en el postensado por medio de barras y placas de anclaje que también aumenta la resistencia a la flexión y al cortante que en conjunto aumentan la disipación sísmica. El confinamiento por medio de dalas y castillos (véase figura 7.8b) es definitiva-

mente la técnica más empleada en Latinoamérica y en diferentes partes del mundo para mejorar el comportamiento sísmico de estructuras de mampostería no reforzada. Las láminas de FRP pueden ser utilizadas como refuerzo de sistemas de cubierta de mampostería abovedadas pero es necesario el uso de aplanados para cubrirlas, así como en el caso de la inserción de elementos de confinamiento.

CONCLUSIONES

La mampostería no reforzada es el principal componente de los edificios históricos y presenta una resistencia casi nula a la tensión, comparada con su comportamiento aceptable a la compresión. Esta ventaja generó que la mayoría de los edificios monumentales se construyeran principalmente para resistir su peso propio. Como consecuencia, al presentarse otro tipo de empujes como los inducidos por campaneo o sismo, se generan agrietamientos que disparan un mecanismo de colapso complejo. La vulnerabilidad estructural se encuentra determinada por el gran peso y configuración de los elementos estructurales y las enormes aberturas. Esta vulnerabilidad se aumenta debido a la cercanía de fuentes sísmicas que pueden generar intensidades suficientes para generar gran daño. El mal estado de conservación de los edificios históricos, el intemperismo, el tráfico y el desinterés de las autoridades por conservar el patrimonio cultural de la humanidad ponen en riesgo su existencia.

Para proteger la herencia cultural, se recomiendan estudios detallados sobre la fuente sísmica, historia del edificio, daños y materiales, así como pruebas experimentales no destructivas para entender sus materiales y comportamiento. Esto sirve de base para proponer medidas de rehabilitación y el mejor refuerzo desde una perspectiva de ingeniería estructural sensibilizada que busque aumentar el desempeño sísmico del edificio a través de la generación de un mecanismo de falla diferente que disipe más energía sísmica. Los materiales inteligentes han encontrado usos interesantes en el refuerzo sísmico de

edificios históricos y aún queda mucho por explorar, esto se debe a su comportamiento y propiedades mecánicas con mejor desempeño que el de los convencionales.

REFERENCIAS

- Bednarz, L., & Bajno, D. (2014). Remains of Urban Heritage Defence Structures Conservation, Monitoring, and Use. En F. Peña & M. Chávez (eds.) *SAHC2014 – 9th International Conference on Structural Analysis of Historical Constructions Mexico City, Mexico, 14–17 October 2014* (pp. 14–17). Ciudad de México.
- Binda, L., Gatti, G., Mangano, G., Poggi, C. & Sacchi-Landriani, G. (1992). *The collapse of the civic tower of Pavia: A survey of the materials and structure* (pp. 11–20). International Masonry Society (IMS).
- Binda, L. (2008). *Learning from failure: Long-term behaviour of heavy masonry structures*. Italy: Polytechnic of Milano, Italy / WIT press, GB.
- Bischof, P. & Suter, R. (2014). Retrofitting Masonry Walls with Carbon Mesh. *Polymers*, 6(2), 280–299.
- D’Ayala, D. (2000). Establishing correlation between vulnerability and damage survey for churches. *Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering (12WCEE), 30 January - 4 February, 2000*. Auckland, New Zealand.
- Gantert Engineering Studio (1993). *Technical opinion about the collapse of the bell tower of St. Maria Magdalena in Goch, Germany*. GES.
- Gobierno de la Ciudad de México (2004). *Construction Code of Mexico City [Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, RCDF]*. Ciudad de México: Gobierno de la Ciudad de México.
- Logistics Information Warehouse (2016). *Applications of de D / 2 biological solution on historical masonry structures and buildings in USA*. Estados Unidos: Lime Works Inc.

- Lourenco, P.B., Van Hees, R., Fernandes, F. & Lubelli, B. (2014). Characterization and damage of brick masonry (pp. 109-130). En A. Costa, *Structural Rehabilitation of Old Buildings*. Berlín: Springer.
- Macchi, G. (1993). Monitoring medieval structures in Pavia. *Structural Engineering International*, 3(1), 6-9.
- Moropoulou, A., Apostolopoulou, M., Moundoulas, P., Aggelakopoulou, E., Siouta, L., Bakolas, A., Douvika *et al.*, (2016). The Role of Restoration Mortars in the Earthquake Protection of the Kaisariani Monastery. *ECCOMAS Congress 2016, VII European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering, At Crete Island, Greece, 5-10 June*. Isla de Creta, Grecia.
- Mistler, M. (2006). *Deformation-based seismic measure concept for masonry constructions* (en alemán). Tesis para obtener el grado de doctor en Ingeniería, University of Aachen, Alemania.
- Ordaz, M. (2004). *Arquitectura religiosa virreinal de Yucatán. El conocimiento histórico-técnico de las iglesias con estructura espacial conventual. El conocimiento de la arquitectura histórica como condicionante de la restauración*. Tesis para obtener el grado de doctor en Arquitectura, Universidad Politécnica de Cataluña.
- Pérez, L. (2000). *Influencia del Medio Ambiente en la Patología de los Monumentos de Alto Valor Histórico construidos con materiales pétreos naturales. Centro Histórico de la Habana*. Tesis para obtener el grado de doctor en Arquitectura, Universidad de La Habana, La Habana, Cuba.
- Preciado, A. (2011). *Seismic vulnerability reduction of historical masonry towers by external prestressing devices*. Tesis para obtener el grado de doctor en Ingeniería, Technical University de Braunschweig, Alemania y Universidad de Florencia, Italia.
- Preciado, A., Ramirez-Gaytan, A., Salido-Ruiz, R. A., Caro-Becerra, J. L. & Lujan-Godinez, R. (2015). Earthquake risk assessment methods of unreinforced Masonry Structures: hazard and vulnerability. *Journal of Earthquakes and Structures*, 9(4), 719-733.

- Preciado, A., Bartoli, G. and Budelmann, H. (2015). The use of prestressing through time as seismic retrofitting of Historical Masonry Constructions: past, present and future perspective. *Ciencia Ergo-Sum*, 22(3), 242-252.
- Preciado, A., Budelmann, H. & Bartoli, G. (2016). Earthquake protection of colonial bell towers in Colima, Mexico with externally prestressed FRPs. *International Journal of Architectural Heritage*, 10(4), 499-515.
- Preciado, A., Sperbeck, S. T. and Ramirez-Gaytan, A. (2016). Seismic vulnerability enhancement of medieval and masonry bell towers externally prestressed with unbonded smart tendons. *Journal of Engineering Structures*, No.122, 50-61.
- Ravelo, G. (2011). Influencia de los elementos climáticos en el deterioro de las fachadas de edificaciones del barrio Colón. *Arquitectura y Urbanismo*, XXXII(3).
- Sanders, A.L. & Magness, K. (2007). Brick Maintenance and repair for historic and Landmark Structures. *Journal of Architectural technology*, 24(1), 1-8.
- United States Geological Survey (2013). *Understanding plate motions*. United States Geological Survey.

Acerca de los autores

Francisco Álvarez Partida es arquitecto por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO). Tiene el grado de maestría y una especialidad en construcción sustentable con certificación en Leadership in Energy & Environmental Design (LEED). Estudia el doctorado en el Posgrado de Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Ha sido, o es, docente en varias universidades, como la Universidad de Guadalajara y la Universidad del Valle de Atemajac (Univa). Es profesor investigador en el Departamento del Hábitat y Desarrollo Urbano del ITESO. Tiene varias publicaciones de sus ponencias sobre tecnologías para la vivienda sustentable.

Juan Gualberto Antonio Pérez es licenciado en Ingeniería Ambiental por la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna, y estudia un doctorado en la misma área en la Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED). Es profesor de asignatura de la Universidad Iberoamericana Torreón en el área de ingenierías. Ha colaborado en diversos trabajos de investigación y como coautor, así como participado en diversas conferencias e impartido cursos. Asimismo, desarrolla trabajos sobre el monitoreo y evaluación en la calidad del aire.

Xabier Aparicio es arquitecto por la Universidad de Navarra con Premio Extraordinario Fin de Carrera y EMBA por la Universidad del País Vasco (UPV / EHU). Labora en IDOM Ingeniería y Consultoría, en donde forma parte de equipos de redacción de proyectos y dirección de obra de edificios relevantes. Desde 2010, trabaja como Arquitecto del Cam-

pus de Bizkaia de la UPV / EHU desempeñando funciones de arquitecto de la propiedad para los nuevos edificios docentes y de investigación de la universidad. Es fundador del estudio de arquitectura Xortu, que desarrolla la estrategia de mejora de la eficiencia energética de edificios y procesos de producción de varios grupos industriales.

Pierfrancesco Celani es arquitecto y doctor en Psicología de la Programación e Inteligencia Artificial Sección QUOD Calidad del Proyecto en Arquitectura y Urbanística por la Università della Calabria, con maestría en Políticas Ambientales para la Sostenibilidad y el Desarrollo Local por la Universidad de Ferrara. Colaboró en proyectos internacionales y ha sido investigador en la Università della Calabria en el campo de la planificación urbana y territorial, enfocándose en la participación ciudadana y la valoración del patrimonio cultural. Actualmente, su campo de estudio es la ciudad inteligente, investigando las relaciones entre redes infraestructurales e inmateriales.

Mara Alejandra Cortés Lara es arquitecta por la Universidad Veracruzana con maestría en Prácticas Humanitarias y Desarrollo por la Universidad de Oxford Brookes, Reino Unido y doctorado en Ciudad, Territorio y Sustentabilidad por la Universidad de Guadalajara. Ha coordinado diversos proyectos de vivienda popular e indígena. Es autora de varias publicaciones nacionales e internacionales y miembro de la Red de Vivienda del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) de México. Es profesora investigadora del Departamento del Hábitat y Desarrollo Urbano del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO) y coordinadora de la colección “Miradas colectivas hacia la sustentabilidad”.

Eminia d’Alessandro es doctora en ingeniería por la Università della Calabria, Italia, con especialidad en Proyectos de Áreas Rurales como Momento de Control del Paisaje. Participó como relatora en numerosos congresos y organizó diversos *workshops* internacionales, ocupándose

de la temática de la planificación urbana y ambiental. Muchos de sus trabajos han sido publicados en revistas internacionales. Fue investigadora en la Università della Calabria y actualmente es profesora del laboratorio de urbanismo en la misma universidad. Es titular de un estudio de ingeniería y arquitectura.

Luis Alfonso del Portillo es doctor en Ingeniería y profesor titular de la Universidad del País Vasco (UPV / EHU). Es director del Departamento de Máquinas y Motores térmicos de la UPV / EHU, responsable del Programa de Doctorado Interuniversitario Eficiencia Energética y Sostenibilidad en Ingeniería y Arquitectura, y responsable también del Máster en Eficiencia Energética y Sostenibilidad en Industria, Transporte, Edificación y Urbanismo. Ha dirigido numerosas tesis doctorales en el campo de la eficiencia energética, tanto en el sector de la edificación como en el de la industria y en el del transporte. Es autor de numerosas publicaciones en revistas científicas y congresos internacionales.

Aitor Erkoreka es doctor en Ingeniería Térmica. Dos años como Ingeniero Mecánico en proyectos de ciclo combinado. Es profesor del Departamento de Máquinas y Motores Térmicos de la Universidad del País Vasco (UPV / EHU), donde ha impartido las materias Transmisión de Calor y Termodinámica. Desde 2008, forma parte del grupo de investigación Enedi (Energética en la Edificación) de la UPV / EHU. Dirigió un proyecto nacional de investigación y ha participado activamente en otros trece proyectos sobre eficiencia energética de edificios. Estos trabajos han sido la base de once publicaciones en revistas internacionales, seis capítulos de libro y 24 ponencias en diversos congresos nacionales e internacionales.

Roberta Falcone es ingeniera civil y arquitecta por la Università della Calabria, Italia. Llevó a cabo trabajos de investigación como estudiante de intercambio en la Universidad Católica de Córdoba, Argentina,

con especialidad en Reconversión Urbana de Espacios Públicos. Es investigadora en la Facultad de Ingeniería Ambiental en la Università della Calabria, donde ha colaborado en varios proyectos de investigación, así como del Departamento de Urbanística de la misma universidad, enfocándose en el desarrollo sustentable de las ciudades inteligentes. Ha participado como relatora en conferencias nacionales e internacionales.

Iván Flores Abascal es doctor en Ingeniería y profesor de la Universidad del País Vasco (UPV / EHU) desde 2006. Es profesor también en el Máster en Eficiencia Energética y Sostenibilidad en Industria, Transporte, Edificación y Urbanismo. Pertenece al Grupo de Investigación Enedi (Energética en la Edificación) de la UPV / EHU. Desde 2005, es director técnico del Área Térmica del Laboratorio de Control de Calidad en la Edificación del Gobierno Vasco. Cuenta con numerosas publicaciones en revistas científicas y en congresos internacionales.

Raúl Flores Chávez es estudiante de séptimo semestre de la carrera de Ingeniería Ambiental. Cursó un semestre de intercambio en España, donde llevó cursos de fitorremediación y riesgos ambientales y participó en el curso taller “Energías renovables con énfasis en uso y aprovechamiento de energías no convencionales”. Participó en el Congreso de Ciencias Ambientales y Biotecnología en el área de crecimiento verde. Trabajó en un curso de investigación en el Centro de Investigación en Materiales Avanzados (CIMAV) de Chihuahua. Presentó una ponencia titulada “Caracterización ambiental de sitios contaminados en la zona urbana de la ciudad de Torreón, Coahuila”.

Rodrigo Flores Elizondo es doctor en Estudios Científicos Sociales en el área de dinámica socioeconómica por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO). Es profesor de esta universidad desde 2004, especializado en gestión pública del agua urbana, socioeconomía y medio ambiente, estudios económicos regionales y

sustentabilidad, educación y mercados laborales. Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores de México desde 2011. Es autor del libro *Los afluentes y los ríos: la construcción social del medio ambiente en la cuenca Lerma Chapala*.

Nayar Cuitláhuac Gutiérrez Astudillo es doctor en Ingeniería por la Universidad Autónoma de Querétaro con especialización en Ciencias de Tecnología–Ingeniería Civil–Ingeniería Estructural–Optimización de Estructuras. Docente y consultor en el campo de la ingeniería estructural. Actualmente, es profesor investigador, coordinador docente, asesor de estudiantes de maestría y encargado del laboratorio de estructuras mayores del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO). Es autor de diversos artículos referentes a la aplicación de un algoritmo genético al diseño de estructura y de los libros *Metodología para un algoritmo genético aplicado al diseño estructural* y *Optimización estructural de armaduras utilizando algoritmos genéticos*.

Andrea Iante Juárez Ramírez cursa el octavo semestre de Ingeniería Ambiental en la Universidad Iberoamericana Torreón. Ha trabajado en distintos proyectos en áreas relacionadas a microbiología, remediación de suelos y bioquímica ambiental, los cuales han sido presentados en diferentes congresos y foros académicos. Asimismo, ha participado en cursos y talleres de temas de legislación ambiental y energías renovables. Está interesada en áreas como la preservación y gestión ambiental, la conservación de las especies y el sector agrícola, de modo que sus prácticas profesionales se enfocan en esas áreas en una empresa de la región.

Oscar Leal Rubio es ingeniero civil con grado de maestría en Proyectos y Edificación Sustentables por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO). Ha participado en congresos de ingeniería civil como ponente y asesor en talleres de tecnología del concreto, topografía y estructuras, además de colaborar en varios pro-

yectos de investigación en instituciones como la Universidad Autónoma de Sinaloa y la University of California Riverside. Actualmente, participa en la construcción de un edificio en proceso de certificación Edge como supervisor y auxiliar BIM-LEAN.

Koldobika Martín es doctor en Ingeniería y profesor agregado de la Universidad del País Vasco (UPV / EHU). Pertenece al grupo de investigación Enedi (Energética en la Edificación). Ha trabajado en proyectos de investigación relacionados con la eficiencia energética en la edificación, tanto a escala europea, como nacional y autonómicos, así como en contratos con empresas. Desde el punto de vista de la docencia relacionada con la investigación, ha codirigido diversas tesis y trabajos de fin de máster. Ha publicado múltiples artículos en revistas, tres capítulos de libro y participado en diversos congresos internacionales.

José Antonio Martínez Villalba es doctor en el área de educación por la Universidad Autónoma de La Laguna y maestro en Ingeniería Bioquímica con especialidad en Bioprocesos Ambientales por la Universidad Autónoma de Coahuila. Ha tenido participación en foros, conferencias y ponencias, así como codirector de tesis y congresos en áreas ambientales y educativas. Actualmente, es coordinador de la carrera de Ingeniería Ambiental en la Universidad Iberoamericana Torreón y responsable del Laboratorio de Ingeniería Ambiental y Metalografía en dicha universidad. Trabaja en líneas de investigación relacionadas al área de microbiología y remediación ambiental.

Iván Osuna Motta es arquitecto por la Universidad de Los Andes y *magister* en Arquitectura y Urbanismo por la Universidad del Valle, ambas de Colombia. Tiene más de 25 años de experiencia como profesor de talleres de proyectos arquitectónicos en diversas universidades. Como investigador, se especializa en el área de trabajo de arquitectura y urbanismo bioclimático. Actualmente, es director del programa aca-

démico de Arquitectura de la Pontificia Universidad Javeriana de Cali y catedrático en la Universidad del Valle, en cursos de diseño bioclimático, programas informáticos de simulación predictiva y dirección de trabajos de grado. Profesor a cargo del proyecto Casa Alero, el cual obtuvo el segundo puesto en el Solar Decathlon 2015.

Adolfo Preciado Quiroz es doctor en Ingeniería Civil por la Universidad de Florencia, Italia, y la Universidad Tecnológica de Braunschweig, Alemania, con especialidad en Manejo de Riesgos de Amenazas Naturales y Generadas por el Hombre en Edificios e Infraestructura. Tiene grado de maestría en Ingeniería Civil, especialidad en Protección Sísmica de Edificios. Perteneció al Sistema Nacional de Investigadores (SNI) de México. Ha sido profesor e investigador en varias universidades como la Universidad de Florencia, la Universidad de Colima y la Universidad de Auckland, Nueva Zelanda, entre otras. Actualmente, es profesor investigador en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente (ITESO).

Ósmar Rodríguez Hurtado ingeniero civil por la Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara. Tiene experiencia como asistente de investigación en dicha universidad, así como en el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente (ITESO), en el Departamento del Hábitat y Desarrollo Urbano, y en el Instituto Tecnológico de Massachusetts, en el centro de Ciencia del Cambio Global.

Jon Terés-Zubiaga es arquitecto por la Universidad de Navarra y doctor en Ingeniería Térmica por la Universidad del País Vasco (UPV / EHU), con premio extraordinario de doctorado en el área de ingeniería y arquitectura. Desde 2010, forma parte del grupo de investigación Enedi (Energética en la Edificación) de la UPV / EHU. Actualmente, es profesor en el Departamento de Máquinas y Motores Térmicos. Ha participado en diversos proyectos de investigación de ámbito autonó-

mico, nacional y europeo relacionados con la eficiencia energética en edificios. Cuenta con publicaciones en revistas y más de una veintena de ponencias en congresos nacionales e internacionales.

Jon Torres Lozano tiene *máster* en Investigación en Eficiencia Energética y Sostenibilidad en Edificación y Urbanismo por la Universidad del País Vasco (UPV / EHU). Su proyecto de fin de grado se enfocó en el análisis del ciclo de vida aplicado a la edificación, a la vez que participó en el proyecto europeo A2PBEER. Trabaja en el sector privado como consultor BIM, metodología que busca transformar su sector hacia la sostenibilidad y la reducción de los impactos medioambientales asociados al mismo.

Alfredo Urías Angulo es ingeniero civil graduado del Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON) con maestría en Proyectos y Edificación Sustentables por el Instituto de Estudios Superiores de Occidente (ITESO). Se ha desarrollado en el área de construcción y urbanización como residente y supervisor de obra residencial. Actualmente, labora en una empresa de consultoría y elaboración de proyectos en el área de hidráulica, participando en proyectos para el programa integral de manejo de inundaciones de la zona metropolitana de Guadalajara como lo fueron el saneamiento y mejora del aspecto urbano del río Atemajac y el colector Aviación, entre otros.

Por décadas, permeó una visión de la tecnología como una de las principales fuentes del ataque al medio ambiente y de su degradación. Hoy se le considera como un aliado para combatir los efectos negativos de la perenne negligencia ecológica humana.

El uso de la tecnología para la implementación de estrategias innovadoras y eficaces en favor del medio ambiente, un hábitat seguro y sustentable se abordó en el Congreso Internacional sobre Sustentabilidad en los Hábitats, realizado en 2016. De este encuentro entre estudiantes, especialistas, autoridades y organizaciones civiles de América Latina, Asia y Europa emana este libro, que incluye dos ejes de relevancia global: los retos en el manejo sustentable de los recursos naturales y el uso de tecnologías para la edificación sustentable. En el primero se atienden desde los riesgos asociados al crecimiento demográfico desproporcionado hasta acciones de carácter remedial para la contaminación; mientras que en el segundo se aborda el desarrollo de tecnología e infraestructura para mejorar el hábitat urbano, así como procesos donde alumnos y profesores confeccionan soluciones para la sustentabilidad energética.

En su conjunto, es una obra de consulta que busca ser un detonador para generar nuevas líneas de trabajo, repensar las soluciones y dialogar con lectores interesados en la construcción de un mundo mejor.



ISBN 978-607-8528-84-4



9 786078 528844



INNOVACIÓN



Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura



Cátedra UNESCO-ITESO en Gestión del Hábitat y Desarrollo Socialmente Sustentable